XXII CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS

Instituto de Innovación en Biosistemas para el Desarrollo Sustentable en Zonas Áridas



Memoria

Dirección General de Investigación Posgrado y Servicio

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

PennVet
University of Pennsylvania

COCYTED
Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango

Directorio

Universidad Autónoma Chapingo

Dr. Ángel Garduño García
Rector

M.C. Noé López Martínez
Director General Académico

Dra. Consuelo Silvia Olivia Lobato Calleros
Directora General de Investigación, Posgrado y Servicio

Ing. Jorge Torres Bribiesca
Director General de Administración

Dr. Samuel Pérez Nieto
Director General de Patronato y Finanzas

Mtra. Tania Jessica Pérez Buendía
Directora General de Difusión Cultural

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

Dr. Bernardo López Ariza
Vicerrector

Dr. José Manuel Cisneros Vázquez
Subdirector Académico

M.C. Sandra Patricia Maciel Torres
Subdirectora de Investigación

Dr. Pablo Arenas Baéz
Subdirector Administrativo

M.C. Oscar Esquivel Arriaga
Subdirector de Patronato

Ing. Fernando Simental Renteria
Jefe de Servicios Generales y Asistenciales



XXII CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS

Dr. Pablo Arenas Baéz

Coordinador General

XXII CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE
RECURSOS BIÓTICOS
DE ZONAS ÁRIDAS

Memoria:

Ponencias Orales y Carteles

Compiladores:
Dr. Gonzalo Abelino Torres
Dr. Jonathan Raúl Garay Martínez
M.C. Cristóbal Hernández Bautista
M.C. Gonzalo Hernández Ibarra
Dr. Marco Andrés López Santiago
M.C. Sandra Patricia Maciel Torres
Dr. Miguel Ángel Mata Espinosa
Dr. Emmanuel Roblero Méndez
M.A. Fabian Rosales Noriega
Dr. Ricardo Trejo Calzada
M.C. Sahara Xolocotzi Acoltzi
Dr. Luis Gerardo Yáñez Chávez

Coordinador General
Dr. Pablo Arenas Baéz

Comité Organizador
M.C. Sandra Patricia Maciel Torres
Lic. Sara Araceli Carmona Veyna
M.C. Gabriel García Herrera
Dr. Bernardo López Ariza
Dr. Marco Andrés López Santiago
Dr. Miguel Ángel Mata Espinosa
Dr. Aurelio Pedroza Sandoval
Ing. Fernando Simental Rentería
Dr. Luis Gerardo Yáñez Chávez

Edición
Ing. Rolando Santillán Elizarrarás

Primera Edición: Noviembre de 2026.
DR © Universidad Autónoma Chapingo
km 38.5 Carretera México - Texcoco
Chapingo Texcoco, Edo. De México, C.P. 56230
Tel. 01(595)9521500

Publicado por:
Universidad Autónoma Chapingo
Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas
Km. 40 Ctra. Gómez Palacio – Chihuahua,
Bermejillo, Durango, México.
C.P. 35230
Teléfonos: 871 980 13 40 al 56 y 871 980 00 66 al 69
e-mail: rebiza@chapingo.uruza.edu.mx

Presentación

La Universidad Autónoma Chapingo reafirma su función sustantiva de difusión del conocimiento científico. En este contexto, la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas tiene el honor de convocar **al XXII Congreso Internacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas**, que se celebrará los días 29 y 30 de octubre de 2026.

El evento tiene como principales ejes temáticos:

1. Cuencas Hidrológicas y Manejo Integral del Agua.
2. Fisiología e Impacto Ambiental.
3. Producción y Salud Animal.
4. Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable.
5. Tecnologías de Producción Agrícolas y Agroforestales.

Por ello, extendemos una cordial invitación a profesores, investigadores de instituciones hermanas, estudiantes, egresados y público en general a participar activamente. Su valiosa contribución es esencial para el cumplimiento de la misión y visión de esta Unidad Regional en el estudio y desarrollo de las zonas áridas del norte de México.

Atentamente

Comité Organizador

Conferencistas Magistrales



inifap

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Dra. Rosario Jacobo Salcedo

Investigadora en el campo de los Recursos Naturales y en Zonas Áridas, con una trayectoria orientada al estudio de las respuestas fisiológicas ante condiciones ambientales adversas y al manejo sustentable de los recursos naturales en sistemas agrícolas.

Conferencia Magistral:
Del Estrés Hídrico a la Calidad de Cosecha: Bases Fisiológicas y Agronómicas para una Agricultura Resiliente en Zonas Áridas.



UNAM
CUAUTITLAN

Dra. Elein Hernández Trujillo

Profesora e investigadora en la UNAM - FES Cuautitlán, imparte las materias de bienestar animal, clínica de aves, zootecnia de aves y materias posgrado. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI)

Conferencia Magistral:
Un Bienestar: De la Teoría a la Práctica.

Conferencistas Magistrales



Ph.D. Eduardo Rico

Profesor Asistente de Medicina de Población, Sostenibilidad y Seguridad Alimentaria en el Departamento de Estudios Clínicos del New Bolton Center, de la Universidad de Pensilvania.

Conferencia Magistral:
¿Malignas o benignas? Las Cetonas y su papel en la Salud de las Vacas Lecheras.



Ing. Pablo Ramírez Estrada

Ingeniero agrónomo especialista en suelos, con experiencia en investigación aplicada y manejo técnico de agroecosistemas de zonas áridas.

Conferencia Magistral:
Del Diagnóstico a la Sostenibilidad: Métricas para la Gestión del Suelo y el Agua en Zonas Áridas.



M.C. Luis Alberto Pérez Lara

Es Ingeniero Agrónomo Zootecnista por la Universidad Autónoma Chapingo y cuenta con una Maestría en Ciencias de la Producción y Salud Animal, con Especialidad en Reproducción Equina, por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Conferencia Magistral:
Yegua Subfertil y sus Estrategias Terapéuticas.

Nota Importante: La redacción y contenidos de los trabajos de investigación son responsabilidad del (los) autor (es).

Ponencias Orales

Modelado multiescala de los mecanismos de oxidación y degradación de acero estructural: biocorrosión por colonia fúngica vs. corrosión química por condensados....1

Influencia de la vegetación arbórea en la retención de sedimentos en bosques templados de Durango, México....6

Caracterización de frutos de genotipos de calabaza (*Cucurbita pepo* L.) provenientes de Rio Grande, Zacatecas....10

Tendencias de la temperatura máxima y mínima en el estado de Zacatecas, México....16

Respuestas de plantas de *Neltuma laevigata* a la inoculación con rizobacterias y su interacción con la fertilización en vivero....21

Respuesta reproductiva de vacas lecheras de sistemas familiar-traspatio bajo diferentes regímenes de alimentación....25

Asociación de diagnóstico de brucelosis bovina mediante rosa de bengala y cultivo en leche....29

Efecto de los minerales enriquecidos con fosfolípidos sobre respuesta reproductiva, niveles de glucosa y proteína total en cabras de pastoreo....34

Suplementación con un compuesto probiótico-prebiótico: Efecto sobre el consumo de concentrado iniciador y la dinámica de crecimiento en becerros holstein friesian en etapa post-destete....37

Uso de la pulpa de café para mejorar la proteína total y niveles de glucosa en cabras sincronizadas al estro....42

Potencial germinativo de especies silvestres del género *Phaseolus* y su aplicación en programas de conservación de la biodiversidad....45

Cartografía participativa para la caracterización de sistemas socioecológicos en zonas áridas: Modalidades, aplicaciones y un caso de estudio en la reserva de la biosfera de Mapimí....49

Conocer para conservar: Aves de un área destinada voluntariamente a la conservación en el desierto Chihuahuense....54

Temperatura superficial de los bosques de pino de la Sierra Madre Occidental durante las últimas tres décadas....57

Conteo automatico de aves acuaticas mediante el uso de vehiculos areos no tripulados....62

Calidad nutracéutica y contenido de sólidos solubles del melón en sustratos con vermicompost y arena....67

A prior integrated productivity model for *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller 72

Uso de hidrogel y zeolita como retenedores de humedad del suelo y su impacto en el crecimiento de la planta y rendimiento de chile (*Capsicum annuum* L.) bajo riego óptimo y subótpimo 78

Importancia y diferenciación de atributos sensoriales en *Opuntia* agroecológica del semidesierto mexicano 81

Biochar y zeolita como enmiendas del suelo y su efecto en el crecimiento de la planta y el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo dos contenidos de humedad del suelo....85

Retención de humedad en dos sustratos con tres proporciones de hidrogel, para la producción de planta en vivero 89

Efecto de la taurina en la integridad de la membrana espermática de carneros Dorper 94

Efecto de la complementación con fosfolipidos y minerales sobre el tamaño de los foliculos en ovejas Dorper sincronizadas al estro 99

Uso de los fosfolípidos y minerales para mejorar la tasa embrionaria de cabras sincronizadas al estro 102

Efecto de los aminoácidos esenciales sobre el peso vivo y condición corporal de corderos Dorper 105

Efecto de la administración de un precursor gluconeogénico sobre los niveles de glucosa y cuerpos cetónicos en cabras gestantes....108

Análisis preliminar del paisaje en cuadrantes con madrigueras activas de *Gopherus flavomarginatus* en la reserva de la biósfera de Mapimí....112

Agaves mezcaleros de Tamaulipas: Diversidad, manejo y potencial para su aprovechamiento sostenible 115

Caracterización bioquímica de bacterias asociadas a nódulos de *Phaseolus vulgaris* L. 120

Tesoro de la región semiárida de Durango: Aporte en el conocimiento de plantas medicinales....124

Coleópteros asociados a mezquite *Prosopis juliflora* (Sw.) Dc coville., del area de Bermejillo, Dgo. México 128

Cambios en la cobertura de suelo en la reserva de la biósfera marismas nacionales durante las últimas tres décadas mediante teledetección 132

Automatización del procesamiento geoespacial para el cálculo y clasificación del índice de aridez en Sinaloa, México....138

Carteles

Correlación entre índices espectrales y el estado hídrico del suelo con cultivo de maíz forrajero...143

Desempeño de índices derivados de Sentinel-2 para estimar la humedad del suelo bajo condiciones de dosel desarrollado 148

Análisis del impacto del cambio climático en el cultivo de maíz forrajero en la Comarca Lagunera 153

Caracterización fisicoquímica y evaluación de la calidad de agua de pozo para riego agrícola 158

Estimación de la escorrentía superficial en cuencas mexicanas mediante la aplicación del modelo Europeo ECMWF durante el temporal 2026....162

Calibración y validación del modelo Swat para la subcuenca del río Sayula, Chiapas 167

Efecto del cambio de la NOM-011-CONAGUA en la disponibilidad hídrica del acuífero Valle del Guadiana, Durango....171

Cambios proyectados de temperatura y precipitación en cuatro regiones hidrológicas de México bajo escenarios CMIP6 176

Susceptibilidad a la erosión del suelo en la Comarca Lagunera: Análisis multicriterio mediante SIG 181

Evapotranspiración y coeficientes de cultivo del maíz forrajero con el uso de un lisímetro gravimétrico 186

Evolución y actualización de la plataforma Vical....191

Productividad de agua en maiz forrajero considerando el método de riego 195

Evaluación de métodos empíricos para la estimación del tiempo de concentración en la cuenca semiárida Chilitas, Zacatecas....199

Estimación de la generación de lodos para la conversión de un sistema de lagunas facultativas a lodos activados en una planta de tratamiento de zonas áridas 203

Estabilización del monitoreo del flujo en un reactor para tratamiento de agua de uso agrícola contaminada con fenoles 208

Microregionalización con criterios de aridez, sequía y fisiografía para la planeación en el uso y manejo de los recursos agua y suelo en la subcuenca del río Aguanaval, Zacatecas, México. 213

Agentes contaminantes microbianos en la propagación de *Agave pintilla, A. Nickelsiae, A. Durangensis* y *A. Tequilana* con SIT.....217

La aplicación de rizobacterias (*Siccibacter colletis* Sp. Nov.) (CASEcto 12) mejora el enraizamiento del trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus*) bajo condiciones controladas de malla sombra.....221

Efecto de la frigoconservación interrumpida de ajo (*Allium sativum* L.) sobre el contenido de compuesto fenólicos.....225

Acumulación de prolina entre clases de frijol pinto y negro (*Phaseolus vulgaris* l.) bajo condiciones de temporal en el Altiplano Zacatecano.....230

Respuesta fisiológica de tomate (*Solanum lycopersicum*) a tratamientos de bioestimulación con algas marinas, Silicio y Titanio.....235

Evaluación del color en genotipos de calabaza criolla (*Cucurbita pepo* l.) cultivada en Zacatecas....239

Relaciones entre variables de intercambio gaseoso en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo diferentes estrategias de bioestimulación.....244

Tendencias de temperatura, precipitación y evaporación en cinco estados del centro-norte de México.....249

Evaluación de algoritmos estadísticos versus redes neuronales artificiales para la clasificación de cobertura del suelo con imágenes multiespectrales.....254

Contenido y distribución de micronutrimentos en tornachile (*Capsicum annuum* L.) bajo diferentes potenciales osmóticos.....258

Caracterización de elementos traza en suelo superficial y tejido vegetal en parques públicos de Torreón, Coahuila.....263

Avances en la evaluación fenológica de diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).....267

El propóleo de *Apis mellifera* L. como biomonitor de elementos traza en zonas áridas: Una revisión de sus alcances y limitaciones.....270

Cambios en la idoneidad climática de maíz y el gusano cogollero en México.....275

Extracto hidroetanólico de hoja de *Larrea tridentata* como alternativa antihelmíntica en caprinos..279

Presencia de hongos microscópicos en bovinos lecheros de Gómez Palacio, Durango, México.....284

Factores de riesgo y etiología de mastitis bovina en hatos lecheros de la Comarca Lagunera.....290

Importancia de la evaluación clínica para el manejo sanitario del ganado caprino amenazado por brucelosis.....295

Manejo nutricional de *Apis mellifera* L. en zonas áridas: Resultados preliminares de los criterios para la selección de suplementación energética y proteica 300

Efecto del ácido ferúlico en la calidad de semen refrigerado de carneros Dorper 305

Tasa ovulatoria en cabras tratadas con pulpa de café 309

Cinética de la producción de gas de un concentrado con diferentes niveles de orégano mexicano 312

Efecto del residuo de orégano mexicano sobre la cinética de producción de gas *in vitro* en forraje de pradera 317

Comportamiento productivo de corderos de engorda suplementados con el aditivo fitogénico Natephen® 322

Modulación del peso vivo e índice de masa corporal en cabras gestantes mediante la manipulación proteica en la dieta 326

Modulación de la composición láctea mediante suplementación mineral y probiótica en cabras Saanen en lactancia tardía 331

Comportamiento productivo de conejos de engorda suplementados con una mezcla herbal 336

Potencial acaricida del propóleo de zonas áridas sobre *Varroa destructor*: Resultados preliminares de la evaluación experimental y estimación de la dosis letal media 339

Adición de aminoácidos en semen de carneros para preservar la calidad durante el proceso de refrigeración 344

Comportamiento productivo de corderos suplementados con ácido guanidinoacético: Metaanálisis 348

Microbiota ruminal de corderos suplementados con una mezcla herbal 351

Germinación de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*) en diferentes sustratos orgánicos e inoculación bacteriana 355

Rendimiento de chorizo de cordero al adicionar niveles crecientes de soya 359

Comportamiento productivo de bovinos para carne suplementados con una mezcla herbal 362

Resultados preliminares del índice multicriterio para identificar áreas potenciales de congregación de zánganos de *Apis mellifera* L. en zonas áridas 366

Resultados preliminares de sanidad preventiva en *Apis mellifera* L.: Integración de buenas prácticas apícolas para el manejo sanitario de colonias 372

Porcentaje de ovulación y tasa ovulatoria en cabras tratadas con pulpa de café y sincronizadas al estro 377

Morbilidad temprana y dinámica de crecimiento predestete en becerras Holstein Friesian de la Comarca Lagunera 380

Microbiota bacteriana y enfermedades respiratorias bajo el enfoque One Health: Un análisis bibliométrico 385

Establecimiento de especies nativas de la selva baja caducifolia como estrategias de conservación y recuperación de suelos en la UES Amatepec.....390

Revision bibliografica de la deforestación y degradación de bosques boreales.....394

Desempeño económico y ambiental de *Opuntia spp*. en México: Un análisis bibliométrico 398

Descripción morfología de las semillas de *Myrospermum sousanum* A. Delgado & M. C. Johnston.404

Creación de un banco de germoplasma de maíz (*Zea mays* L.) nativo, de la zona de influencia de la Universidad para el Bienestar "Benito Juárez García" del Ejido Hidalgo Mpio. de Fco. I Madero, Coahuila.....409

Variación en germinación de semillas de *Pinus greggii* Engelm. Ex Parl. Var. Greggii de diferentes procedencias de la Sierra Madre Oriental.....413

Clasificación de maíz forrajero (*Zea mays* L.) mediante imágenes satelitales y random forest en un módulo de riego.....418

Evaluación de datos Nasa-Power para estimar la evapotranspiración de referencia en una región semiárida del norte de México 423

Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) una alternativa natural y de bajo costo para el tratamiento de la hipertensión y colesterolemia 428

Identificación y caracterización morfológica de hongos micorrízicos arbusculares procedente de suelos con manejos agronómicos diferentes.....432

Tolerancia a araña roja y a cenicilla en selecciones de duraznero en Aguascalientes.....438

Distribución espacial de los macronutrientes y materia orgánica del suelo con el cultivo de maíz forrajero, Mapimí, Durango.....443

Impacto de la incorporación de enmiendas orgánicas a base de estiércol bovino en los contenidos de carbono orgánico en suelos agrícolas de la Comarca Lagunera.....449

Línea base y distribución vertical del carbono orgánico del suelo en parcelas agrícolas con diferentes manejos de enmiendas orgánicas de origen bovino en la Comarca Lagunera 454

Evaluación de la estabilidad potencial del carbono orgánico del suelo mediante fraccionamiento por tamaño y oxidabilidad en pastizales de Chihuahua, México 459

Caracterización nutracéutica de subproductos de diferentes genotipos de calabaza (*Cucurbita pepo*) 464

Evaluación nutracéutica de muffins elaborados con subproductos de calabaza (*Cucurbita pepo*) como estrategia de revalorización.....469

Composición mineral de frijoles con diferente color de semilla, cultivados en la región norte del estado de Guerrero, México 474

Regímenes de incendios en el parque nacional Pico de Orizaba.....479

Dinámica de la diversidad alélica durante la adaptación de recursos genéticos de maíz 483

Cuantificación volumétrica, tasa de desviación y potencial de mitigación de metano en la remediación de un depósito irregular de residuos sólidos en un campus universitario de zona árida 487

Reducción y sincronía del crecimiento radial mediante análisis de series dendrocronológicas, en un rodal de *Pinus arizonica* en el noreste de México.....491

Variabilidad sensorial del propóleo de la Comarca Lagunera, México.....496

Distribución potencial de (*Coffea arabica* L.) en México.....500

Redes neuronales artificiales como herramienta para estimar la evapotranspiración de referencia en regiones con monitoreo meteorológico limitado 503

Diversidad del microbioma fecal de rumiantes silvestres y domésticos en simpatría en el desierto Chihuahuense 507

Taxones bacterianos diferenciales en el microbioma fecal de *Ammotragus lervia*, *Bos taurus* y *Capra aegagrus hircus* en el desierto Chihuahuense 510

Tasa de crecimiento de *Portulaca oleracea* a cielo abierto en la Comarca Lagunera.....515

Uso de biomasa residual de *Agave lechuguilla* como bioadsorbente para la remoción de Arsénico (III) en agua 519

Microregionalización con criterios de aridez, sequía y fisiografía: Una herramienta de planeación de desarrollo integral en la región norte del estado de Durango.....523

Potencial antifúngico de extractos vegetales de zonas áridas para el control de *Fusarium* sp. 529

Experiencias en la selección y establecimiento de especies para la revegetación de zonas áridas y semiáridas en Chihuahua y Durango.....533

Contenido de microminerales en semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp), de la región norte del estado de Guerrero.....538

Distribución espacial de la materia orgánica y su contribución al almacenamiento de carbono en suelos agrícolas con aplicación de enmiendas organicas.....543

Floración, madurez y crecimiento de fruto en selecciones de duraznero en Aguascalientes.....548

Gobernanza y gestión sustentable de los recursos naturales en la Comarca Lagunera: Análisis mediante la metodología de marco lógico.....554

Distribución espacial y temporal de recursos floristicos de interes apicola en el rancho El Carmen.....559

Potencial germinativo de *Bursera fagaroides* (Kunth) Engl. de la región semiárida de Durango.....564

Caracterización de atributos morfológicos en genotipos de mora con potencial productivo.....567

Respuesta climática del crecimiento radial de *Pinus arizonica* var. Stormiae en un bosque con decaimiento en Galeana, Nuevo León.....571

Índices de calidad del suelo para cuantificar la recuperación edáfica en plantaciones de *Pinus greggii*.....577

Efecto de la exposición de laderas y la posición topográfica en el carbono activo del suelo en ecosistemas forestales de la Sierra Madre Occidental.....582

Función de respuesta climática de un rodal de *Pinus teocote* Schiede en Arteaga, Coahuila: Una evaluación preliminar.....586

Uso de ensilado de mezquite en cabras bajo pastoreo: Producción y calidad del calostro.....590

Registros notables de *Taxidea taxus* mediante fototrampeo al sureste de Mapimí, Durango.....593

Gobernanza, sostenibilidad y competitividad del café chiapaneco: Identificación de brechas estructurales desde la perspectiva de actores.....596

Propuesta de manejo y diagnóstico espacial preliminar del hábitat potencial del ocelote (Leopardus pardalis) en la cuenca del río Lacantún, Chiapas.....601

Calidad de plántula en semillas de *Echinocactus platyacanthus* Link y Otto sometidas a tratamientos pregerminativos.....607

Evaluación de tratamientos pregerminativos en semillas de *Dasylirion cedrosanum*.....612

Efecto de diferentes longitudes de onda sobre la respuesta fotoblástica de bonete de obispo (*Astrophytum myriostigma*) 616

Respuesta morfométrica de plántulas de *Kroenleinia grusonii* bajo la adición *in vitro* de reguladores de crecimiento vegetal 620

Tendencias cienciométricas en la síntesis verde de nanopartículas mediada por *Opuntia* spp. 625

Rendimiento de forraje y grano de maíz (*Zea mays* L.) raza criolla CHF-1 con fertilización química y orgánica 630

Uso de bioestimulantes en plántulas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) regadas con agua de alta salinidad 635

Comportamiento agronómico de maíz forrajero al utilizar estimuladores de crecimiento comerciales 639

Comportamiento agronómico y rendimiento de maíz forrajero en función del híbrido y densidad de población 644

Evaluación de líneas genéticas experimentales de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo diferentes niveles de humedad 648

Series de tiempo para evaluar el impacto del cambio climático en áreas productoras de frijol en Durango 653

Efecto del tratamiento pregerminativo (Priming) sobre variables fisológicas de germinación de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) 658

Respuesta agronómica de dos variedades criollas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) al priming de semilla con ácido salicílico, zinc y molibdeno 662

Carbono orgánico extractable con agua del suelo de predios con diferente manejo de enmiendas orgánicas 667

Rendimiento y porcentaje de bulbos comerciales de cinco genotipos de ajo bajo riego en Zacatecas 672

Calibración de sensores para el monitoreo de la humedad del suelo en algodón (*Gossypium hirsutum* L.) bajo riego por cintilla 675

Respuesta productiva y fisiológica de cuatro variedades de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) bajo riego por goteo 680

Caracterización química de las excretas de bovino-leche en tres etapas de maduración para su compostaje 685

Implementación de una técnica en laboratorio para cuantificar la porosidad del suelo mediante el análisis de imagen 689

Restauración de los almacenes de carbono en suelos de zonas áridas por diferentes manejos del suelo 693

Analisis económico de la producción de algodón con y sin tecnología de riego en la Región Lagunera 697

Caracterización de productores y preferencias para la adopción de variedades cultivadas de frijol en Durango 700

Evaluación comparativa de ensilados elaborados con canola (*Brassica napus*) y triticale (*X. Triticosecale* Wittmack) 705

Proceso de elaboración de harina de nopal con variedades del banco de germoplasma de *Opuntia* sp. de la URUZA-UACh 711

Adaptación y productividad del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en ambientes áridos y semiáridos del altiplano de Durango, México 715

Potencial de rendimiento de híbridos comerciales de sorgo forrajero en la Región Lagunera 719

Acumulación anual de raíces con agricultura de conservación como alternativa para incrementar la materia orgánica del suelo 724

Respuesta morfológica y bromatológica del maíz forrajero (Zea mays L.), a diferentes dosis de nitrógeno 728

Implicaciones biogeoquímicas del sobre estercolado: Caso de estudio el porvenir 732

Labilidad e índice de reserva de carbono como indicadores de calidad de suelo en sistemas agrícolas de San Luis Potosí 736

Caracterización funcional de bacterias nativas asociadas a sistemas de producción de frijol en zonas semiáridas 740

Influencia de las características edáficas en el cultivo de melón 744

Evaluación de propiedades del crecimiento vegetal de cepas aisladas de *Salsola tragus* y *Setaria adhaerens* en condiciones áridas 747

Microtuneles para la producción de chile (*Capsicum annuum* L.) en fecha temprana en la Región Lagunera 751

Evaluación del desempeño hidráulico de un sistema de riego por cintilla y su relación con la humedad del suelo y la altura de plantas de frijol 754

Efecto de la zeolita en el contenido relativo de agua e índice de clorofila en tres morfotipos de nopal forrajero (*Opuntia* spp) bajo riego limitado 758

Síntesis verde de nanopartículas de plata mediante extractos de epicarpio de tuna verde y morada (*Opuntia* spp.): Composición bioactiva y respuesta plasmónica 762

XXII CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS

"Innovación y acción para un medio ambiente sostenible"

Ponencias Orales

MODELADO MULTIESCALA DE LOS MECANISMOS DE OXIDACIÓN Y DEGRADACIÓN DE ACERO ESTRUCTURAL: BIOCORROSIÓN POR COLONIA FÚNGICA vs. CORROSIÓN QUÍMICA POR CONDENSADOS

Aurelio Maldonado-Cabrera[1], Argelio Luis Guajardo González[2], Luis J. Maldonado-Rincón[1], Karen G. García-Cervantes[1], Diego C. Anaya-Guerrero[1*]

[1]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Químicas [2]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura. Artículo 123 s/n. Col. Filadelfia. C.P. 35010. Gómez Palacio, Dgo. México. *Autor de correspondencia: anaya11736@gmail.com

Introducción

La degradación y falla estructural por oxidación acelerada en perfiles metálicos representa un riesgo crítico de colapso en instalaciones agroindustriales, pecuarias y de manejo de agua con atmósferas confinadas de alta humedad (humedad relativa 70–85%, temperatura 28–32 °C). En recintos acuáticos se han documentado problemas de corrosión en componentes de acero inoxidable, relevantes para la selección y protección de materiales (Fischer et al., 2011). Aunque la herrumbre es un fenómeno universalmente conocido, se ignora con frecuencia el mecanismo molecular que rige la competencia entre agentes químicos y biológicos. En ambientes confinados con agua tratada, la formación y transferencia de tricloramina (NCl_3) al aire está documentada (Schmalz et al., 2011). La humedad y los condensados con especies agresivas motivan el estudio de la corrosión abiótica (H2). Paralelamente, en el biodeterioro ambiental se postula la acción de hongos filamentosos colonizadores (*Aspergillus fumigatus*, *A. niger*), los cuales exudan ácido oxálico ($H_2C_2O_4$, pK_{a1} = 1.25, pK_{a2} = 4.27) (Gadd et al., 2014). El ion oxalato (Ox^{2-}) es un ligando quelante bidentado de excepcional afinidad por el catión férrico (Fe^{3+}), formando el complejo aniónico soluble $[Fe(Ox)^3]^{3-}$ que secuestra y disuelve los óxidos protectores del acero (hipótesis biótica, H1). Este trabajo establece las bases mecano-químicas cuantitativas de la oxidación estructural mediante un enfoque integrado en cuatro escalas: termodinámica de especiación acuosa y disolución de ferrihidrita (MINTEQ v4), acoplamiento molecular en el blanco fúngico citocromo P450 14α-desmetilasa (CYP51B), re-puntuación mecano-cuántica por DFT (ORCA 6.1.1), dinámica molecular a 20 ns en solvente explícito (GROMACS 2026) y comparación mecanística de ambas vías de degradación. PoliScreen integra el cribado molecular con AutoDock Vina, PLIP y CAVER para priorizar candidatos antifúngicos; SharK articula el procesamiento cuántico y su integración con la evaluación molecular. Estas herramientas propias orientan el desarrollo futuro de un recubrimiento funcional antifúngico y resistente a cloraminas.

Materiales y métodos

Inspección macroscópica. Se documentaron patrones de corrosión (exfoliación de herrumbre, ampollamiento de recubrimientos epóxicos y acumulación de sales) en estructuras de acero focalizados en zonas perimetrales frías de condensación.

Especiación termodinámica y solubilidad. Se formularon y resolvieron numéricamente los balances acoplados de masa para hierro (Fe_{tot} = 0.1 mM) y ligandos (L_{tot} = 5.0 mM de oxalato o cloruro) en 111 valores de pH (1.5 a 7.0), empleando el conjunto de constantes consignado en los cálculos, con MINTEQ v4 como referencia termodinámica (U.S. Geological Survey, s. f.). La disolución heterogénea se modeló incorporando ferrihidrita amorfa sólida: $Fe(OH)_3(s) + 3H^+ \; Fe^{3+} + 3H_2O$ (log $K*$ = 3.191). Las ecuaciones no lineales se resolvieron por Newton-Raphson con residuo de conservación < 2.3×10^{-12}.

Acoplamiento molecular en CYP51B. Se empleó la estructura cristalográfica de esterol 14α-desmetilasa de A. fumigatus cocristalizada con voriconazol (PDB 4UYM, resolución 2.55 Å; Hargrove et al., 2015). Se preservó el enlace axial hemo-cisteína (Cys463, Fe − S_γ = 2.32 Å). Se utilizó AutoDock Vina 1.2.5 (Trott y Olson, 2010) bajo PoliScreen con exhaustividad de 24 en una caja de 20 × 20 × 20 Å centrada en el hierro catalítico, aplicando como filtro cristalográfico un RMSD ≤ 2.0 Å en la conformación top (Pose 1).

Modelado mecano-cuántico (DFT). En ORCA 6.1.1 (Neese et al., 2020), se modeló el ion $[Fe(H_2O)_6]^{3+}$ (S = 5/2, UKS B3LYP-D3BJ/def2-SVP, solvente implícito CPCM agua), generando la isosuperficie 3D del orbital frontera SOMO (α-MO 43). Asimismo, se construyó un clúster catalítico de 119 átomos (hemo, ligando axial CH_3S^- y voriconazol) en tres conformaciones (cristal nativo, Pose 4 y Pose 1), evaluado por DFT unrestricted con el funcional meta-GGA composite r2SCAN-3c (Grimme et al., 2021).

Dinámica molecular (MD). En GROMACS 2026 (Abraham et al., 2015), se simuló el complejo cristalográfico durante 20.0 ns en una celda triclínica con agua SPC/E y 0.15 M NaCl (55,990 átomos). Se empleó el campo Amber ff14SB, GAFF2 con cargas AM1-BCC para voriconazol, y parámetros mecano-cuánticos calibrados para hemo férrico coordinado a cisteína (Shahrokh et al., 2012). Se aplicó una restricción armónica paraguas (r_0 = 0.21 nm, k = 1000 kJ/mol/nm^2) entre el Fe del hemo y el N de voriconazol.

Resultados y discusión

Termodinámica de especiación y disolución de ferrihidrita. El Cuadro 1 y la Figura 1 muestran que a pH 2.0 y 4.0 el oxalato mantiene el hierro en complejos solubles, con predominio de $[Fe(Ox)_3]^{3-}$ (99.3% a pH 4.0), impidiendo por completo la precipitación de la ferrihidrita y reteniendo 100 µM hierro disuelto. En contraste, en medio con cloruros a pH 4.0, el 99.6% del metal precipita como herrumbre sólida, dejando únicamente 0.43 µM en disolución. El ácido oxálico incrementa así la solubilidad del hierro en más de 230 veces frente al cloruro, demostrando una elevada capacidad termodinámica de movilización del hierro de la herrumbre.

Cuadro 1. Distribución porcentual y solubilidad en equilibrio de Fe(III) (Fetot= 0.1 mM, Ligando= 5.0 mM).

Escenario Químico	pH	Especies Predominantes (%)	Fe Disuelto (M)	Fe Precipitado (%)
Oxalato 5 mM	2.0	$[Fe(Ox)_3]^{3-}$ (66.5%), $[Fe(Ox)_2]^-$ (32.5%)	1.00×10^{-4}	0.0% (Soluble)
(Metabolito fúngico)	4.0	$[Fe(Ox)_3]^{3-}$ (99.3%)	1.00×10^{-4}	0.0% (Soluble)
	7.0	$[Fe(Ox)_3]^{3-}$ (99.6%)	5.99×10^{-7}	99.4% (Precipitado)
Cloruro 5 mM	2.0	Fe3+ (54.9%), $[Fe(OH)]^{2+}$ (35.5%), $[FeCl]^{2+}$ (8.3%)	1.00×10^{-4}	0.0% (Soluble)
(Condensado halógeno)	4.0	$[Fe(OH)_2]^+$ (76.4%), $[Fe(OH)]^{2+}$ (23.1%)	4.34×10^{-7}	99.6% (Precipitado)
	7.0	$[Fe(OH)_3]^0$ (56.0%), $[Fe(OH)_2]^+$ (43.5%)	7.63×10^{-10}	100.0% (Precipitado)
Oxalato Trazas	4.0	$[Fe(Ox)_3]^{3-}$ (98.8%)	1.19×10^{-5}	88.1% (Precipitado)

a). Evidencia macroscópica de corrosión en cubierta.

b). Especiación acuosa de Fe(III), sin precipitación.

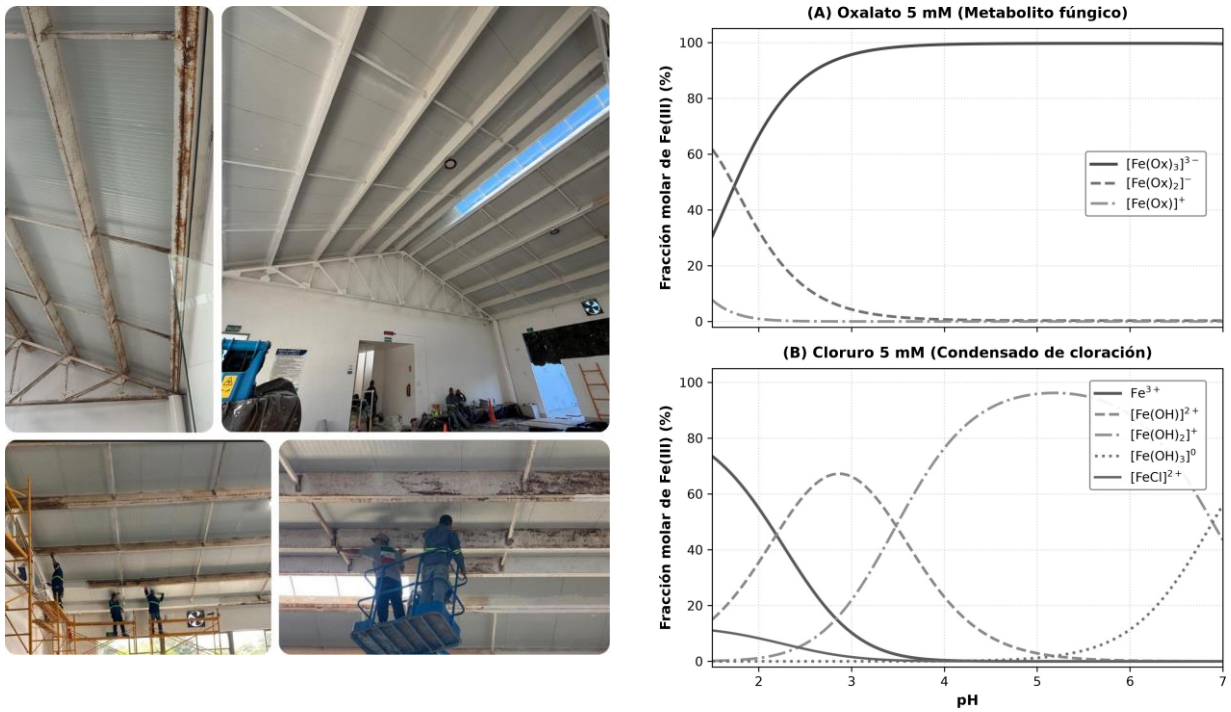


Figura 1. Corrosión observada y especiación acuosa; la solubilidad con ferrihidrita se presenta en el cuadro 1.

El enlace dativo cuántico resuelve el fallo cristalográfico de vina. En el acoplamiento molecular, AutoDock Vina clasificó en primer lugar a una conformación no nativa (Pose 1, −8.885 kcal/mol), cuyo valor de RMSD = 6.04 Å violó el umbral de aceptación (≤ 2.0 Å), ubicando el triazol orientado hacia afuera (Fe − N = 3.51 Å) sin enlace de coordinación. La conformación cuasi-nativa (Pose 4, RMSD = 1.40 Å) fue relegada al 4°lugar (−8.253 kcal/mol). Este fallo ocurre porque las funciones empíricas carecen de términos mecano-cuánticos de enlace dativo y penalizan por repulsión estérica de van der Waals las distancias sub-nanométricas.

El cálculo DFT (Cuadro 2) demostró que el enlace dativo N → Fe a 2.11 Å estabiliza la po-se activa en −39.14 kcal/mol, aventajando en −24.31 kcal/mol a la Pose 1. En la Pose 4, la repulsión clásica atrapó al ligando a 3.20 Å, donde la energía (−13.64 kcal/mol) es similar a la Pose 1 (−14.83 kcal/mol), permitiendo que la dispersión periférica favoreciera erróneamente a la conformación sesgada (espuria).

Estabilidad dinámica a 20 ns e integración mecanística. La simulación a 20.0 ns en GROMACS 2026 (Figura 2b y Cuadro 2) ratificó que el complejo inhibido es biofísicamente estable en solución acuosa: el esqueleto proteico alcanzó una meseta en 2.14 Å sin desplegamiento, el radio de giro (Rg = 22.90 ± 0.08 Å) confirmó compacidad constante, y la distancia Fe − N8 se mantuvo en 2.937 ± 0.331 Å, manteniendo la proximidad al centro catalítico bajo la restricción aplicada.

a). Superposición de docking y afinidad Vina vs RMSD.

b). Evolución de dinámica molecular (20 ns, GROMACS).

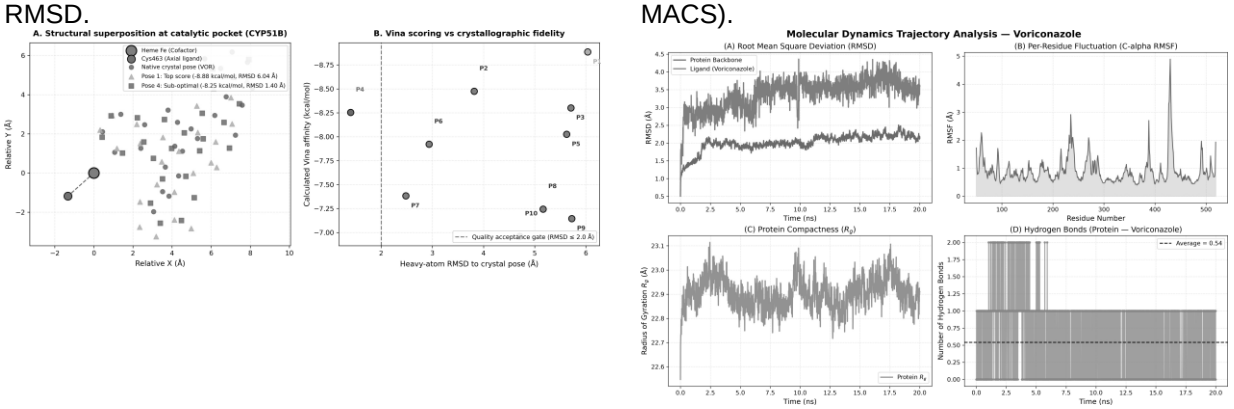


Figura 2. Validación estructural de inhibición fúngica en CYP51B y estabilidad temporal en agua.

Cuadro 2. Integración mecano-cuántica DFT (ORCA r2SCAN-3c, 119 átomos) y dinámica molecular a 20 ns.

Sistema / Modo	RMSD (Å)	Fe–N (Å)	Energía	Estado Físico-Químico
Pose 1 (Top Vina)	6.04	3.51	Δ_{Ebind} = −14.83 kcal/mol	Espuria; sesgo de dispersión periférica
Pose 4 (Cuasi-nativa)	1.40	3.20	Δ_{Ebind} = −13.64 kcal/mol	Pre-orientada;
Cristal Nativo (4UYM)	0.00	2.11	Δ_{Ebind} = **−39.14** kcal/mol	Atrapada por potencial vdW Enlace dativo N → Fe formado (−24.31 kcal/mol)
Dinámica MD (20 ns)	2.14 ± 0.18	2.94 ± 0.33	R_g = 22.90 Å	Pliegue estable; distancia Fe–N restringida

La integración de resultados (Cuadro 3) sustenta la relevancia de ambas vías para el diseño de protección. H2 constituye una explicación plausible del patrón de corrosión asociado a condensación; H1 aporta un mecanismo cuantificado de movilización del hierro que puede contribuir al deterioro. No se establece una relación de necesidad o suficiencia causal. El alcance del estudio es mecanístico: la comparación oxalato–cloruro representa escenarios de equilibrio, y la MD caracteriza la evolución del complejo bajo la restricción Fe–N descrita.

Cuadro 3. Comparación mecanística y criterios de diseño de protección.

Aspecto	H1: Oxalato fúngico	H2: Medio clorado y húmedo
Mecanismo especies agresivas	Complejación y movilización de Fe(III)	Ataque asociado a humedad y especies agresivas
Resultado del modelo pH4	100 µM de Fe disuelto a pH 4	0.43 µM de Fe disuelto con cloruro a pH4
Protección buscada a metabolitos	Función antifúngica y resistencia a metabolitos	Barrera frente al agua y agentes clorados

Conclusiones

El modelado termodinámico demostró que el ácido oxálico fúngico (H1) es un agente decapante altamente eficaz a pH 2.0–4.0 ($[Fe(Ox)_3]^{3-}$), elevando la solubilidad de la herrumbre en más de 230 veces respecto al medio con cloruro.

En CYP51B, el ranking de Vina favoreció una pose no nativa. El cálculo DFT en ORCA cuantificó una energía de interacción de −39.14 kcal/mol para la conformación coordinada, 24.31 kcal/mol más favorable que la Pose 1. La MD conservó la estabilidad estructural durante 20 ns (RMSD = 2.14 Å).

La corrosión asociada a condensados y la movilización de hierro por oxalato constituyen mecanismos relevantes para la protección del acero. Los resultados fundamentan su consideración conjunta, sin atribuir al ataque abiótico carácter necesario y suficiente.

Como perspectiva, PoliScreen y SharK permiten orientar la selección y evaluación molecular de candidatos para un recubrimiento funcional antifúngico y resistente a cloraminas. La formulación y evaluación del recubrimiento constituyen la siguiente etapa del proyecto.

Referencias

Abraham, M. J., Murtola, T., Schulz, R., Páll, S., Smith, J. C., Hess, B., & Lindahl, E. (2015). GROMACS: High performance molecular simulations through multi-level parallelism from laptops to supercomputers. *SoftwareX, 1–2*, 19–25. https://doi.org/10.1016/j.softx.2015.06.001

Fischer, J., Burkert, A., & Mietz, J. (2011). Case studies of stainless steel corrosion in indoor swimming pool environments. *Corrosion Engineering, Science and Technology, 46*(1), 76–79. https://doi.org/10.1179/174327809X409150

Gadd, G. M., Bahri-Esfahani, J., Li, Q., Rhee, Y. J., Wei, Z., Fomina, M., & Liang, X. (2014). Oxalate production by fungi: Significance in geomycology, biodeterioration and bioremediation. *Fungal Biology Reviews, 28*(2–3), 36–55. https://doi.org/10.1016/j.fbr.2014.05.001

Grimme, S., Hansen, A., Ehlert, S., & Mewes, J. M. (2021). r2SCAN-3c: A “Swiss army knife” composite electronic-structure method. *The Journal of Chemical Physics, 154*(6), 064103. https://doi.org/10.1063/5.0040021

Hargrove, T. Y., Wawrzak, Z., Lamb, D. C., Guengerich, F. P., & Lepesheva, G. I. (2015). Structure-functional characterization of cytochrome P450 sterol 14α-demethylase (CYP51B) from *Aspergillus fumigatus* and molecular basis for the development of antifungal drugs. *Journal of Biological Chemistry, 290*(39), 23916–23934. https://doi.org/10.1074/jbc.M115.677310

Neese, F., Wennmohs, F., Becker, U., & Riplinger, C. (2020). The ORCA quantum chemistry program package. *The Journal of Chemical Physics, 152*(22), 224108. https://doi.org/10.1063/5.0004608

Schmalz, C., Frimmel, F. H., & Zwiener, C. (2011). Trichloramine in swimming pools—Formation and mass transfer. *Water Research, 45*(8), 2681–2690. https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.02.024

Shahrokh, K., Orendt, A., Yost, G. S., & Cheatham, T. E., III. (2012). Quantum mechanically derived AMBER-compatible heme parameters for various states of the cytochrome P450 catalytic cycle. *Journal of Computational Chemistry, 33*(2), 119–133. https://doi.org/10.1002/jcc.21922

Trott, O., & Olson, A. J. (2010). AutoDock Vina: Improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. *Journal of Computational Chemistry, 31*(2), 455–461. https://doi.org/10.1002/jcc.21334

U.S. Geological Survey. (s. f.). *minteq.v4.dat* [Base de datos termodinámica, distribución PHREEQC]. https://github.com/usgs-coupled/phreeqc3/blob/master/database/minteq.v4.dat

INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA EN LA RETENCIÓN DE SEDIMENTOS EN BOSQUES TEMPLADOS DE DURANGO, MÉXICO

Lorena Amador-Sierra[1], Gustavo Pérez-Verdin[1], Liliana Wallander-Compeán[1], Jorge Luis Compeán-Aguirre[2]*

[1]Instituto Politécnico Nacional CIIDIR Unidad Durango, Av. Sigma 119, Fraccionamiento 20 de noviembre II, Durango, México. C.P.34220. [2] Universidad Autónoma de Durango, Campus Durango, Av. Universidad Autónoma de Durango No. 300, Fracc. Jardines de Durango, Durango, México. C.P. 34200. * Autor de correspondencia: j.compean.aguirre@gmail.com

Introducción

El suelo constituye un componente esencial de los ecosistemas forestales debido a su participación en procesos como el almacenamiento y suministro de nutrientes, regulación hídrica, producción de biomasa y almacenamiento de carbono. Sin embargo, los cambios en el uso del suelo y la disminución de la vegetación pueden acelerar los procesos erosivos y ocasionar pérdida de fertilidad y degradación del suelo (Adhikari & Hartemink, 2016; Ludwig et al., 2018). La erosión hídrica adquiere especial importancia en terrenos con pendientes pronunciadas, donde el escurrimiento superficial favorece el desprendimiento y transporte de partículas y, eventualmente, la formación de cárcavas.

La vegetación forestal desempeña una función importante en la protección del suelo, pues la cobertura vegetal disminuye el impacto directo de la precipitación sobre la superficie, mientras que las raíces favorecen la estabilidad y cohesión de las partículas. En contraste, la disminución de la vegetación puede incrementar la susceptibilidad del suelo a la erosión y dificultar el establecimiento de nuevas plantas (Jiao et al., 2009; Lira-Caballero et al., 2018).

En áreas forestales degradadas, una de las estrategias utilizadas para controlar el movimiento de sedimentos consiste en la construcción de presas filtrantes de piedra, madera y otros materiales, establecidas transversalmente en las cárcavas. Estas estructuras disminuyen la velocidad del escurrimiento, favorecen la acumulación de sedimentos y contribuyen a estabilizar los cauces y al restablecimiento de la vegetación (Abbasi et al., 2019; Lucas-Borja et al., 2019). No obstante, la cantidad de sedimentos transportados hacia estas estructuras no depende exclusivamente de las características de la presa. Las condiciones de la microcuenca y la vegetación existente en el área de captación pueden modificar los procesos de escurrimiento y erosión. Evaluar esta relación resulta relevante para integrar el manejo de la vegetación con las acciones de conservación y restauración del suelo.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar la relación entre la vegetación arbórea y la cantidad de azolves en presas filtrantes en bosques de pino-encino del noroeste de Durango, México, considerando características ambientales asociadas con el proceso de erosión.

Materiales y métodos

Área de estudio. El estudio se realizó en el noroeste del estado de Durango, en el municipio de Santiago Papasquiaro. La región presenta clima templado subhúmedo, precipitación promedio anual de 985 mm y temperatura media de 13.3 °C. El relieve es accidentado, con elevaciones comprendidas entre 1800 y 2800 m y pendientes entre 10 y 60 %. La vegetación corresponde principalmente a bosques de pino-encino, donde se encuentran especies como *Pinus durangensis*, *P. leiophylla*, *P. teocote*, *P. engelmannii*, *P. lumholtzii*, *Quercus sideroxyla*, *Q. rugosa*, *Q. convallata*, *Q. brachystachys*, *Q. urbanii*, *Q. durifolia*, *Juniperus deppeana* y *Arbutus madrensis*.

Selección de las presas y caracterización de la vegetación. A partir de registros de obras de restauración se identificaron 360 presas filtrantes construidas entre 2011 y 2021. Después de realizar un premuestreo y estimar el tamaño de muestra, se seleccionaron 76 presas funcionales, de las cuales 58 fueron construidas con piedra acomodada y 18 con morillos de madera.

Las presas se localizaron en 15 cárcavas. Para cada una se delimitó el área de captación de la microcuenca mediante un dispositivo de navegación portátil, identificando el parteaguas y el cauce principal. Posteriormente, mediante un sistema de información geográfica se estimaron el área y perímetro de cada microcuenca.

Para caracterizar la vegetación se registraron especie, diámetro normal, diámetro de copa y altura de los árboles presentes en el área de captación. A partir de estas variables se estimaron cobertura, densidad y volumen del arbolado. También se registraron la precipitación promedio anual y la pendiente del cauce donde se localizaron las presas.

Estimación de sedimentos. El volumen de sedimentos acumulados en cada presa se estimó considerando la geometría del depósito. Se midió el área frontal de la presa, dividiéndola en secciones rectangulares o triangulares, así como la longitud de acumulación de los sedimentos. Posteriormente, mediante la densidad del suelo se estimó el peso total del material retenido.

En cada presa se obtuvo una muestra compuesta integrada por tres submuestras de suelo recolectadas a diferentes profundidades. Las muestras se utilizaron para determinar densidad, textura, materia orgánica y carbono orgánico.

Análisis estadístico. Para analizar la influencia de la vegetación se utilizó el volumen del arbolado, expresado en m^3 rollo ha^{-1}, debido a que constituye una variable susceptible de modificación mediante tratamientos silvícolas.

Inicialmente se evaluó la normalidad de las variables mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Debido a que los datos no presentaron distribución normal, la relación entre volumen del arbolado y peso de los sedimentos se analizó mediante regresión por cuantiles con bootstrapping. Esta metodología permite analizar diferentes partes de la distribución y presenta menor sensibilidad a valores atípicos y a la ausencia de homogeneidad de varianzas. Los análisis se realizaron en STATA.

Resultados y discusión

Las microcuencas evaluadas presentaron superficies entre 0.05 y 5.3 ha, con un promedio de 0.72 ha. La pendiente promedio fue de 21 % y la precipitación media anual de 985 mm. La textura predominante de los sedimentos fue franco arenosa, con una proporción aproximada de 80 % arena, 15 % limo y 5 % arcilla. La densidad de los sedimentos presentó valores entre 1.35 y 1.45 Mg m^{-3}, con promedio de 1.41 Mg m^{-3}.

En total, las presas evaluadas acumularon 283.6 t de sedimentos en una superficie de 11.1 ha, equivalente a aproximadamente 2.55 t ha^{-1} $año^{-1}$. La cantidad retenida presentó amplia variabilidad entre las obras evaluadas.

El tamaño del área de captación mostró influencia sobre la acumulación de sedimentos. Las presas ubicadas en microcuencas menores de una hectárea retuvieron en promedio 15.1 t, mientras que aquellas localizadas en microcuencas mayores de una hectárea acumularon en promedio 37.0 t, presentándose diferencias significativas ($F = 8.85$; $P = 0.0125$).

La pendiente también presentó un efecto sobre la acumulación. Las presas localizadas en cauces con pendiente menor de 23 % registraron en promedio 2.88 t de sedimento, mientras que aquellas ubicadas en pendientes superiores a 23 % presentaron un promedio de 4.77 t (P = 0.02). En contraste, la precipitación no mostró efecto significativo sobre la retención de sedimentos en las condiciones evaluadas.

Relación entre vegetación arbórea y sedimentos

El resultado central del estudio fue la identificación de una relación inversa entre el volumen del arbolado y la cantidad de sedimentos acumulados en las presas filtrantes. La regresión por cuantiles mostró coeficientes negativos en los tres niveles evaluados. Para el cuantil 0.25 el coeficiente asociado al volumen del arbolado fue −0.209 (P = 0.05); para el cuantil 0.50 fue −0.294 (P = 0.10); y para el cuantil 0.75 alcanzó −0.557 (P = 0.02).

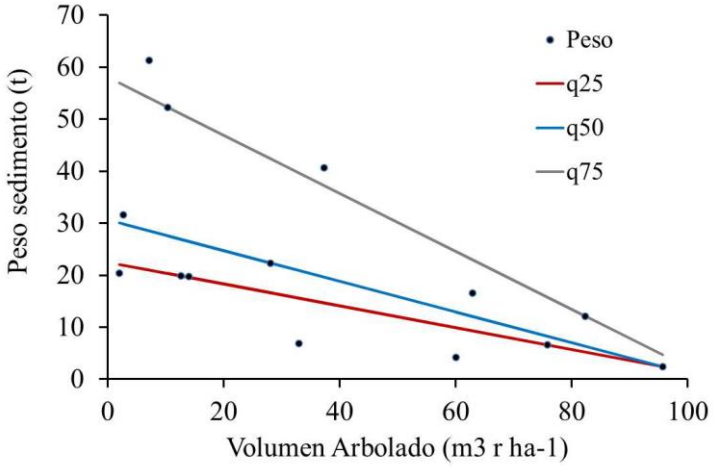


Figura 1. Relación entre el peso de sedimentos retenidos y el volumen del arbolado mediante regresión por cuantiles (q = 0.25, 0.50 y 0.75) en presas filtrantes del noroeste de Durango, México. Adaptada de Amador-Sierra et al. (2025).

La magnitud de esta relación aumentó en el cuantil 0.75, correspondiente a las condiciones con mayor acumulación de sedimentos. Esto indica que el efecto protector de la vegetación arbórea puede ser particularmente relevante en sitios donde existe mayor transporte de suelo. En términos generales, los resultados sugieren que las áreas con mayor volumen de arbolado presentan menor cantidad de material erosionado que posteriormente es depositado en las presas filtrantes.

Este comportamiento coincide con la función protectora atribuida a la cubierta forestal. Estudios realizados en bosques templados de Durango han encontrado que sitios con mayor densidad arbórea presentan menor escurrimiento superficial, mientras que una menor cobertura forestal incrementa la susceptibilidad del terreno a la erosión. Por ello, las estructuras mecánicas para el control de cárcavas deben considerarse como parte de estrategias integrales que incluyan el mantenimiento o recuperación de la vegetación (Cruz-Garcia et al., 2020; Lucas-Borja et al., 2018; Monárrez-González et al., 2023).

Desde una perspectiva de manejo forestal, estos resultados adquieren relevancia debido a que el volumen del arbolado puede modificarse mediante tratamientos silvícolas. Por ello, el manejo de la estructura forestal debe considerar no solamente objetivos relacionados con producción, sino también los efectos que las modificaciones de la vegetación pueden ejercer sobre el escurrimiento, erosión y conservación del suelo.

La conservación de una cobertura vegetal adecuada, complementada con reforestación y obras de conservación, puede contribuir a disminuir el transporte de partículas y favorecer la estabilidad de los suelos forestales. Las presas filtrantes constituyen una alternativa para interceptar el material que ya ha sido movilizado; sin embargo, conservar la vegetación de las áreas de captación representa una acción preventiva para reducir la generación y transporte de sedimentos.

Conclusiones

La vegetación arbórea mostró una relación inversa con la cantidad de sedimentos retenidos en las presas filtrantes, lo que evidencia su importancia en la protección de los suelos de bosques templados de Durango.

La relación fue más marcada en el cuantil correspondiente a los sitios con mayor acumulación de sedimentos, donde el coeficiente del volumen del arbolado alcanzó −0.557 ($P = 0.02$). Estos resultados indican que los sitios con mayor vegetación arbórea tienden a presentar menor transporte de suelo hacia las obras de retención.

La conservación del suelo no debe depender exclusivamente de estructuras mecánicas como las presas filtrantes. Su utilización debe complementarse con el mantenimiento de una cobertura forestal adecuada, reforestación y prácticas de manejo que favorezcan la protección del suelo.
Por lo tanto, considerar la estructura de la vegetación dentro de la planificación del manejo forestal puede contribuir simultáneamente al aprovechamiento sustentable de los recursos y a la reducción de los procesos erosivos en las microcuencas forestales.

Referencias

Abbasi, N. A., Xu, X., Lucas-Borja, M. E., Dang, W., & Liu, B. (2019). The use of check dams in watershed management projects: Examples from around the world. *Science of The Total Environment, 676*, 683–691. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.249

Adhikari, K., & Hartemink, A. E. (2016). Linking soils to ecosystem services—A global review. *Geoderma, 262*, 101–111. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009

Amador-Sierra, L., Pérez-López, M. E., Prieto-Ruíz, J. A., & Pérez-Verdin, G. (2025). Influencia de la vegetación forestal en la retención de sedimentos y carbono orgánico en presas filtrantes en Durango, México. *Terra Latinoamericana, 43*, e2064. https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2064

Cruz-Garcia, F., Monárrez-González, J. C., Tecle, A., Wehenkel, C., & Perez-Verdin, G. (2020). Effects of stand variables on stemflow and surface runoff in pine-oak forests in northern Mexico. *PLOS ONE, 15*(6), e0235320. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235320

Jiao, J., Zou, H., Jia, Y., & Wang, N. (2009). Research progress on the effects of soil erosion on vegetation. *Acta Ecologica Sinica, 29*(2), 85–91. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2009.05.001

Lira-Caballero, V. G., Martínez-Menez, M. R., Romero-Manzanares, A., & García-Moya, E. (2018). Initial floristic composition of rehabilitated gullies through bioengineering in the Mixteca Region, Sierra Madre del Sur, Mexico. *Journal of Mountain Science, 15*(10), 2120–2135. https://doi.org/10.1007/s11629-018-4899-0

Ludwig, M., Wilmes, P., & Schrader, S. (2018). Measuring soil sustainability via soil resilience. *Science of The Total Environment, 626*, 1484–1493. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.043

Lucas-Borja, M. E., Zema, D. A., Hinojosa Guzman, M. D., Yang, Y., Hernández, A. C., Xiangzhou, X., Carrà, B. G., Nichols, M., & Cerdá, A. (2018). Exploring the influence of vegetation cover, sediment storage capacity and channel dimensions on stone check dam conditions and effectiveness in a large regulated river in México. *Ecological Engineering, 122*, 39–47. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.07.025

Lucas-Borja, M. E., Piton, G., Nichols, M., Castillo, C., Yang, Y., & Zema, D. A. (2019). The use of check dams for soil restoration at watershed level: A century of history and perspectives. *Science of The Total Environment, 692*, 37–38. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.248

Monárrez-González, J. C., Lopez-Gonzalez, C., Marquez-Linares, M. A., & Perez-Verdin, G. (2023). Response of water yield to silvicultural treatments in a temperate forest in northern Mexico. *PLOS ONE, 18*(12), e0291094. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291094

CARACTERIZACIÓN DE FRUTOS DE GENOTIPOS DE CALABAZA (*Cucurbita pepo* L.) PROVENIENTES DE RIO GRANDE, ZACATECAS.

Valentín Melero-Meraz[1]*, Mayra Denise Herrera[1], Jorge A. Zegbe Dominguez[2], Néstor Manuel Ortiz-Rodríguez[3], Blanca Yahaira Jacobo Padilla[1], Mitzy Gonzalez Calva[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Km 24.5 Ctra. Zac-Fllo, Calera de V.R., Zacatecas, México. [2]INIFAP. Campo Experimental Pabellon, km 32.5 ctra Ags-Zac, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. [3]Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México. Privada Xochicalco s/n, Temixco CP. 62580, Morelos, México. *Autor de correspondencia: melero.valentin@inifap.gob.mx

Introducción

La agricultura de temporal constituye una de las principales actividades económicas en las regiones semiáridas de Zacatecas. La precipitación media apenas alcanza 400 mm, la irregularidad de las lluvias junto con la degradación progresiva de los suelos, limita las opciones productivas para los agricultores de la región. En este contexto, Zacatecas se posiciona como el principal estado productor de frijol bajo condiciones de temporal a nivel nacional, concentra más del 90% de su superficie cultivada bajo este régimen hídrico, principalmente en la región norte del estado, donde se registró un rendimiento medio de 0.56 t/ha en el ciclo 2024 (SIAP, 2026). Sin embargo, la dependencia de un cultivo altamente sensible a la disponibilidad de agua expone a los agricultores a una elevada incertidumbre productiva cada año.

La calabaza (*Cucurbita pepo subsp. pepo*) destinada a la producción de semilla o pepita se ha consolidado como una alternativa agrícola viable, particularmente en aquellas áreas donde las condiciones de sequía impiden el establecimiento de otros cultivos; debido a que esta especie presenta ventajas adaptativas frente a condiciones de escasez hídrica (Seymen et al., 2019). Esta adaptabilidad ha permitido que Zacatecas se convierta en uno de los principales productores de semilla de calabaza a nivel nacional, ofreciendo una opción económica complementaria para las familias rurales que dependen de la agricultura de temporal. No obstante, el aprovechamiento actual de este cultivo se centra casi exclusivamente en la semilla, dejando de lado el resto de las fracciones del fruto. Tras el proceso de extracción, se genera una cantidad considerable de residuos principalmente cáscara y pulpa que, en la mayoría de los casos, permanecen en campo o son eliminados sin ningún tipo de aprovechamiento.

Esta práctica representa una pérdida potencial de biomasa con valor económico y nutricional (López et al., 2025), dado que dichos esquilmos poseen un contenido apreciable de materia orgánica y nutrientes que podrían destinarse a usos alternativos dentro del propio sistema productivo. A esta problemática se suma otro factor limitante: la marcada heterogeneidad genética del cultivo. A diferencia de otras especies con variedades mejoradas y ampliamente caracterizadas, la producción de calabaza para semilla en la región se basa principalmente en genotipos criollos. Los miembros del género *Cucurbita* se consideran originarios de Latinoamérica, pero se cultivan en Europa desde hace más de 500 años. El género comprende cinco especies domesticadas (*Cucurbita argyrosperma* (Huber), *Cucurbita ficifolia* (Bouche), *Cucurbita maxima* (Duchesne), *Cucurbita moschata* (Duchesne) y *Cucurbita pepo* (L.), estas tres últimas son las especies cultivadas más importantes a nivel mundial y para semilla la más cultivada es *Cucurbita pepo* L (Chomicki et al., 2020).

Los individuos de dicha especie presentan una considerable variabilidad, ya que es altamente polimórfica tanto en la estructura de la planta como en la forma, el tamaño y el color de la cáscara y la pulpa del fruto. La pulpa muestra una amplia gama de colores, incluyendo blanco, crema, amarillo y naranja (Paris, 1988; Seymen et al., 2012). Esta situación no solo dificulta la estandarización de los procesos productivos, sino que también limita el aprovechamiento eficiente del potencial agronómico y bioquímico que podrían ofrecer los residuos del cultivo disponibles en la región. Bajo esta perspectiva, la caracterización comparativa de genotipos de *C. pepo* resulta fundamental, ya que permite no solo identificar diferencias agronómicas y productivas entre materiales, sino también generar información relevante sobre la composición y las propiedades de sus distintas fracciones pulpa, cáscara y semilla, contribuyendo a establecer el potencial de aprovechamiento integral. El presente estudio tuvo como finalidad caracterizar los frutos de genotipos de calabaza con potencial específico o múltiple, con el objetivo de sentar las bases para futuras estrategias de aprovechamiento integral de este cultivo en condiciones de temporal.

Materiales y Métodos

Se evaluaron frutos de genotipos (GN) de calabaza provenientes de colectas, en cuatro parcelas del municipio de Rio Grande, Zacatecas. Los genotipos fuero cultivados con un manejo tradicional estándar por el agricultor, bajo condiciones de temporal, con una precipitación de 357.4 mm entre junio y noviembre en el ciclo 2025. Se separaron en grupos de acuerdo a características físicas visuales del fruto, como forma, color, tamaño, presencia de surcos, entre otras. Se colectó un lote de 60 frutos y se separaron en ocho grupos con seis frutos cada conjunto; con base en la similitud de sus características físicas observables, considerando atributos morfológicos del fruto como forma, tamaño, patrón de coloración, grado de costillado, etc. Este proceso de clasificación fenotípica permitió organizar la variabilidad presente en el germoplasma y facilitar su comparación, constituyendo una aproximación preliminar para la diferenciación de materiales con potencial productivo. La delimitación de grupos tuvo el objetivo de mantener criterios de homogeneidad, para favorecer la interpretación de resultados para la descripción y la identificación de genotipos para su posterior selección.

Se determinaron una serie de variables tanto para los frutos como para las semillas. Las variables medidas fueron: El peso fresco (kg) del fruto con una balanza, el diámetro polar y ecuatorial (cm) con un flexómetro, el grosor de la piel (mm) con un vernier digital, con una balanza digital se midió la cantidad de semillas en términos de peso total en fresco (g), peso seco total de las semillas sanas (%) y semillas no viables (%). Las variables fueron sometidas a análisis de varianza, y cuando se detectaron diferencias significativas ($p<0.05$) se realizó una comparación de medias entre los genotipos por el método de Tukey (α) con el paquete estadístico Minitab v.17.

Resultados

Los grupos mostraron consistencia interna en sus rasgos morfológicos, mientras que entre ellos se observaron contrastes definidos, lo que facilitó la comparación y separar los materiales con características diferenciales. En conjunto, esto permitió utilizar la variabilidad fenotípica para establecer una base para el análisis aun cuando pertenece a la misma especie. De manera general la calabaza criolla, tiene la siguiente distribución de componentes; en promedio la pulpa con cáscara representó 93.92% del peso fresco total del fruto, mientras que las semillas constituyeron 6.07%. Sin embargo, al deshidratarlos, la pulpa representó, el 69.51% y la semilla 30.48% de la biomasa total; debido a que la pulpa contiene un 92.36% de agua y solo 7.64% de masa sólida (Figura 1).

La variabilidad en el tamaño del fruto de calabaza criolla es una característica multifactorial; las variaciones en peso y dimensiones del fruto están estrechamente asociadas a diferencias genéticas que regulan la división y expansión celular durante el desarrollo, influyendo directamente en el tamaño final del órgano cosechable (Taiz et al. 2015).

Respecto al peso del fruto completo, se observaron diferencias significativas ($p<0.001$), el GN6 presentó los frutos más grandes (4.4 kg), mientras que el GN8 mostró un comportamiento intermedio (3.6 kg) y el resto de los genotipos (GN 1, 2, 3, 4, 5 y 7) presentaron un menor peso sin diferencias entre ellos (Cuadro 2).



Figura 1. Proporciones relativas de los componentes del fruto de *Cucurbita pepo*, muestra la distribución de pulpa y semillas en función del peso total del fruto.

En el diámetro polar también se detectaron diferencias significativas ($p<0.001$), el GN6 coincide con el mayor valor (26.4 cm) un genotipo de frutos alargados, seguido por GN4 y GN8 con valores intermedios correspondientes a frutos más oblongos o redondeados, mientras que GN7 con el diámetro polar más pequeño fueron frutos más aplanados. Por el contrario, el diámetro ecuatorial no presentó diferencias estadísticas ($p=0.082$) entre genotipos, lo que indica que el peso del fruto está determinado principalmente por el alargamiento del fruto más que por el desarrollo ecuatorial. En conjunto, los resultados evidencian que el GN6 sobresale por producir frutos de mayor tamaño, principalmente debido a incrementos en peso y diámetro polar, más que en el diámetro ecuatorial (Cuadro1).

Cuadro 1. Análisis del fruto de genotipos (GN) de calabaza criolla de Zacatecas, los valores se expresan como la media ± error estándar.

GN	Peso fresco del fruto (kg)	Diámetro polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)	Peso fresco pulpa (kg)	Peso fresco semilla (g)
1	2.9±0.33 ^{b*}	17.6±0.90 ^{bcd}	19.3+0.97 ^{ns}	2.7±0.31 ^{b}	159.5±18.8 ^{b}
2	2.9±0.20 ^{b}	16.9±0.91 ^{cd}	20.1+0.44 ^{ns}	2.7±0.20 ^{b}	170.0±10.0 ^{b}
3	2.9±0.17 ^{b}	18.9±1.01 ^{bcd}	19.3+0.49 ^{ns}	2.7±0.16 ^{b}	184.7±16.8 ^{ab}
4	2.6±0.17 ^{b}	22.6±0.94 ^{ab}	16.2+0.65 ^{ns}	2.5±0.15 ^{b}	159.5±22.9 ^{b}
5	2.9±0.38 ^{b}	21.5±1.52 ^{abc}	18.2+2.06 ^{ns}	2.7±0.36 ^{b}	164.3±20.6 ^{b}
6	4.4±0.28 ^{a}	26.4±1.88 ^{a}	20.3+0.43 ^{ns}	4.2±0.29 ^{a}	250.3±7.9 ^{a}
7	2.6±0.16 ^{b}	16.1±0.48 ^{d}	19.8+0.57 ^{ns}	2.4±0.15 ^{b}	189.7±195 ^{ab}
8	3.6±0.43 ^{ab}	22.5±1.20 ^{ab}	19.5+0.79 ^{ns}	3.3±0.44 ^{ab}	229.0±16.0 ^{ab}

**Las literales indicaron diferencias estadísticas entre genotipos dentro de cada columna.*

Por otra parte, en los componentes del fruto se observaron diferencias significativas en el peso fresco de pulpa ($p<0.001$) y el peso fresco de semilla ($p< 0.003$). El GN6 desarrolló más pulpa (4.2 kg) y más semillas (250.3 g), lo que indica una mayor acumulación de biomasa. El GN 8 mostró valores intermedios, mientras que los demás genotipos conformaron el grupo de menor peso de pulpa, con diferencias menos marcadas en el peso de semilla.

En conjunto, los resultados indican que el GN6 produce frutos de mayor tamaño; las diferencias observadas en peso del fruto, diámetro polar y acumulación de biomasa en pulpa y semilla responden principalmente a la variabilidad genética entre genotipos, ya que el GN6 mostró consistentemente los valores más altos en la mayoría de los caracteres. Este comportamiento ha sido descrito en cucurbitáceas, donde los rasgos cuantitativos altamente influenciados por procesos como la división y expansión celular durante el desarrollo, demostrando que la variación fenotípica en tamaño puede explicarse por diferencias en la regulación genética y su interacción con las condiciones de cultivo, lo que respalda la superioridad observada en ciertos genotipos (Zhou et al., 2024).

La relación entre tamaño del fruto y proporción de sus componentes (pulpa y semilla) observada en los genotipos evaluados concuerda con estudios previos en *Cucurbita*, donde se ha documentado que la evolución hacia frutos de mayor tamaño suele acompañarse de cambios en la asignación de biomasa entre tejidos, afectando el peso de semillas y la proporción de cavidad seminal. Esto sugiere que la selección por tamaño puede implicar compromisos fisiológicos y estructurales en la distribución de recursos dentro del fruto, lo que explica las diferencias detectadas entre genotipos en el presente análisis y confirma que estos rasgos forman parte de un complejo de características interrelacionadas que determinan el rendimiento y la calidad del fruto. (Nerson et al., 2000; Pevicharova, y Velkov 2017).

En la evaluación de características físicas de la semilla de los ocho genotipos se observó lo siguiente. El peso seco de semillas presentó diferencias significativas ($p< 0.001$), al GN6 se le extrajo mayor cantidad (148.1 g), los GN7 y GN8 una cantidad intermedia y el resto de los genotipos conformaron el grupo de menor peso sin diferencias entre ellos. En cuanto al tamaño de las semillas, el GN6 y GN8 presentaron semillas más grandes al evaluarlas en fresco, mientras que GN1 y GN4 presentaron semillas pequeñas. Un patrón similar se observó al deshidratar las semillas, donde GN6 y GN8 tuvieron semillas de mayor tamaño y densidad. Por el contrario, el porcentaje de semilla no viable no mostró diferencias significativas entre genotipos, con valores bajos en todos los casos, lo que sugiere buena calidad fisiológica general del material, sin embargo, por el GN1 presento una alta variabilidad en cuanto a semillas no viables (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características físicas de la semilla de calabaza de Zacatecas, los valores se expresaron como media ± error estándar.

GN	Peso seco semillas (g)	Peso seco de 100 semilla(g)	Peso fresco de 100 semilla(g)	Semilla no viable (%)
1	78.0±17.3 ^{b*}	15.9±3.1 ^{b}	28.6+3.37 ^{ab}	4.3±3.84 ^{ns}
2	85.7±5.29 ^{b}	19.8±1.2 ^{ab}	35.3+3.36 ^{ab}	1.1±0.85 ^{ns}
3	93.9±7.26 ^{b}	20.1±1.8 ^{ab}	34.6+2.37 ^{ab}	0.4±0.07 ^{ns}
4	80.3±13.2 ^{b}	15.7±1.2 ^{b}	26.8+1.64 ^{b}	1.2±0.75 ^{ns}
5	87.2±14.3 ^{b}	17.5±1.0 ^{ab}	29.6+1.45 ^{ab}	1.8±0.84 ^{ns}
6	148.1±6.98 ^{a}	25.2±1.4 ^{a}	39.4+1.82 ^{a}	0.1±0.03 ^{ns}
7	99.9±9.77 ^{ab}	21.4±1.4 ^{ab}	35.0+2.91 ^{ab}	0.3±0.14 ^{ns}
8	106.8±5.40 ^{ab}	23.9±2.0 ^{a}	39.8+3.24 ^{a}	0.2±0.13 ^{ns}

**Las literales indicaron diferencias estadísticas entre genotipos dentro de cada columna.*

Las diferencias observadas en el peso y tamaño de las semillas entre genotipos coinciden con lo reportado en cucurbitáceas, donde el tamaño de la semilla es un rasgo estrechamente dependiente de la acumulación de reservas, ya que semillas más grandes suelen asociarse con mayor vigor y establecimiento inicial. Aunque en el análisis el porcentaje de semilla no viable no mostró diferencias significativas entre genotipos, el valor promedio más alto observado en el GN1 puede interpretarse desde un punto de vista biológico como un indicio de menor eficiencia en el llenado y maduración de las semillas (Demir y Ellis, 1992). Estas variaciones en la proporción de semillas no viables generalmente se asocian con la asignación diferencial de fotoasimilados, así como con el grado de madurez fisiológica al momento de la cosecha.

Este planteamiento es consistente con otros estudios en *Cucurbita* que señalan que este aspecto está estrechamente relacionado con el proceso de maduración y con factores genéticos que influyen en el llenado de reservas, donde incrementos en la proporción de semillas no viables pueden indicar interrupciones en el desarrollo o condiciones climáticas subóptimas durante la formación del fruto (Nerson et al., 2000).Esto sugiere que, aun cuando la variación no alcance significancia estadística, puede reflejar limitaciones en el desarrollo y en la eficiencia para acumular reservas, lo cual tiene implicaciones negativas en la calidad del lote de semilla.

Conclusiones

En conjunto, los resultados indican que el GN6 destaca por su mayor acumulación de biomasa en semilla y pulpa que se reflejó en un mayor peso individual de fruto, lo que sugiere un mayor potencial productivo y calidad física de semilla. Estas características permiten considerarlo como un genotipo de doble propósito, con viabilidad tanto para la producción de semilla como para el aprovechamiento de la pulpa como subproducto con potencial de valorización. El GN1 presentó el mayor porcentaje de semillas no viables, lo que representa un posible riesgo en términos de calidad comercial, debido a la mayor probabilidad de presencia de semillas defectuosas que pueden afectar la aceptación en mercado. Los genotipos GN6 y GN8, al combinar mayor peso de semilla con menor proporción de semillas no viables, muestran mayor potencial para selección y producción de semilla por su mejor calidad física. En particular, el GN8 podría ser una alternativa viable para productores enfocados exclusivamente en la producción de semilla.

Referencias

Chomicki, G., Schaefer, H., & Renner, S. S. (2020). Origin and domestication of Cucurbitaceae crops: Insights from phylogenies, genomics and archaeology. *New Phytologist, 226*(5), 1240-1255. https://doi.org/10.1111/nph.16015.

Demir, I., & Ellis, R. H. (1992). Development of pepper (*Capsicum annuum*) seed quality. *Annals of Applied Biology, 121*(2), 385-399. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1992.tb03452.x.

Food and Agriculture Organization. (2013). Post-harvest management of fruit and vegetables. FAO.

López, A., García, A., Castro-Cegrí, A., Segura, M., Benítez, Á., Palma, F., Garrido, D., Martínez, C., & Jamilena, M. (2025). A genome-wide association study reveals QTLs and candidate genes associated with the carotenoid content in the flesh of *Cucurbita pepo* L. fruit. *Antioxidants*, *14*(9), 1090. https://doi.org/10.3390/antiox14091090.

Nerson, H., Paris, H. S., & Paris, E. P. (2000). Fruit shape, size and seed yield in *Cucurbita pepo*. *Acta Horticulturae, 510*, 227-230. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.510.36.

Paris, H. S. (1988). Complementary genes for orange fruit flesh color in *Cucurbita pepo*. *HortScience*, *23*(3), 601-603. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.23.3.601.

Pevicharova, G., & Velkov, N. (2017). Sensory, chemical and morphological characterization of *Cucurbita maxima* and *Cucurbita moschata* genotypes from different geographical origins. *Genetika*, *49*(1), 193-202. https://doi.org/10.2298/GENSR1701193P.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2026). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (Año agrícola 2026). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Recuperado el 13 de sep de 2026.

Seymen, M., Turkmen, O., Paksoy, M., & Fidan, S. (2012). Determination of some morphological characteristics of edible seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) genotypes. In N. Sari, I. Solmaz, & V. Aras (Eds.), Cucurbitaceae 2012: Proceedings of the Xth EUCARPIA Meeting on Genetics and Breeding of Cucurbitaceae (pp. 739-749). Çukurova University, Faculty of Agriculture.

Seymen, M., Yavuz, D., Dursun, A., Kurtar, E. S., & Türkmen, Ö. (2019). Identification of drought-tolerant pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) genotypes associated with certain fruit characteristics, seed yield, and quality. *Agricultural Water Management, 221*, 150-159. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.009.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. S. (2015). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates.

Zhou, Y., Zhao, M., Shen, Q., Zhang, M., Wang, C., Zhang, Y., Yang, Q., Bo, Y., Hu, Z., Yang, J., Zhang, M., & Lyu, X. (2024). Genetic mapping reveals a candidate gene *CmoFL1* controlling fruit length in pumpkin. *Frontiers in Plant Science, 15*, Article 1408602. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1408602

TENDENCIAS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA EN EL ESTADO DE ZACATECAS, MÉXICO

Ramiro Chávez Mota[1]*

[1] Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, México. *Autor de correspondencia: rchavezm@chapingo.mx

Introducción

El incremento de la temperatura constituye una de las manifestaciones más evidentes del cambio climático; sin embargo, este proceso no necesariamente ocurre con la misma intensidad en las temperaturas máxima (Tmax) y mínima (Tmin). A escala global se han documentado diferencias en las tasas de cambio de ambas variables y variaciones de este comportamiento a través del tiempo, por lo que su análisis por separado permite identificar respuestas que pueden quedar ocultas cuando se considera únicamente la temperatura media (Vose et al., 2005).

En México, las tendencias de Tmax y Tmin presentan una considerable variabilidad temporal y espacial. Pavia et al. (2009), mediante aproximadamente 1,400 estaciones distribuidas en el territorio nacional, distinguieron dos periodos: 1940 -1969, en el que predominó el enfriamiento, y 1970 - 2004, caracterizado principalmente por calentamiento, más generalizado para Tmax que para Tmin. Los autores identificaron además una importante heterogeneidad espacial y estacional y señalaron que sectores del centro-norte del país, particularmente Durango y Zacatecas, presentaron repetidamente comportamientos diferentes de la tendencia general de México.

En Zacatecas, Brito-Castillo et al. (2009) analizaron Tmax y Tmin en 23 estaciones durante 1963–2002 y encontraron una marcada diferenciación espacial. En el sur del estado, el incremento de Tmax acompañado por una disminución de Tmin produjo un aumento del rango térmico diurno, mientras que en el norte la disminución de Tmax fue mayor que el incremento de Tmin, ocasionando una reducción de dicho rango. Por su parte, Santillán-Espinoza et al. (2011) encontraron para Tmin una tendencia promedio de −0.235 °C década^{-1}; nueve de las 24 estaciones analizadas presentaron tendencias significativas, de las cuales ocho fueron negativas y una positiva. Estos antecedentes evidencian que las tendencias térmicas en Zacatecas pueden presentar diferencias importantes tanto espacialmente como entre Tmax y Tmin.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue analizar y comparar las tendencias de las temperaturas máxima y mínima registradas en estaciones climatológicas del estado de Zacatecas, México, mediante la prueba no paramétrica de Mann-Kendall y la estimación de su magnitud mediante la pendiente de Theil-Sen.

Materiales y métodos

Los registros diarios de temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínima (Tmin) de las estaciones climatológicas localizadas en el estado de Zacatecas se obtuvieron mediante el Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC III), versión 3.2, desarrollado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua a partir de la base histórica nacional CLICOM del Servicio Meteorológico Nacional. El periodo general de información comprendió de 1902 a 2012; sin embargo, la longitud y continuidad de los registros variaron entre estaciones.

Los registros diarios fueron sometidos a un proceso de depuración antes de construir las series anuales. Un mes se consideró válido cuando contó con al menos 28 observaciones diarias; una estación del año fue válida cuando contó con al menos dos meses válidos, y un año se consideró válido cuando al menos tres de las cuatro estaciones del año cumplieron con este criterio. Para cada año válido, Tmax y Tmin anuales se calcularon como la media aritmética de las observaciones diarias disponibles. No se realizó imputación de datos faltantes.

Para su inclusión en el análisis, las series debían contar con al menos 30 años válidos, no necesariamente consecutivos, y presentar una porosidad máxima de 30 % dentro del intervalo comprendido entre el primero y el último año con información. Las series de Tmax y Tmin se procesaron de manera independiente, por lo que para cada variable se conservaron los años que cumplieron sus respectivos criterios de calidad y disponibilidad de información.

Para considerar las diferencias en la cobertura temporal de las estaciones, las series se agruparon en dos periodos: temprano (1902–1969) y reciente (1970–2012). La asignación se realizó con base en la mediana de los años con información válida de cada serie: aquellas cuya mediana fue anterior a 1970 se asignaron al periodo temprano, mientras que aquellas con una mediana igual o posterior a 1970 se asignaron al periodo reciente. Esta agrupación no tuvo como propósito comparar estadísticamente ambos periodos.

Las tendencias de las series anuales de Tmax y Tmin se evaluaron mediante la prueba no paramétrica de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). El estadístico S se calculó mediante:

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} sgn(x_j - x_i)$$

donde N es el número de observaciones de la serie; x_iy $x_j$son los valores correspondientes a los años i y j, respectivamente, y sgn representa la función signo. Valores positivos de S indican una tendencia creciente y valores negativos una tendencia decreciente. La significancia estadística de las tendencias se evaluó utilizando α = 0.10.

Debido a que la autocorrelación serial puede afectar la significancia de la prueba de Mann-Kendall, se evaluó la autocorrelación de primer orden después de retirar previamente la tendencia de cada serie. Cuando ésta resultó estadísticamente significativa, se aplicó el procedimiento *Trend-Free Pre-Whitening* (TFPW) antes de efectuar la prueba de Mann-Kendall (Yue et al., 2002; Yue y Wang, 2002).

La magnitud de las tendencias se estimó mediante la pendiente de Theil-Sen (Theil, 1950; Sen, 1968). Las series se clasificaron como positivas o negativas cuando presentaron una tendencia estadísticamente significativa en la dirección correspondiente, y como neutrales cuando la tendencia no fue estadísticamente significativa. Finalmente, para cada variable y periodo se determinaron el número y porcentaje de estaciones pertenecientes a cada categoría.

Resultados y discusión

De las 50 estaciones analizadas para cada variable, tres correspondieron al periodo temprano y 47 al reciente. Debido a su reducido número, las estaciones del periodo temprano se presentan únicamente como casos individuales, sin considerarlas representativas a escala estatal ni comparables con el periodo reciente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Número, porcentaje y pendiente de Theil–Sen de las estaciones con tendencias positivas, negativas y neutrales de temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínima (Tmin) en Zacatecas, por periodo de análisis.

Periodo	Variable	Positivas n (%)	Pendiente[1]	Negativas n (%)	Pendiente[1]	Neutrales n (%)	Total
Temprano	Tmax	1	0.560	1	−0.517	1	3
(1902–1969)	Tmin	0	—	1	−0.146	2	3
Reciente	Tmax	16 (34.04)	0.558	18 (38.30)	−0.504	13 (27.66)	47
(1970–2012)	Tmin	9 (19.15)	0.249	25 (53.19)	−0.524	13 (27.66)	47

[1] Pendiente de Theil–Sen expresada en °C década⁻¹. En el periodo reciente se presenta la mediana de las pendientes de las estaciones de cada categoría; en el periodo temprano, los valores corresponden a la única estación con tendencia significativa de cada categoría y no representan el comportamiento estatal.

En el periodo reciente se detectaron tendencias estadísticamente significativas en 34 de las 47 estaciones (72.34 %) tanto para Tmax como para Tmin (Cuadro 1). Sin embargo, la dirección de estas tendencias fue diferente entre ambas variables. Para Tmax, las tendencias positivas y negativas presentaron frecuencias relativamente similares, con 16 y 18 estaciones, respectivamente, por lo que no se observó un predominio claro de una dirección (Figura 1a). Además, las magnitudes medianas fueron semejantes en términos absolutos: 0.558 °C década⁻¹ para las tendencias positivas y −0.504 °C década⁻¹ para las negativas.

En contraste, para Tmin se observó un claro predominio de las tendencias negativas, presentes en 25 estaciones, frente a nueve con tendencias positivas (Figura 1b). Esta diferencia también se manifestó en la magnitud de los cambios: la pendiente mediana de las tendencias negativas fue de −0.524 °C década⁻¹, aproximadamente el doble, en valor absoluto, de la correspondiente a las tendencias positivas (0.249 °C década⁻¹). Por lo tanto, aunque Tmax y Tmin presentaron exactamente la misma proporción de estaciones con tendencias significativas (72.34 %), difirieron tanto en la dirección como en la magnitud de los cambios.

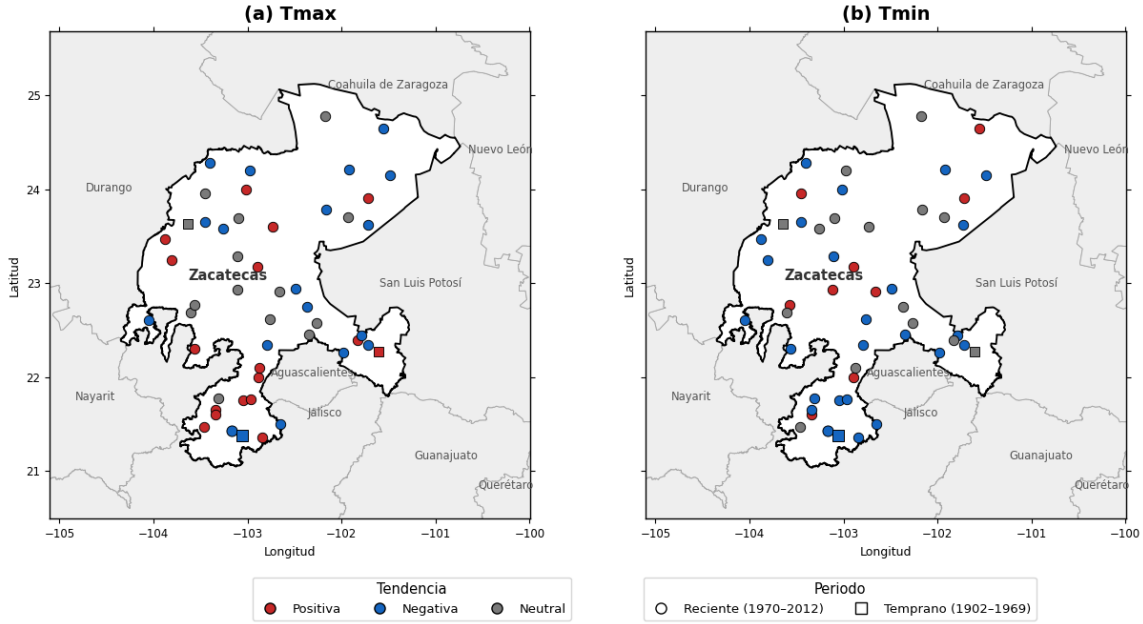


Figura 1. Distribución espacial de las tendencias de Tmax y Tmin en las 50 estaciones climatológicas analizadas en Zacatecas, correspondientes a los periodos temprano (1902–1969) y reciente (1970–2012). Las líneas grises delimitan las provincias fisiográficas.

El predominio de tendencias negativas de Tmin concuerda con lo reportado previamente para Zacatecas por Santillán-Espinoza et al. (2011), quienes encontraron una tendencia promedio de −0.235 °C década^{-1} y señalaron que, de nueve estaciones con tendencias significativas, ocho fueron negativas y solamente una positiva. Aunque los periodos, número de estaciones y procedimientos de análisis no son idénticos, la coincidencia en el predominio de tendencias negativas indica que este comportamiento de Tmin ha sido observado previamente en el estado. Desde una perspectiva agroclimática, el predominio de tendencias negativas de Tmin podría tener implicaciones en procesos sensibles a las bajas temperaturas, como la ocurrencia de heladas y la acumulación de horas frío. Sin embargo, estas implicaciones requieren análisis específicos, ya que dichas variables no fueron evaluadas en el presente estudio.

Por otra parte, la coexistencia de tendencias positivas y negativas, particularmente evidente para Tmax, es consistente con la heterogeneidad espacial documentada por Brito-Castillo et al. (2009). Estos autores encontraron comportamientos contrastantes de Tmax y Tmin entre diferentes regiones de Zacatecas durante 1963–2002, con efectos opuestos sobre el rango térmico diurno en el norte y sur del estado. Asimismo, Pavia et al. (2009) identificaron una considerable heterogeneidad espacial de las tendencias térmicas en México y señalaron que sectores del centro-norte del país, entre ellos Zacatecas, mostraron comportamientos diferentes de la tendencia general nacional. Esta heterogeneidad podría estar asociada con factores locales y regionales; sin embargo, la identificación de sus causas requiere análisis específicos que exceden el alcance del presente estudio.

En conjunto, los resultados muestran que el comportamiento de Tmax y Tmin en Zacatecas durante el periodo reciente no puede caracterizarse mediante una tendencia uniforme. Mientras que Tmax presentó una distribución relativamente equilibrada entre incrementos y disminuciones significativas, con magnitudes similares en ambas direcciones, Tmin se caracterizó por una mayor frecuencia y magnitud de las tendencias negativas. La coexistencia espacial de tendencias positivas y negativas pone de manifiesto la heterogeneidad del comportamiento térmico en el estado y la conveniencia de analizar Tmax y Tmin por separado, ya que la consideración exclusiva de la temperatura media podría enmascarar respuestas distintas de ambas variables.

Conclusiones

Las tendencias de Tmax y Tmin en Zacatecas mostraron comportamientos diferenciados durante el periodo reciente. Aunque ambas variables presentaron la misma proporción de estaciones con tendencias estadísticamente significativas (72.34 %), en Tmax las tendencias positivas y negativas tuvieron frecuencias y magnitudes relativamente similares, mientras que en Tmin predominaron las tendencias negativas, tanto en frecuencia como en magnitud.

La coexistencia de tendencias positivas y negativas evidencia que los cambios térmicos no han ocurrido uniformemente en el territorio estatal y confirma la importancia de analizar Tmax y Tmin por separado. El predominio de tendencias negativas de Tmin señala además la conveniencia de evaluar sus posibles implicaciones agroclimáticas en procesos sensibles a las bajas temperaturas.

Referencias

Brito-Castillo, L., Díaz-Castro, S. C., & Ulloa-Herrera, R. S. (2009). Observed tendencies in maximum and minimum temperatures in Zacatecas, Mexico and possible causes. *International Journal of Climatology, 29*(2), 211–221. https://doi.org/10.1002/joc.1733

Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods* (4th ed.). Charles Griffin.

Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica, 13*(3), 245–259. https://doi.org/10.2307/1907187

Pavia, E. G., Graef, F., & Reyes, J. (2009). Annual and seasonal surface air temperature trends in Mexico. *International Journal of Climatology, 29*(9), 1324–1329. https://doi.org/10.1002/joc.1787

Santillán-Espinoza, L. E., Blanco-Macías, F., Magallanes-Quintanar, R., García-Hernández, J. L., Cerano-Paredes, J., Delgadillo-Ruiz, O., & Valdez-Cepeda, R. D. (2011). Tendencias de temperaturas extremas en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 2(núm. esp. 2), 207–219*

Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association, 63*(324), 1379–1389. https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934

Theil, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. III. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Series A, 53*, 1397–1412

Vose, R. S., Easterling, D. R., & Gleason, B. (2005). Maximum and minimum temperature trends for the globe: An update through 2004. *Geophysical Research Letters, 32*(23), L23822. https://doi.org/10.1029/2005GL024379

Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., & Cavadias, G. (2002). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes, 16*(9), 1807–1829. https://doi.org/10.1002/hyp.1095

Yue, S., & Wang, C. Y. (2002). Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test. *Water Resources Research, 38*(6), 4-1–4-7. https://doi.org/10.1029/2001WR00086

RESPUESTAS DE PLANTAS DE *Neltuma laevigata* A LA INOCULACIÓN CON RIZOBACTERIAS Y SU INTERACCIÓN CON LA FERTILIZACIÓN EN VIVERO

Miguel Ángel Ramírez-Fuentes[1], José Ángel Sigala-Rodríguez[2]*, Néstor Naranjo-Jiménez[1], Vicente Hernández Vargas[1], Erika Nava-Reyna[3], Isaías Chaidez-Hernández[1]

[1]Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Sigma 119, 20 de Noviembre II, 34220 Durango, Dgo, México. [2]Campo Experimental Valle del Guadiana, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Carr. Durango-El Mezquital km 4.5, 34170 Durango, México. [3]Centro de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (INIFAP), Km 6.5, margen derecha del Canal Sacramento, 35140 Gómez Palacio, Dgo., México. *Autor de correspondencia: sigala.jose@inifap.gob.mx

Introducción

En los ecosistemas semiáridos, las leguminosas arbóreas desempeñan un papel ecológico fundamental. Entre ellas, el mezquite (*Neltuma laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) es una especie de alto valor tanto ecológico como socioeconómico, debido a sus múltiples usos. Por esta razón, resulta de gran interés para su uso en proyectos de reforestación de áreas degradadas. Sin embargo, el establecimiento de las plantas en campo suele verse limitado por diversos factores abióticos (p.ej., sequías) y bióticos (p.ej., herbivoría). En este sentido, se requiere que, desde la propagación y el cultivo en vivero, las plantas adquieran las características morfológicas y fisiológicas idóneas que les permitan aumentar las tasas de supervivencia y de crecimiento post-transplante. Un aspecto crucial para mejorar el desempeño de las plantas es el manejo adecuado de la fertilización, que debe proporcionar un suministro óptimo de nutrientes tanto para el crecimiento como para la formación de reservas. En mezquite, se ha mostrado que la fertilización en vivero puede modular la formación de reservas que posteriormente se utilizan para crecer en campo o para rebrotar cuando se ven afectadas por un factor de estrés (Basave-Villalobos et al., 2024).

Por otra parte, el uso de microorganismos benéficos del suelo como fuentes de inóculo para las plantas ha cobrado cada vez mayor relevancia en el cultivo de diversas especies (Crespo-Flores et al., 2022). Se sabe que las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) establecen interacciones simbióticas con las plantas, mejorando diversos aspectos, como la nutrición, el desarrollo radicular y la tolerancia a factores de estrés (Bashan et al., 2009). Sin embargo, en las leguminosas arbóreas, su aplicación en condiciones de vivero ha sido poco estudiada. Tampoco se ha indagado cómo la inoculación con rizobaterias puede interactuar con la fertilización ni cuáles son las implicaciones para el desarrollo de las plantas en vivero. Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar las respuestas morfológicas y nutricionales de plantas de *Neltuma laevigata* a la inoculación con rizobacterias en diferentes dosis de fertilización.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en condiciones de invernáculo en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango (CIIDIR Durango), del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Se utilizaron semillas de *Neltuma laevigata*, colectadas entre las localidades de Plan de Ayala y Puerta de la Cantera, en el municipio de Durango (23°54’1.46” N; 104°34’19.59” O). Se realizó la siembra de 360 semillas en tubetes de plástico rígido de 380 ml, los cuales fueron llenados con sustrato compuesto por 50% de turba, 30% de perlita y 20% de vermiculita. Previo a la siembra, las semillas recibieron un tratamiento pre-germinativo que consistió en un remojo en agua a 80 °C durante dos minutos.

Se diseñó un experimento factorial con tres niveles de fertilización, basados en la concentración de nitrógeno (N): 1) 50 ppm de N, 2) 150 ppm de N y 3) 250 ppm de N, y tres niveles de inoculación con rizobacterias: 1) inoculación con *Agrobacterium pusense*, 2) inoculación con *Rhizobium leguminosarum* y 3) sin inoculación. Para la fertilización se utilizó un fertilizante hidrosoluble preformulado (Poly-feed^{TM}, 19N-19P_2O_2-19K_2O + microelementos), que se aplicó con el agua de riego una vez por semana durante cinco meses. En cada aplicación, se administraron 50 ml de la solución con fertilizante por planta. Para la inoculación, se prepararon caldos nutritivos para ambas especies en los que se incubaron las cepas hasta obtener una concentración de $1x10^8$ de unidades formadoras de colonias (UFC). En este caso, la cepa de A. pusense se obtuvo de nódulos de *Acacia schaffneri* de una población local, mientras que la de *R. leguminosarum* se obtuvo de un producto comercial. Una vez alcanzada la concentración de UFC, el inoculante se aplicó a las plantas con una micropipeta, a razón de 1 ml de solución por planta. Por cada combinación de fertilización × inoculación se establecieron cuatro repeticiones de 15 plantas cada una, lo que sumó un total de 60 plantas por tratamiento.

Tras 20 semanas de la siembra, se cosecharon siete plantas por repetición (28 por tratamiento) para evaluar las variables morfológicas: altura (cm), diámetro (mm) y biomasa (g) de hojas, tallo y raíz. Para determinar la biomasa, las plantas se secaron a 65 °C durante 72 h en un horno de aire forzado. De cada repetición se obtuvo una muestra compuesta para determinar la concentración de nitrógeno en planta completa mediante el método de Kjeldahl. Con los datos de concentración de N y de biomasa se determinó el contenido total de N y, mediante la relación entre el contenido de N y el N suministrado, se estimó la eficiencia de recuperación de N. Para evaluar el efecto de la fertilización y la inoculación se aplicó un ANOVA de dos vías. Para las variables donde alguno de los factores o su interacción fue significativo, se hizo una comparación de medias con ajuste de Tukey (α=0.05).

Resultados y discusión

Se encontró un efecto significativo de la fertilización sobre el crecimiento en altura: a mayor dosis de fertilización, las plantas mostraron mayor altura. Por el contrario, la inoculación no influyó en el crecimiento en altura (Cuadro 1). Por otra parte, se observó una interacción significativa entre la fertilización y la inoculación en el crecimiento en diámetro. Las plantas inoculadas con *Agrobacterium pusense* presentaron un mayor crecimiento en diámetro que las inoculadas con *Rhizobium leguminosarum*, pero sólo a nivel de fertilización alta.

Cuadro 1. Promedios y error estándar de las variables morfológicas de plantas de *Neltuma laevigata* con diferentes dosis de fertilización e inoculadas con rizobacterias. Para una misma variable, medias con letras distintas indican diferencias significativas (p<0.05)

Fertilización	Inoculante	Altura	Diámetro	BSH	BST	BSR
Baja	AP	31.8±1.0 d	3.8±0.1 c	0.40±0.02 f	1.02±0.05 e	1.05±0.05 b
(50 ppm N)	RL	34.3±1.7 cd	4.1±0.1 bc	0.44±0.03 ef	1.00±0.06 e	1.05±0.04 b
	SN	34.9±1.5 cd	3.8±0.1 c	0.56±0.04 de	1.09±0.07 de	1.04±0.04 b
Media	AP	36.1±1.7 cd	4.1±0.1 bc	0.55±0.02 def	1.47±0.07 c	1.23±0.04 ab
(150 ppm N)	RL	38.4±1.3 bc	4.1±0.1 bc	0.65±0.02 cd	1.35±0.06 cd	1.13±0.04 b
	SN	39.6±1.3 bc	4.1±0.1 bc	0.77±0.03 bc	1.36±0.07 cd	1.20±0.04 b
Alta	AP	48.1±1.6 a	4.5±0.1 a	0.85±0.06 ab	1.96±0.10 a	1.42±0.04 a
(250 ppm N)	RL	43.8±1.5 ab	3.9±0.1 bc	0.86±0.04 ab	1.58±0.08 bc	1.14±0.04 b
	SN	47.3±1.7 a	4.2±0.1 ab	0.99±0.03 a	1.87±0.08 ab	1.41±0.06 a
Resultados	Fert (F)	**<0.0001**	**<0.0001**	**<0.0001**	**<0.0001**	**<0.0001**
de ANOVA	Inoculante (I)	0.2170	0.1367	**<0.0001**	**0.0105**	**0.0008**
(p-valor)	F × I	0.1503	**<0.0001**	0.7540	0.0864	**0.0101**

BSH=Biomasa seca de hojas; BST=Biomasa seca de tallo; BSR=Biomasa seca de raíz. Inoculante: AP=*Agrobacterium pusense*, RL=*Rhizobium leguminosarum*, SN=Sin inoculante.

La fertilización afectó significativamente la producción de biomasa en las plantas, tanto en hojas como en tallo y en raíz. En todos los casos, a mayor fertilización, mayor fue la producción de materia seca (Cuadro 1). Asimismo, se encontró un efecto significativo de la inoculación sobre la biomasa, aunque este varió según el tipo de tejido. Por una parte, las plantas sin inoculación presentaron una mayor producción de biomasa foliar que las inoculadas con *A. pusense* o con *R. leguminosarum*. Por otra parte, la inoculación con *A. pusense* generó plantas con mayor biomasa de tallo que las inoculadas con R. leguminosarum, mientras que las plantas no inoculadas presentaron valores intermedios. Finalmente, se encontró una interacción significativa de la inoculación con la fertilización para la biomasa de raíz, la cual indica un efecto positivo de la inoculación con *A. pusense* comparado con *R. leguminosarum* y sin diferencias con el tratamiento control; pero, este efecto se encontró sólo en la dosis alta de fertilización (Cuadro 1).

Tanto la fertilización como la inoculación afectaron significativamente la relación de biomasa de raíz: parte aérea ($p<0.001$ y $p=0.003$, respectivamente). Por un lado, se encontró una menor relación raíz: parte aérea a mayor dosis de fertilización. Por otra parte, las plantas inoculadas con la rizobacteria A. pusense tuvieron una mayor relación raíz:parte aérea que las no inoculadas, mientras que las plantas con R. leguminosarum presentaron valores intermedios (Figura 1).

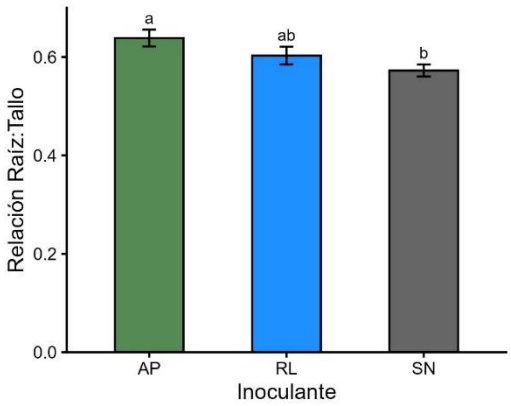


Figura 1. Relación biomasa de raíz sobre biomasa de la parte aérea en plantas de Neltuma laevigata inoculadas con rizobacterias: Agrobacterium pusense (AP), Rhizobium leguminosarum (RL) y sin inoculación (SN). Medias con letras distintas indican diferencias significativas ($p<0.05$).

La concentración de nitrógeno total en la planta varió entre 2.5 y 3.2 % (p/p) al final del estudio. En general, la dosis alta de fertilización promovió una mayor concentración de N que la baja, mientras que con la dosis media se obtuvieron valores intermedios ($p=0.020$). El factor inoculación no influyó en la concentración de N ($p=0.050$); sin embargo, se encontró una interacción significativa fertilización x inoculante ($p=0.019$) que mostró un incremento en la concentración de N promovido por la inoculación con *A. pusense*, pero sólo en la dosis media de fertilización (Figura 2). Por otra parte, la eficiencia de recuperación de N (ERN) varió significativamente en función de la dosis de fertilización ($p<0.001$), siendo las plantas con dosis baja las que mostraron la mayor ERN, en comparación con las plantas con dosis media y alta (Figura 2). La inoculación no mejoró la ERN en ninguno de los casos ($p=0.444$).

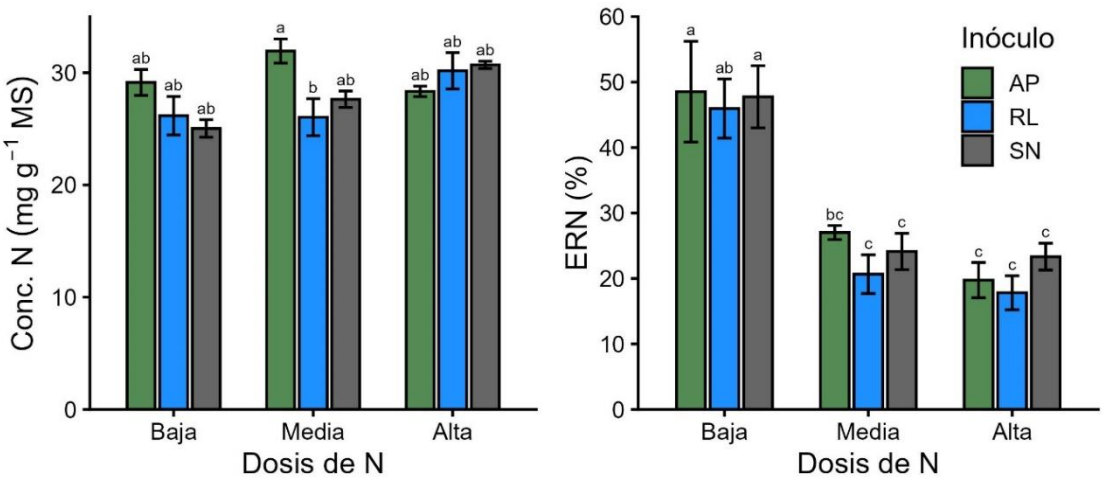


Figura 2. Valores promedio ± EE de la concentración de N en planta completa y eficiencia de recuperación de N (EEN) en plantas de Neltuma laevigata con diferentes dosis de fertilización: baja (50 ppm N), media (150 ppm N) y alta (250 ppm N), e inoculadas con rizobacterias: *Agrobacterium pusense* (AP), *Rhizobium leguminosarum* (RL) y sin inoculación (SN). Para una misma variable, medias con letras distintas indican diferencias significativas ($p<0.05$).

Conclusiones

Los resultados muestran que la fertilización es el principal factor determinante del crecimiento de *Neltuma laevigata* en vivero. La inoculación con rizobacterias tuvo un efecto menos significativo, pero la cepa nativa de *Agrobacterium pusense* promovió algunos atributos morfológicos, como la asignación de biomasa a la raíz, que pueden mejorar el desempeño de las plantas en campo. Asimismo, *A. pusense* incrementó la concentración de N en condiciones de baja y media nutrición, lo que puede optimizar el uso de fertilizantes químicos en la producción de *N. laevigata*.

Agradecimientos

La presente publicación forma parte del proyecto “Inoculación con rizobacterias para promover el crecimiento de plantas de mezquite en vivero” financiado con fondos fiscales de INIFAP. El primer autor agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por la beca otorgada para estudios de maestría.

Referencias

Basave-Villalobos, E., Valenzuela-Núñez, L. M., García-Rodríguez, J. L., Sarmiento-López, H., García-Pérez, J. L., Calixto-Valencia, C. G., & Sigala, J. A. (2024). Morpho-Physiological and Biochemical Responses in Prosopis laevigata Seedlings to Varied Nitrogen Sources. Nitrogen, 5(4), 857-870. https://doi.org/10.3390/nitrogen5040055.

Crespo-Flores, G., Ramírez-Tobias, H. M., Vallejo-Pérez, M. R., & Méndez-Cortés, H. (2021). Co-inoculation with rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi in seedlings of Prosopis laevigata. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 12(7), 1249-1262. https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2910

Bashan, Y., Salazar, B. & Puente, M.E. (2009). Responses of native legume desert trees used for reforestation in the Sonoran Desert to plant growth-promoting microorganisms in screen house. Biology and Fertility of Soils 45, 655–662. https://doi.org/10.1007/s00374-009-0368-9

RESPUESTA REPRODUCTIVA DE VACAS LECHERAS DE SISTEMAS FAMILIAR-TRASPATIO BAJO DIFERENTES REGÍMENES DE ALIMENTACIÓN

Ricardo Avilés-Ruiz[1]*, César Meza-Herrera[2], Alma Arianna Lechuga-Arana[3], Oscar Guadalupe Barrón-Bravo[1], Miguel Ruiz-Albarrán[4], José Antonio Hernández-Marín[3] Abner Josué Gutiérrez-Chávez[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CIRNE, Campo Experimental Las Huastecas, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas. [2] Universidad Autónoma de Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA), Medicina Veterinaria y Zootecnia, Bermejillo, Durango. [3] Universidad de Guanajuato, División Ciencias de la Vida, Irapuato, Guanajuato.[4] Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia "Dr. Norberto Treviño Zapata", Ciudad Victoria, Tamaulipas. *Autor por correspondencia: Ricardo Avilés Ruiz. E-mail: aviles.ricardo@inifap.gob.mx

Introducción

Acortar el tiempo entre partos significa más producción de leche y más crías producidas eficientemente y, por lo tanto, ingresos mayores. Para tal fin, se han desarrollado muchos protocolos de sincronización en bovinos con inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) con el objetivo de reducir los días abiertos. Así, las tecnologías de reproducción asistida han desempeñado un papel importante en el desarrollo de la ganadería a nivel mundial, al favorecer el mejoramiento genético de los hatos y contribuir al incremento de los índices productivos y reproductivos (Baruselli et al., 2025). No obstante, dichos protocolos se derivan de dos principales principios de sincronización, según las hormonas y tiempos en que se administran, estos son: tipo estradiol E2/progesterona P4 y Ovsynch (Cardoso-Consentini et al., 2021). Por otro lado, estas biotecnologías reproductivas son ampliamente utilizadas en México, donde existen diferentes sistemas de producción de leche (Avilés-Ruiz et al., 2024). De tal modo que los sistemas familiar-traspatio son en general de pequeña escala y baja inversión en tecnología. Además, son fundamentales para la seguridad alimentaria y la subsistencia de familias rurales. Sin embargo, dentro de las problemáticas que enfrenta estos mencionados sistemas son intervalos entre partos prolongados, casi 450 días (Ruiz-Albarrán et al., 2025), lo cual es afectado directamente por el tiempo de anestro posparto que, a su vez, es afectado, entre otros factores por las deficiencias nutricionales (Avilés-Ruiz et al., 2022). Dado que en la región del Bajío en algunos sistemas de producción una práctica de alimentación de bajo costo económico es utilizar desechos agropecuarios (brócoli, coliflor, entre otros) de plantas procesadoras como forraje. Por otro lado, al ser una región donde la producción de maíz es alta y precios bajos a la cosecha otros sistemas de producción optan por ensilar dicho cultivo para la alimentación de su ganado. Actualmente, no existen estudios del efecto de utilizar brócoli a libre acceso y como único ingrediente en la dieta sobre la reproducción y sanidad. Sin embargo, es una práctica llevada a cabo erróneamente en algunos sistemas de producción lechera, dado que en la dieta no se adiciona un ingrediente fibroso. Por lo que resultó interesante evaluar la respuesta reproductiva de hembras bovinas de sistemas familiar-traspatio al someterlas a un protocolo ovsynch bajo diferentes regímenes de alimentación.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en 5 hatos del sistema familiar-traspatio del municipio de Abasolo, Guanajuato, México. Este municipio presenta un clima semicálido subhúmedo y templado, donde la temperatura varía de 8 a 35 °C con una media de 19.3 °C y una altura con respecto al nivel del mar de 1,760 m, con precipitaciones promedio de 697 mm anuales.

Los cinco hatos fueron clasificados en dos grupos de acuerdo con el régimen de alimentación que presentó cada hato, mientras que las observaciones reproductivas corresponden a vacas individuales. Los hatos fueron clasificados de la siguiente manera: Aquellos hatos cuya base de alimentación consistió en dieta húmeda (GH; 2 hatos; n = 14), utilizando desecho de brócoli como forraje únicamente y los hatos cuya dieta seca (GS; 3 hatos; n = 15), utilizando ensilaje de maíz (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición bromatológica de los ingredientes utilizados en las dietas de los hatos de sistemas familiar-traspatio, donde se evalúo la respuesta reproductiva de hembras bovinas al someterlas a un protocolo ovsynch bajo diferentes regímenes de alimentación.

Variable	Ensilaje de maíz	Concentrado	Brócoli
MS (%)	32.3	91.4	13.9
PC(%)	8.4	18.0	15.8
FDA(%)	32.6	6.1	21.2
FND(%)	47.4	14.1	26.9
ALMIDÓN (%)	20.9	41.3	-
EE(%)	1.9	3.7	-
EM(%)	2.2	2.7	2.7
PH	3.9	-	-
NH4-N(% de nitrógeno total)	7.7	-	-

Respecto al GH, la nutrición de las vacas fue a base forrajes cuyo porcentaje de humedad fue mayor al 80 %, tanto de desechos de brasicas (brócoli y coliflor), espárrago y frutas (sandía, piña y maracuyá) o alfalfa verde. Sin embargo, un mes pre y post IATF, la dieta consistió únicamente de Brócoli a libre acceso. Por otro lado, el GS llevó a cabo una dieta a base de ensilaje de maíz, heno de alfalfa y esquimos de maíz, cuya humedad fue menor al 80 %. No obstante, un mes pre y post IATF, la dieta consistió únicamente de ensilaje de maíz a libre acceso. Además, a todos los hatos se les brindó a las vacas una proporción de alimento concentrado comercial, ya sea por separado o mezclado (1 kg/día por cada 3.0 L de leche producida; Cuadro 2). En todos los hatos la ordeña mecanizada se realizó dos veces al día.

Cuadro 2. Características de los hatos estudiados y su clasificación según el régimen de dieta.

Hato	Inventario	Ingrediente ofrecido a libre acceso	Grupo	n	Producción de leche al inicio del protocolo (L/d)	Días abiertos (d)	Paridad
H1	35	Desechos de brócoli. Alfalfa verde.	**GH**	**n =14** H1 = 7 H2 = 7	23 ± 2	80 ± 22	1.9 ± 0.3
H2	16						
H3	33	Ensilaje de maíz.	**GS**	**n = 15** H3 = 5 H4 = 6 H5 = 4	30 ± 3	71 ± 8	2.1 ± 0.4
H4	36	Ensilaje de maíz, sin embargo, ración mezclada con concentrado.					
H5	34	Ensilaje de maíz, sin embargo, ración mezclada con el concentrado.					

Las vacas fueron sincronizadas bajo un protocolo Ovsynch (Cardoso et al., 2021), iniciando dicho protocolo el día 9 de abril del 2026. En este momento, por palpación transrectal se determinó si las vacas estaban cíclicas o no, al palpar estructuras ováricas (folículos dominantes y cuerpos lúteos). Al día de la IATF, 19 de abril del 2026, aquellas vacas viables que mostraron estro, tono cervicouterino o moco cristalino fueron servidas. Además, se registraron las vacas que tuvieron retorno al estro y se realizó un diagnóstico de gestación, 30 de mayo del 2026, por palpación transrectal. Cabe mencionar que un técnico capacitado realizó dichos eventos reproductivos.

Los análisis estadísticos utilizados fue la prueba de Kruskal-Wallis por la naturaleza de la variable evaluada (condición corporal) y la prueba de independencia de Chi^2 para las variables cíclicas antes de someter a protocolo (%), inseminadas antes de terminar el protocolo (%), inseminadas con IATF (%), que mostraron estro a la IATF (%), con retorno al estro después IATF (%) y preñadas al día 40 post IATF (%), las cuales se realizaron en el paquete estadístico Statgraphics centurión.

Resultados y discusión

La condición corporal de los animales sometidos a sincronización, se mantuvo de inicio y al momento del diagnóstico de gestación, 3.07 ± 0.05 y 3.00 ± 0.05, respectivamente (P>0.05).

Cuadro 3. Porcentajes de la respuesta reproductiva de hembras bovinas de un sistema familiar-traspatio al someterlas a un protocolo Ovsynch bajo diferentes regímenes de alimentación.

Grupo	Cíclicas antes de someter a protocolo (%)	Inseminadas antes de terminar el protocolo (%)	Inseminadas con IATF (%)	Que mostraron estro a la IATF (%)	Con retorno al estro después IATF (%)	Preñadas al día 40 post IATF (%)
GH	**57.1a** (8/14)	**14.3a** (2/14)	**78.6a** (11/14)	**50.0a** (7/14)	**7.1a** (1/14)	**28.6a** (4/14)
GS	**33.3a** (5/15)	**20.0a** (3/15)	**66.7a** (10/15)	**33.3a** (5/15)	**0.0a** (0/15)	**53.3a** (8/15)

* Las literales iguales muestran que no hubo diferencia estadística significativa (P>0.05).

Respecto al porcentaje de vacas que se sometieron al protocolo de sincronización y que resultaron preñadas al día 40 post-inseminación en el presente estudio, grupo que recibió una dieta con porcentaje bajo y alto en humedad, fue de 53.3 y 28.6 %, respectivamente, los cuales fueron superiores a lo reportado en sistemas de intensivo-especializado (12-15 % de tasa de preñez; Ríos-Mohar et al., 2022). Sin embargo, dichos porcentaje se ha visto afectado por el nivel de producción de leche de los animales en los sistemas intensivo-especializado, el cual en promedio fue de 32.3 ± 0.7 kg/vaca/d en el año 2016 (Fernández et al., 2018). Dicha producción de leche fue similar a la encontrada en el presente estudio para unos de los hatos evaluados (30 L/vaca/d), mientras que otros presentaron aproximadamente 23 L/vaca/d.

Se han reportado, en los últimos años, el uso de residuos de cultivos agrícolas como alternativas a los alimentos convencionales para rumiantes como una alternativa en rumiantes (Akram y Yaman, 2019). Por otro lado, por las características (inventario; cuadro 2) de los sistemas de producción familiar-traspatio, no fue posible sincronizar reproductivamente un número de vacas adecuado para comparar entre sí, los hatos. Por lo tanto, resulta interesante replicar el estudio involucrando un mayor número de animales.

Conclusión

No se detectaron diferencias significativas en la respuesta reproductiva entre los regímenes de alimentación de brócoli o ensilado de maíz a libre acceso de sistema familiar-traspatio al someterlas a un protocolo Ovsynch en la región del Bajío.

Referencias

Akram, M.Z. & Yaman, S. (2019). The use of agricultural crop residues as alternatives to conventional feedstuffs for ruminants: a review. Eurasian Journal of Agricultural Research. 3 (2): 58-66.

Avilés-Ruiz, R., Barrón Bravo, O. G., Gutiérrez Chávez, A. J. & Ruiz Albarrán, M. (2024). Principales sistemas de producción de leche de bovinos en México: recopilación actual de parámetros productivos, reproductivos y de manejo. Ciencias Veterinarias y Producción Animal. 1(2), 32-47. https://doi.org/10.29059/cvpa.v1i2.16

Avilés-Ruiz, R., Barrón-Bravo, O., Alcalá-Rico, J., Salinas-Chavira, J., Flores Nájera, M., & Ruiz-Albarrán, M. (2022). Deficiencias nutricionales que afectan al reinicio de la ciclicidad posparto en bovinos doble propósito. Abanico Veterinario, 12, 1-21. https://doi.org/10.21929/abavet2022.251

Baruselli, P. S., Abreu, L. A., Menchaca, A., & Bó, G. A. (2025). The future of beef production in South America. Theriogenology, 231, 21-28. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2024.10.004

Cardoso-Consentini, C. E., Wilbank, M. Ch. & Santori R. (2021). Factors that optimize reproductive efficiency in dairy herds with an emphasis on timed artificial insemination programs. Animals. 11:301. https://doi.org/10.3390/ani11020301

Fernández, I. G., Ulloa-Arvizu, R., & Fernández, J. (2018). Milk yield did not decrease in large herds of high-producing Holstein cows in semi-arid climate of Mexico. Tropical Animal Health and Production, 51(1), 149-154. https://doi.org/10.1007/s11250-018-1669-5

Ríos-Mohar, J. A., López-Díaz, C. A., Hernández-Cerón, J., & Trueta-Santiago, R. (2022). Economic analysis of different pregnancy rates in dairy herds under intensive management. Veterinaria México OA, 9, 1-11. https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2022.631

Ruiz-Albarrán, M., Avilés-Ruiz, R., Barrón-Bravo, O. G. & Gutiérrez-Chávez, A. J. (2025). Comparación de parámetros reproductivos en bovinos bajo dos sistemas de producción de leche familiar-traspatio del Bajío. Veterinarias y Producción Animal. 3(1), 32-39. https://doi.org/10.29059/cvpa.v3i1.38

ASOCIACIÓN DE DIAGNÓSTICO DE BRUCELOSIS BOVINA MEDIANTE ROSA DE BENGALA Y CULTIVO EN LECHE

José Luis Ortega Sánchez[1]*, Aurora Martínez Romero[2], Neftalí Portillo-Soto[2]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo. Durango, México. [2]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Químicas, Gómez Palacio, Durango, México. *Autor de correspondencia: joeortega899@gmail.com

Introducción

Actualmente, la brucelosis es considerada como una de las zoonosis más frecuentes en todo el mundo (Zange et al., 2019). Es una enfermedad zoonótica bacteriana causada por cocobacilos gramnegativos de tamaño relativamente pequeño (0.6 a 1.5 µm de largo por 0.5 a 0.7 µm de ancho) que pertenecen al género *Brucella*, los cuales son altamente infecciosos a pesar de ser anaerobios facultativos y de carecer de motilidad, encapsulamiento y capacidad de esporular, llegando a tener una larga persistencia en el hospedador ya que con los mecanismos metabólicos que poseen, tienen la capacidad de parasitar intracelularmente (Mathew et al., 2015). Actualmente, debido a la alta prevalencia de esta enfermedad en el ganado de la Región de La Comarca Lagunera, se generan grandes pérdidas en el sector industrial y agropecuario, resultando ser el ganado bovino el principalmente afectado, dado que las vacas sufren de abortos epizoóticos en el último trimestre de gestación, perdiendo al producto y diseminando la enfermedad entre los corrales adyacentes debido a la excreción de la bacteria en el feto abortado, en los anexos fetales y en los fluidos vaginales, o en caso de que se llegue a concluir la gestación y se lleve a cabo el parto de manera exitosa, se obtienen crías débiles con baja tasa de supervivencia; de la misma forma, una manifestación común de brucelosis en los animales es el desarrollo de higromas en las articulaciones de las patas, así como también causa esterilidad temporal o permanente en las vacas y sementales debido a la metritis y orquiepididimitis que genera, afectando su capacidad reproductiva y disminuyendo en gran medida el rendimiento fisiológico del ganado bovino en general, traduciéndose en numerosos sacrificios que afectan a la economía de los ganaderos y del país (Gul & Khan, 2007; Megid & Robles, 2010; Megersa et al., 2011; Saxena & Raj, 2018).

Según el tipo de colonias que forman en cultivo, las distintas especies del género *Brucella* se clasifican en lisas o rugosas. Las especies lisas son *B. abortus, B. melitensis, B. suis, B. neotomae, B. pinnipedialis, B. vulpis, B. inopinata, B. microti, B. papionis* y *B. ceti*., mientras que las especies rugosas son *B. canis* y *B. ovis*. Todas las brúcelas son reconocidas como cocobacilos altamente pleomórficos que miden de 0.5 a 0.7 µm de diámetro por 0.6 a 1.5 µm de largo, intracelulares facultativos, que no generan esporas y que carecen de cápsula, flagelos o plásmidos nativos (Ficht, 2010; Young, 2018). El planteamiento del problema fue la determinación de la validez diagnóstica, sensibilidad, especificidad, valores predictivos, cocientes de probabilidad, índices de concordancia y probabilidad post-test y la asociación estadística entre la prueba serológica rosa de Bengala (RBT) y el cultivo bacteriológico de leche para el diagnóstico de brucelosis bovina en una muestra de 920 vacas. Su hipótesis alterna fue: existe una asociación altamente significativa entre el resultado de la prueba de Rosa de Bengala y la confirmación por cultivo bacteriológico.

Materiales y métodos

Investigación transversal, analítica, comparativa y observacional. El estudio se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Químicas (FCQ) de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED) y en los laboratorios del Centro de Investigación y Diagnóstico en Salud Animal (CIDSA) del Comité de Campaña de la Erradicación de la Tuberculosis Bovina y Brucelosis de la Región Lagunera de Coahuila y Durango, Asociación Civil, durante el periodo de septiembre de 2024 a febrero de 2026.

Variable independiente. Diagnóstico por RBT. Resultado cualitativo (Positivo/Negativo).

Variable dependiente. Diagnóstico por Cultivo de leche: Aislamiento de *Brucella* spp (Positivo/Negativo).

Se tomaron muestras de sangre y de leche de 920 bovinos hembra adultos lecheros de raza Holstein-Friesian de 38 a 48 meses de edad que sólo hayan sido inmunizados contra brucelosis por la vacuna RB51 en un lapso ≥12 meses, las cuales fueran nativas de la Región de La Comarca Lagunera. El Material el empleado bajo los lineamientos de bioseguridad correspondientes, guantes de látex, alcohol etílico al 70%, Agua purificada tibia con jabón neutro limpiador y suavizante para la higiene de los pezones antes del ordeño, toallitas azules de papel reciclado de doble capa marca Softcel™ para secado y limpieza del pezón, franelas de algodón, tubos cónicos de 50 mL, cajas de poliuretano con cierre hermético (hieleras) refrigeradas al interior con compresas de gel congeladas, centrífuga para tubos cónicos de 80 mL, cajas Petri de vidrio, asa bacteriológica e incubadora bacteriológica. La toma de muestras sanguíneas fue a través de la vena coccígea, centrifugadas a 3,000 g durante 3 min para separar el suero. En paralelo a la toma de muestras sanguíneas, se tomaron muestras de leche de estos 920 sujetos de estudio. Controles serológicos y antígeno Rosa de Bengala, cada uno compuesto por un paquete celular de *Brucella abortus* cepa 1119-3, inactivado por calor, coloreado y concentrado al 8% en solución líquida, con un pH ajustado a 3.5

Las muestras de leche se recogieron asépticamente después de realizar un lavado y secado en toda la ubre, así como una previa desinfección de los pezones utilizando agua tibia con jabón. Cada muestra estuvo compuesta de leche extraída proveniente de todos los cuarterones, tomándose ~10 mL de leche por cada pezón hasta que el tubo cónico estéril correspondiente alcanzó un volumen de ~45 mL. Asimismo, el par de guantes empleados por el personal ordeñador antes de la recolección de leche de cada animal se desinfectó con una solución de alcohol al 70% para evitar la contaminación cruzada de las muestras. Los primeros chorros de leche fueron descartados (despunte) y la muestra se recogió directamente en el tubo cónico estéril (uno por cada vaca). Posteriormente, se procedió con cuidado, evitándose el contacto entre la leche y las manos del personal que ordeñaba. Después de la toma de cada muestra, todas se depositaron en hieleras previamente enfriadas con compresas de gel congeladas, manteniéndose una temperatura interna de 4 a 10 °C. Después, las muestras fueron transportadas a los laboratorios correspondientes siguiendo los respectivos protocolos. Subsecuentemente en el laboratorio, las muestras fueron centrifugadas y fueron inoculadas inmediatamente por técnica de estriado en cajas Petri de vidrio con medio selectivo sólido (TSA con 5 % de SBE y 5 % de CO_2 atmosférico), la caja Petri se seccionó en dos partes, una para la crema y otra para la parte que sedimentó de la muestra después de haber sido sometida a centrifugación. Posteriormente, se incubaron a 37 °C por un lapso de 21 días. Durante el transcurso de tiempo, fueron realizados subcultivos en agar *Brucella* y agar TSI a todos aquellos cultivos que dieron un crecimiento bacteriológico positivo consistente con *Brucella* spp., dentro del lapso establecido, y al obtener un segundo crecimiento en ambos medios de subcultivo, se realizaron pruebas bioquímicas para detectar la producción de H_2S (papeles con acetato de plomo) y ureasa (método de Christensen), y así confirmar la identificación de los microorganismos, en la Figura 1, se observa el diagrama de flujo del proceso. Dado que ambas variables son cualitativas nominales dicotómicas (2x2) recopiladas en muestras independientes, la prueba adecuada para evaluar la independencia/asociación es la Prueba de Chi-cuadrada (X^2) de Independencia de Pearson.

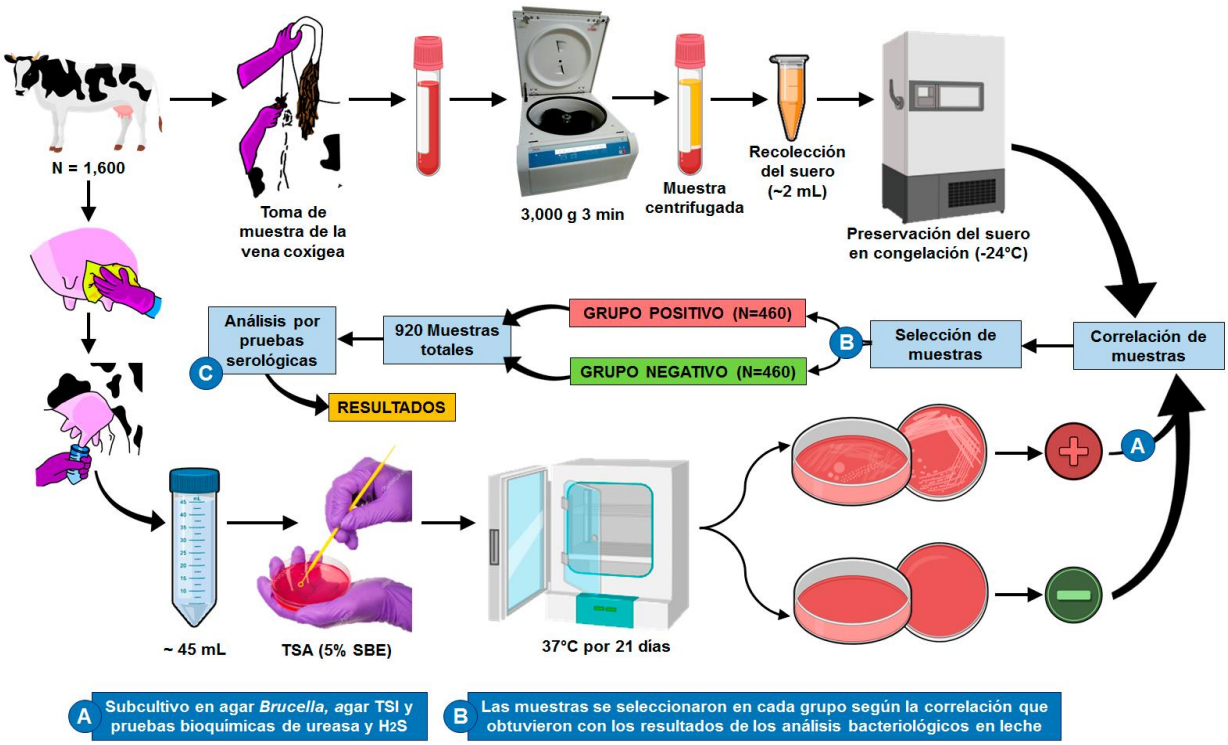


Figura 1. Diagrama de flujo. Prueba serológica Rosa de bengala y cultivo bacteriológico de leche.

Resultados y Discusión

El estándar de oro son los resultados obtenidos por cultivo bacteriológico. Se observaron en cultivo de leche brúcelas en forma individual, agrupadas, en pares o cadenas, mostrando su forma característica de cocobacilo con una ligera pigmentación, dando una apariencia microscópica de «arena fina». Asimismo, en la observación directa del cultivo primario, las colonias de *Brucella* ordinariamente se presentan en grupos punteados circulares no hemolíticos y, dependiendo del medio de cultivo, pueden aparecer con o sin algún tipo de pigmentación, llegándose a apreciar en tonos de azul tenue, blancuzco o grisáceo. Las colonias de cepas lisas (S) de *Brucella* son elevadas, convexas, circulares, translúcidas y llegan a tener una medida de 0,5–1 mm de diámetro. Después del subcultivo y pasado un tiempo de 4 días, la morfología de las colonias de las brúcelas puede volverse menos convexa y más fosca con una apariencia granular opaca, seca, de color blanco amarillento. Estos cambios son causados por la conversión de las brúcelas de su forma lisa a rugosa (R). Las especies de *Brucella* se tiñen débilmente con safranina y, aunque se consideran aerobias estrictas en general, algunas cepas requieren de CO_2 en el aislamiento primario. De igual manera, estas bacterias no presentan motilidad y, con las pruebas bioquímicas de oxidasa y ureasa, son positivas.

Tabla de Contingencia (2 x 2)

De acuerdo con los datos presentados:

- Rosa de Bengala Positivo (460 total): 417 positivos a cultivo (Verdaderos Positivos) y 43 negativos a cultivo (Falsos Positivos).
- Rosa de Bengala Negativo (460 total): 35 positivos a cultivo (Falsos Negativos) y 425 negativos a cultivo (Verdaderos Negativos) (**Cuadro 1**).

Prevalencia de la brucelosis (P): 452/920 = 0.491 (49.13 %).

Cuadro 1. Tabla de contingencia (2x2)

Prueba rosa de Bengala	Cultivo positivo	Cultivo negativo	Total
Positivo	VP= 417	FP= 43	460
Negativo	FN= 35	VN= 425	460
Total	452	468	920

Cálculo de parámetros epidemiológicos e interpretación

- Sensibilidad (S)=92.26 %: La prueba de Rosa de Bengala detecta correctamente a la gran mayoría de los animales verdaderamente infectados confirmados por cultivo.
- Especificidad (E)=90.81 %: Clasifica adecuadamente como negativos a la mayoría de los animales sanos.
- Valor Predictivo Positivo (VPP)= 90.65%: Representa que la rosa de Bengala sigue siendo una prueba tamiz y de monitoreo muy adecuada para el diagnóstico de brucelosis, además de ser una prueba de campo rápida y económica.
- Valor Predictivo de Rosa Negativo (VPN)= 92.39 %: Significa que, al realizar la prueba de Rosa de Bengala para el diagnóstico de brucelosis en suero, es conveniente confirmar su resultado con la realización del cultivo microbiológico a la par con la muestra de leche.
- Cociente de Probabilidad Positivo (CP+) = 10.04: Un resultado positivo en Rosa de Bengala incrementa en más de 10 veces la probabilidad de que el animal tenga una infección activa por *Brucella* spp.*,* considerándose un excelente indicador de diagnóstico de confirmación.
- Cociente de Probabilidad Negativo (CP-) = 0.085: Un resultado negativo reduce significativamente la probabilidad de infección a menos del 8%.
- Kappa de Cohen (K') = 0.8304: Representa una concordancia casi perfecta entre Rosa de Bengala y el cultivo bacteriológico, corrigiendo el azar.
- El valor calculado de la prueba de X2 de independencia de Pearson (634.82), como X2calc (634.82) > X2crit (3.841) y el p-valor es < 0.0001, cae profundamente en la zona de rechazo; por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna (H_1).

La RBT se sigue utilizando como prueba diagnóstica para brucelosis (Assenga et al., 2015; Purwar et al., 2016). En el presente trabajo se obtuvo una prevalencia de brucelosis del 49.13% en los establos analizados, por lo que sigue siendo elevada en comparación con otras regiones. En los 146 hatos mixtos (caprinos/ovinos) de las regiones centro y oeste de la provincia de Formosa, Argentina, el 26.7% resultó positivo a brucelosis y se detectaron anticuerpos específicos en las 2 especies. La prevalencia de brucelosis fue mayor en los caprinos (12.6%) que en los ovinos (1.4%) (Russo et al., 2016).

Conclusiones

El uso de rosa de Bengala como prueba de tamizaje: gracias a su alta sensibilidad (92.26 %) y elevado VPN (92.39 %), la técnica de rosa de Bengala se consolida como una herramienta rápida, económica y muy confiable para el tamizaje epidemiológico a campo en hatos lecheros. Con la presente investigación, se confirmó que existe una asociación altamente significativa entre el resultado de la RBT y la confirmación por cultivo bacteriológico. Es necesaria la confirmación de reactores, pese a la excelente especificidad (90.81 %), existe un 9.19% de falsos positivos (posiblemente asociados a reacciones cruzadas o dinámicas de anticuerpos vacunales de la cepa RB51).

Se recomienda que los reactores positivos a rosa de Bengala sean sometidos a pruebas complementarias o aislamiento bacteriológico antes del sacrificio sanitario definitivo. Se sugiere la optimización de protocolos de bioseguridad, continuar fortaleciendo el monitoreo en leche y suero de forma periódica en La Comarca Lagunera para mantener el control de reactores y evitar la transmisión zoonótica hacia los trabajadores de los establos y consumidores de productos lácteos elaborados con leche sin pasteurizar.

Referencias

Assenga, J. A., Matemba, L. E., Muller, S. K., Malakalinga, J. J., & Kazwala, R. R. (2015). Epidemiology of *Brucella* infection in the human, livestock and wildlife interface in the Katavi-Rukwa ecosystem, Tanzania. *BMC veterinary research*, 11(1), 189.

Ficht, T. 2010. '*Brucella* taxonomy and evolution', Future microbiology, 5: 859-866.

Gul, S. & Khan, A. 2007. 'Epidemiology and epizootology of brucellosis: A review', *Pakistan Veterinary Journal*, 27: 145-151.

Mathew, C., Stokstad, M., Johansen, T. B., Klevar, S., Mdegela, R. H., Mwamengele, G., Michel, P., Escobar, L., Fretin, D. & Godfroid, J. 2015. 'First isolation, identification, phenotypic and genotypic characterization of *Brucella abortus* biovar 3 from dairy cattle in Tanzania', *BMC Vet Res*, 11: 156.

Megid, J., Mathias, L. A. & Robles, C. 2010. 'Clinical manifestations of brucellosis in domestic animals and humans', *The Open Veterinary Science Journal*: 119126.

Megersa, B., Biffa, D., Abunna, F., Regassa, A., Godfroid, J. & Skjerve, E. 2011. 'Seroprevalence of brucellosis and its contribution to abortion in cattle, camel, and goat kept under pastoral management in Borana, Ethiopia', *Trop Anim Health Prod*, 43: 651-656.

Purwar, S., Metgud, S. C., Mutnal, M. B., Nagamoti, M. B., & Patil, C. S. (2016). Utility of serological tests in the era of molecular testing for diagnosis of human brucellosis in endemic areas with limited resources. *Journal of clinical and diagnostic research*: JCDR, 10(2), DC26.

Russo, A. M., Mancebo, O. A., Monzón, C. M., Gait, J. J., Casco, R. D., & Torioni de Echaide, S. M. (2016). Epidemiology of caprine and ovine brucellosis in Formosa province, Argentina. *Revista Argentina de Microbiologia*, *48*(2), 147-153.

Saxena, H. M. & Raj, S. 2018. 'A novel immunotherapy of Brucellosis in cows monitored non-invasively through a specific biomarker', *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 12: e0006393.

Young, E. J. 2018. '*Brucella* Species (Brucellosis).' in Sarah S. Long, Charles G. Prober and Marc Fischer (eds.), *Principles and Practice of Pediatric Infectious Diseases* (Fifth Edition)

Zange, S., Schneider, K., Georgi, E., Scholz, H. C., Antwerpen, M. H., Walter, M. C., Zoeller, L., von Buttlar, H. & Borde, J. P. 2019. 'A headache with surprising outcome: first case of brucellosis caused by *Brucella suis* biovar 1 in Germany', Infection.

EFECTO DE LOS MINERALES ENRIQUECIDOS CON FOSFOLÍPIDOS SOBRE RESPUESTA REPRODUCTIVA, NIVELES DE GLUCOSA Y PROTEÍNA TOTAL EN CABRAS DE PASTOREO

Ana Isabel Aguilar-Mejía[3], Katherin Castañeda-Moreno[3], Ma. Guadalupe Calderón-Leyva[2], Alan Sebastián Alvarado-Espino[2], Fernando Arellano-Rodríguez[2], Oscar Ángel-García[1]*

[1]Departamento de Ciencias Medico Veterinarias, UAAAN UL. [2]Departamento de Producción Animal, UAAAN UL. [3]Programa de Postgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria, UAAAN UL. *Autor para correspondencia: angelgarciao@hotmail.com

Introducción

La reconocida tolerancia de las cabras a la escasez de agua, a la baja calidad del forraje y a las oscilaciones térmicas extremas las posiciona como la especie más adaptada a estas condiciones, aportando a las familias rurales carne, leche y diversos subproductos de valor económico (Gül et al., 2016). El rendimiento productivo y reproductivo de las cabras está ligado a su estado nutricional. Ante un déficit de nutrientes, el organismo sacrifica la función reproductiva en favor del mantenimiento corporal, lo que deriva en cuadros de anestro, reducción de la tasa ovulatoria y disminución de la fertilidad general del rebaño (Luo et al., 2019). Entre los factores nutricionales relevantes, los minerales orgánicos cobran especial importancia. En este sentido, los macrominerales (calcio, fósforo, potasio, sodio, cloro, azufre y magnesio) y los oligoelementos (hierro, yodo, cobre, manganeso, zinc, cobalto, molibdeno y selenio) participan de forma diferencial en la regulación reproductiva, siendo los oligoelementos los de mayor incidencia. Su efectividad no depende únicamente del nivel de absorción intestinal, sino también de la capacidad de ejercer actividad biológica en los tejidos (Huang et al., 2019). En paralelo, la incorporación de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) y fosfolípidos a la ración ha mostrado incrementar el número de folículos y gametos viables, elevar la calidad ovocitaria y aumentar la formulación de suplementos que integran minerales orgánicos quelados con fosfolípidos emerge como una estrategia de nutrición de precisión con potencial sinérgico sobre el eje endocrino-reproductivo.

Materiales y métodos

General. Todos los métodos y el manejo de las unidades experimentales utilizadas en este estudio fueron en estricto acuerdo con los lineamientos para el uso ético, cuidado y bienestar animal en investigación a nivel internacional (FASS, 2010) y a nivel nacional (NAM, 2002).

Localización y condiciones climáticas del área de estudio. El trabajo de investigación se realizó en el Ejido 6 de enero, Mpio. De Lerdo, Durango, México (26° LN). El clima de la región es semidesértico. El lugar tiene una altitud de 1,149 msnm, con una precipitación media anual de 230 mm y con temperatura promedio de 24 °C, máxima de 41 °C en mayo y junio, y mínima de -1 °C en diciembre y enero (CONAGUA, 2023). El estudio se realizó en los meses de marzo y abril de 2026.

Manejo y tratamientos de las hembras. Se seleccionaron 17 cabras multíparas adultas, multirraciales, homogéneas en cuanto a peso vivo y condición corporal. Asignadas completamente al azar a uno de dos tratamientos: 1), hembras que recibieron (Tratado; n=9) 17 g vía oral de Zeogain Potentia ® [(Dióxido de silicio (SiO2) al 66 %, Óxido de Aluminio (Al_2O_3) al 8 %, óxido de magnesio (MgO) al 0.2 %, óxido de calcio (CaO) al 4 % y óxido de sodio (Na_2O) al 2 %] enriquecidos con fosfolípidos (extracto etéreo al 4.14 %), y 2), hembras (Control; n = 8) que no recibieron ninguna adición de minerales enriquecidos. Todos los animales fueron pastoreados de 10:00 a 12:00 y de 16:00 a 19:00 h. Estos animales caminan de 2 a 3 km al día hasta la zona donde encuentran alimento disponible, ya que su alimentación se basa en pastoreo extensivo, principalmente de ramoneo de diferentes especies arbustivas, así como en rastrojos de cosechas.

Previo al inicio del periodo experimental, los animales tuvieron un manejo sanitario (vacunación y desparasitación). El tratamiento fue administrado vía oral durante 14 días previo al empadre.

Variables a evaluar

Peso vivo y condición corporal. Se registró el peso vivo (PV) y condición corporal (CC) al inicio y posteriormente cada 7 días del periodo experimental. La CC fue medida en una escala del 1 al 5, donde 1 es muy delgado y 5 es muy gordo; para la determinación de PV se utilizó una báscula digital (Torrey®, Modelo EQM 400-800) con capacidad de 400 kg.

Niveles de glucosa y proteína total. Se determinaron los niveles de glucosa (Glu) y proteína total (PT) al inicio y posteriormente cada 7 días durante el periodo experimental; para lo cual se utilizó un glucómetro (Accu-Chek® Active) y que consistió en la toma de muestra de sangre por venopunción yugular (10 µL) a través de una tira reactiva para Glu y los resultados se expresaron en mg/ dL, mientras que para la determinación de PT se recolectaron muestras a través de tubos vacutainer de 5 mL por venopunción yugular y posteriormente fueron centrifugados a 3500 rpm por 10 minutos. Se utilizó una muestra de suero (20 µL) en un refractómetro (CVQ- 30301 VET) y los resultados se expresaron en mg por cada 100 mL.

Porcentaje de celos y tasa ovulatoria. La actividad estral se determinó por la mañana (am) y tarde (pm), consistió en introducir un macho (con mandil) con las hembras durante 15 minutos. La hembra que aceptaba la monta y permanecía inmóvil se consideró en celo. El porcentaje de celos se determinó contando el número de cabras que presentaron celos entre el total de hembras de cada grupo. La tasa ovulatoria se determinó al día 14 posterior a la monta del macho mediante ultrasonografía transrectal, que consistió en contar el número de cuerpos lúteos en la superficie de ambos ovarios, divididos entre el total de cabras ovuladas de cada grupo. Además, se midió (cm) el diámetro de cada cuerpo lúteo (alto y ancho) y de cada ovario.

Análisis estadístico. Todos los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico SYSTAT (Version student). Las medias repetidas de peso vivo, condición corporal, proteína total y glucosa fueron analizadas bajo una T-STUDENT mientras que el porcentaje de ovulación, celos, y tasa ovulatoria fueron comparados con una chi-cuadrada para observar si existió diferencia significativa entre las frecuencias. Se declararon diferencias a P≤0.05.

Resultados y discusión

Los resultados para peso vivo y condición corporal se muestran en el Cuadro 1, no se encontraron diferencias para PV (39.6.0±7.7 kg; P>0.5), ni para la CC (2.1±0.3; P>0.5) para ambos tratamientos.

Cuadro 1. Medias (±DESVEST) para peso vivo y condición corporal de cabras complementadas con 17 g de minerales enriquecidos con fosfolípidos (ZG) y cabras sin complementar (GC) por 14 días durante los meses de abril y mayo (primavera, 25° LN).

Variables	Inicio		Final	
	Tratado	Control	Tratado	Control
Peso vivo (kg)	39.9±6.3[a]	40.1±6.8[a]	38 ±4.0[a]	40.5 ±6.0[a]
Condición corporal	2.6±0.3[a]	2.4±0.4[a]	1.8±0.5[a]	1.7±0.2[a]

[a,b] Literales con superíndice diferente difieren a P<0.05

Los resultados para concentración de glucosa y proteína total se muestran en el Cuadro 2. No se encontraron diferencias para las concentraciones de glucosa (56.3±7.0), ni para la PT (6.7±0.6) para ambos tratamientos (P>0.5).

Cuadro 2. Medias (±DESVEST) para glucosa y proteína total de cabras complementadas con 17 g de minerales enriquecidos con fosfolípidos (Tratado) y cabras sin complementar (control) por 14 días durante los meses de abril y mayo (primavera, 25°LN).

Variables	Inicio		Final	
	Tratado	Control	Tratado	Control
Glucosa	47.9 ±9.0[a]	51.1± 6.0[a]	64±5.6[a]	62.5± 7.4[a]
Proteína total	6.8±0.4[a]	6.8±0.4[a]	6.6± 0.9[a]	6.6± 0.5[a]

[a,b] Literales con superíndice diferente difieren a P<0.05

Los resultados para la respuesta reproductiva se muestran en el Cuadro 3. El porcentaje de celos (tratado 77%, control 100%), ovulación (tratado 55%, control 75%) y tasa ovulatoria (tratado 1.8, control 1.5) fueron similares en ambos grupos (P>0.05).

Cuadro 3. Respuesta reproductiva de cabras complementadas con 17 g de minerales enriquecidos con fosfolípidos (ZG) y cabras sin complementar (GC) por 14 días durante los meses de abril y mayo (primavera, 25°LN).

Variables	Tratado (n=9)	Control (n=8)
Hembras en celo (%, n)	77 (7/9)[a]	100 (8/8)[a]
Porcentaje de ovulación (%, n)	55 (5/9)[a]	75 (6/8)[a]
Tasa ovulatoria (n)	1.8± 0.8[a]	1.5±0.5[a]

[a,b] Literales con superíndice diferente difieren a P<0.05

Conclusiones

La complementación con minerales enriquecidos con fosfolípidos no modificó la respuesta estral, ovulatoria ni metabólica en las cabras evaluadas, a diferencia de los efectos positivos reportados en bovinos. Esta ausencia de diferencias estadísticas puede atribuirse al estado fisiológico de los animales, a dosis o tiempos de tratamiento insuficientes, y a que el pastoreo cubría sus requerimientos nutricionales. Así, el estatus mineral previo y la dosificación modulan el impacto real de estos componentes en pequeños rumiantes.

Referencias

Fabjanowska, J., Kowalczuk-Vasilev, E., Klebaniuk, R., Milewski, S., & Gümüş, H. (2023). N-3 polyunsaturated fatty acids as a nutritional support of the reproductive and immune system of cattle—A review. *Animals*, *13*(22), Artículo 3589. https://doi.org/10.3390/ani13223589

Federation of Animal Sciences Societies (FASS) (2010) Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Research and Teaching. 3rd edn. Available at: https://www.adsa.org/Portals/_default/SiteContent/docs/AgGuide3rd/Ag_Guide_3rd_ed.pdf

Gül, S., Keskin, M., Göçmez, Z., & Gündüz, Z. (2016). Effects of supplemental feeding on performance of Kilis goats kept on pasture condition. *Italian Journal of Animal Science*, *15*(1), 110–115. https://doi.org/10.1080/1828051X.2015.1132542

Huang, Q., Liu, Y., Yang, Z., Xie, Y., & Mo, Z. (2019). The effects of cholesterol metabolism on follicular development and ovarian function. *Current Molecular Medicine*, *19*(10), 719–730. https://doi.org/10.2174/1566524019666190916155004

Luo, J., Wang, W., & Sun, S. (2019). Research advances in reproduction for dairy goats. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *32*(8), 1284–1295.

National Academy of Medicine (NAM) (2002) Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. 1st edn. Mexico: National Academy of Medicine-Mexico and Association for Assessment and Accreditation of Laboratory Animal Care International.

SUPLEMENTACIÓN CON UN COMPUESTO PROBIÓTICO-PREBIÓTICO: EFECTO SOBRE EL CONSUMO DE CONCENTRADO INICIADOR Y LA DINÁMICA DE CRECIMIENTO EN BECERROS HOLSTEIN FRIESIAN EN ETAPA POST-DESTETE

Sindy Y. Hernández-Gómez[1], Ramiro González-Avalos[1], Edgar J. Macias-Ortiz[1], Karla Q. Ramirez-Uranga[2*]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera Santa Fe, s/n. Colonia Valle Verde, Torreón, Coahuila de Zaragoza, 27054, México. [2]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo 35230, México. *Autor de correspondencia: karlarmzuranga@gmail.com

Introducción

La FAO (2009) estima que para el año 2050 el aumento de la demanda de productos de origen animal destinados a la alimentación humana será de 60 a 100%, cifra relacionada con el incremento demográfico proyectado en 2 mil millones de personas adicionales; en este mismo sentido, Simmons (2014) señala que la clase media mundial crecerá hasta 3 mil millones de personas, lo cual intensificará aún más la demanda global de alimentos. Bajo este panorama, en la Comarca Lagunera la crianza de becerros cobra especial relevancia para el mantenimiento y la expansión de los hatos ganaderos; sin embargo, persiste una problemática considerable en los establos relacionada con enfermedades, mortalidad, resistencia bacteriana a los antibióticos y el uso inadecuado de las tecnologías disponibles para el manejo de los animales (González-Avalos et al., 2019).

Ante esta problemática, la alimentación con concentrado rico en carbohidratos fácilmente fermentables representa una estrategia ampliamente utilizada para estimular el desarrollo del epitelio ruminal y su microbiota. No obstante, este tipo de dietas puede inducir un pH ruminal bajo, generando complicaciones como el cambio indeseado de la población microbiana, la digestión ineficiente del alimento y enfermedades metabólicas que comprometen el rendimiento de los becerros (Spina et al., 2024). Por su parte, el estímulo para el desarrollo y crecimiento ruminal está estrechamente relacionado con los ácidos grasos volátiles, en particular el butirato, además de la participación esencial de secreciones enzimáticas pancreáticas, como la amilasa, que favorece la digestión del almidón; de esta manera, la sinergia entre el desarrollo ruminal, el flujo digestivo y la actividad enzimática permite una mejor digestión del concentrado, traduciéndose en un mejor crecimiento y conformación corporal de los becerros (Vargas-Ramírez y Elizondo-Salazar, 2014). Aunado a lo anterior, el manejo de la flora microbiana del tracto digestivo mediante probióticos ha demostrado mejorar la microflora protectora, con efectos positivos sobre la salud y el rendimiento de los becerros (Velásquez-Muñoz et al., 2022).

Con base en lo antes expuesto, se planteó como hipótesis que la suplementación con un compuesto probiótico-prebiótico durante la etapa de pre-destete favorecería el consumo de alimento iniciador y la dinámica de crecimiento de becerros Holstein Friesian durante la etapa de post-destete, en comparación con animales no suplementados. Por lo tanto, el objetivo fue evaluar el efecto de la suplementación con un compuesto probiótico-prebiótico sobre el consumo de alimento iniciador, el peso corporal y la ganancia diaria promedio (GDP) de becerros Holstein Friesian durante el postdestete.

Materiales y métodos

General y diseño experimental. El estudio se realizó de enero a marzo de 2025 en la Unidad Experimental del Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna (UAAAN-UL; 25°33'23" N, 103°22'15" W; 1,120 m de altitud), bajo un diseño completamente al azar (DCA), utilizando 6 becerros machos Holstein Friesian asignados aleatoriamente a dos tratamientos con 3 animales por grupo. Durante el periodo experimental, la región presentó una temperatura media de 21.7 °C (mínimas de 14.4 °C, máximas de 30.0 °C) y una humedad relativa media de 32%. Durante la etapa de pre-destete (55 días), el grupo control (G-CON) no recibió suplementación, mientras que el grupo suplementado (G-PRO) recibió 10 g diarios de un compuesto probiótico-prebiótico incorporado en el sustituto lácteo; posteriormente, en la etapa de post-destete, ambos grupos fueron comparados evaluando variables productivas y de crecimiento.

Sistema de alimentación. Ambos grupos permanecieron con alimento sólido y agua potable a libre acceso, renovada dos veces al día para mantener condiciones homogéneas entre tratamientos. El heno de alfalfa se ofreció a libre acceso como parte de la dieta, aunque su consumo individual no fue cuantificado en este estudio. La composición química y nutricional del concentrado iniciador y del heno de alfalfa ofrecidos se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición química del concentrado iniciador y del heno de alfalfa.

Componente	Concentrado iniciador	Heno de alfalfa
Materia seca (MS)	94.26	94.65
Proteína cruda (PC)	18.76	15.13
Cenizas (CEN)	7.38	8.08
Fibra cruda (FC)	9.38	NR
Fibra detergente ácida (FDA)	13.11	36.42
Fibra detergente neutra tratada con amilasa (aFDN)	24.55	49.93
Carbohidratos no fibrosos (CNF)	45.63	26.10
Extracto etéreo (EE)	3.67	1.68

Nota. MS expresada en porcentaje del alimento tal como se recibió; los demás componentes, en porcentaje de MS. NR= no reportado.

Variables. Las variables evaluadas durante el postdestete fueron el consumo de alimento iniciador, el peso corporal y la ganancia diaria promedio (GDP). El consumo de alimento iniciador se determinó diariamente por diferencia entre la cantidad ofrecida y el remanente, que se pesó en una báscula electrónica digital (L-EQ 5, Torrey®). El peso corporal se registró semanalmente, antes del suministro de alimento, utilizando una báscula ganadera (Fabela®). La GDP se calculó como la diferencia entre dos pesos corporales consecutivos dividida entre el número de días transcurridos, y se expresó en kg/día.

Análisis estadístico. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + W_j + (T \times W)_{ij} + C_k + \varepsilon_{ijk}$$

donde Y_{ijk} corresponde a la variable de respuesta (consumo de alimento iniciador o peso corporal), μ es la media general, T_i es el efecto fijo del tratamiento (G-CON y G-PRO), W_j es el efecto fijo del tiempo (semana), $(T \times W)_{ij}$ es la interacción tratamiento × tiempo, C_k es el efecto aleatorio del becerro y ε_{ijk} es el error residual. Los modelos se ajustaron mediante máxima verosimilitud restringida (REML). Todos los análisis estadísticos se realizaron con SPSS (versión 25; IBM Corp., Armonk, NY, EUA).

Resultados y discusión

Consumo de alimento iniciador. El consumo de alimento iniciador aumentó progresivamente en ambos tratamientos (Figura 1). Se observó un efecto de la semana ($P < 0.001$), pero no del tratamiento ($P = 0.873$) ni de la interacción tratamiento × semana ($P = 0.085$). Aunque G-PRO presentó valores numéricamente superiores en la mayoría de las semanas, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Al día 60, el consumo fue de 1.13 ± 0.38 kg de MS por animal en G-CON y 1.28 ± 0.33 kg en G-PRO; al día 82 alcanzó 2.40 ± 0.06 y 2.69 ± 0.51 kg, respectivamente. Vargas-Ramírez y Elizondo-Salazar (2014) también observaron un aumento del consumo con la edad, de 1.01 ± 0.318 kg de MS al día 54 a 1.74 kg al día 81. Entre los días 61 y 82, los promedios de este estudio fueron de 1.99 ± 0.22 y 2.21 ± 0.35 kg de MS/día en G-CON y G-PRO, respectivamente, frente a los 2.405 kg de MS/día reportados por Tian et al. (2026) para becerros de edad similar. Al día 103, el consumo fue de 2.38 ± 0.73 y 3.44 ± 0.04 kg de MS/día, valores inferiores a la referencia de 3.9 kg de MS/día a los 100 días citada de la NRC (2021). El efecto de la semana es congruente con el incremento del consumo de alimento sólido conforme se desarrollan los becerros. Este consumo favorece la fermentación ruminal y la producción de ácidos grasos volátiles, entre ellos butirato y propionato, asociados con el desarrollo del rumen (Castillo-Olivera et al., 2018). La maduración ruminal también involucra la interacción de la microbiota con procesos metabólicos y señales hormonales, incluidas la insulina y el IGF-1 (Pokhrel y Jiang, 2024).

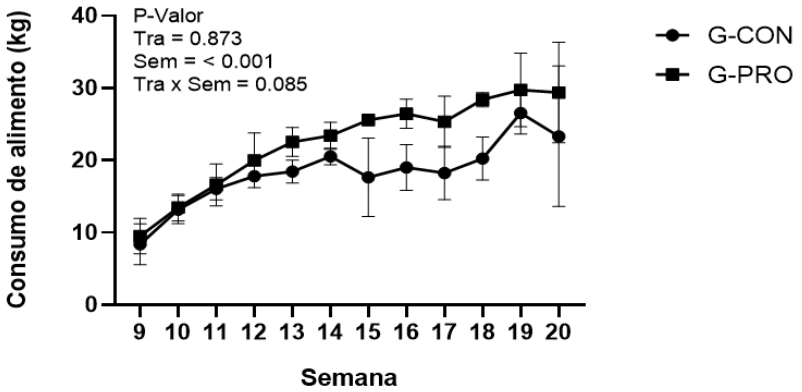


Figura 1. Consumo semanal de alimento iniciador (kg) en becerros sometidos a los tratamientos G-CON y G-PRO durante el periodo experimental. Los valores se presentan como medias ± error estándar de la media. Tra = efecto de tratamiento; Sem = efecto de la semana; Tra × Sem = interacción tratamiento × semana. Las diferencias estadísticas se consideraron significativas cuando P < 0.05.

Peso corporal y GDP. El peso corporal aumentó con la edad en ambos tratamientos (Figura 2; $P < 0.001$). No se detectó un efecto significativo del tratamiento ni de la interacción tratamiento × tiempo ($P > 0.05$). Al destete (día 61), los pesos fueron de 59.67 ± 4.04 kg en G-CON y 61.00 ± 5.57 kg en G-PRO, inferiores al intervalo de 63.8–68.4 kg reportado por González-Avalos et al. (2022). Al día 75 alcanzaron 71.33 ± 6.43 y 75.00 ± 9.54 kg, respectivamente; Abdelfattah et al. (2023) comunicaron 79.7 ± 1.9 kg alrededor del día 70. Passillé et al. (2011) también registraron pesos superiores en becerros sometidos a un programa de alimentación láctea diferente, por lo que estas comparaciones deben interpretarse considerando las diferencias de manejo. Al día 96, G-CON pesó 96.33 ± 7.02 kg y presentó una GDP de 0.76 kg/día, mientras que G-PRO pesó 99.00 ± 8.66 kg y presentó una GDP de 1.42 kg/día. Al día 117, los pesos fueron de 115.00 ± 8.89 y 129.00 ± 12.17 kg, con GDP de 0.42 y 0.90 kg/día, respectivamente.

En comparación con la referencia de 120 kg a los 100 días citada de la NRC (2021), solo G-PRO superó ese peso al día 117. Sin embargo, las diferencias numéricas entre grupos no constituyen evidencia de un efecto del tratamiento. Cabe destacar que la ingestión de materia seca y agua favorece la fermentación y el desarrollo ruminal. En estos procesos participa una comunidad microbiana que incluye bacterias como *Ruminococcus, Butyrivibrio, Prevotella, Fibrobacter, Coprococcus* y *Porphyromonas* (Sanjorjo et al., 2023); protozoarios como *Dasytricha, Ostracodinium, Diplodinium, Polyplastron* y *Entodinium* (Reis et al., 2019); hongos de los filos *Basidiomycota, Ascomycota* y *Neocallimastigomycota* (Wang et al., 2019); y arqueas metanogénicas como *Methanomicrobium mobile, Methanococcus voltae* y *Methanobrevibacter* spp. (Guzmán et al., 2016). Dado que la microbiota no se caracterizó en este estudio, no es posible relacionar su composición con el crecimiento observado. Además, la estación del año (Place et al., 1998) y las condiciones de destete (Sweeney et al., 2010) también pueden influir en el peso corporal y el consumo de alimento.

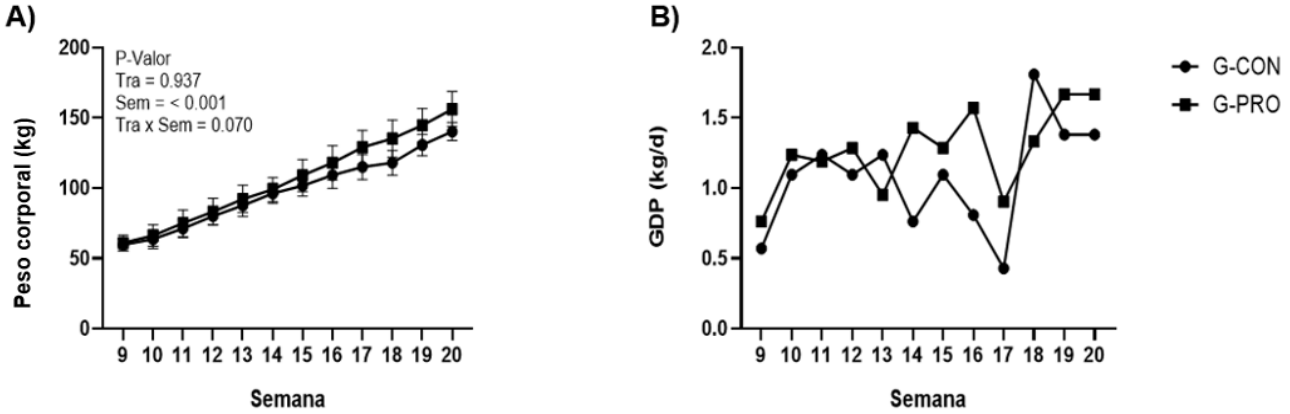


Figura 2. Peso corporal (kg; panel A) y ganancia diaria promedio (GDP, kg/día; panel B) en becerros de los grupos G-CON y G-PRO durante el periodo experimental. En el panel A, los valores se presentan como medias ± error estándar de la media. Tra = efecto del tratamiento; Sem = efecto de la semana; Tra × Sem = interacción tratamiento × semana. Se consideró significativo $P < 0.05$.

Conclusiones

No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en el consumo de alimento iniciador ni en el peso corporal durante el postdestete. No obstante, los becerros suplementados durante el predestete (G-PRO) presentaron valores numéricamente superiores a los del grupo control. Esta tendencia requiere evaluarse en estudios posteriores. La caracterización del microbioma ruminal permitiría explorar su posible relación con el consumo de alimento y el crecimiento de los becerros.

Referencias

Abdelfattah, E. M., Aly, S. S., Lehenbauer, T. W., & Karle, B. M. (2023). Effects of simplified group housing on behavior, welfare, growth performance, and health of preweaned dairy calves on a California dairy. *Journal of Dairy Science*, 107(6), 3927-3940.

Castillo-Olivera, J. O., Guerra-Medina, C. E., Ley-de Coss, A., Montañez-Valdez, O. D., Reyes-Gutiérrez, J. A., Escobar-España, J. C., & Posada-Cruz, S. (2018). Respuesta productiva de becerros lactantes suplementados con alimento iniciador más cultivo de levaduras (Saccharomyces cerevisiae). *Acta Universitaria*, 28(1), 9-14.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2009). *The state of food and agriculture 2009. Livestock in balance.* FAO.

González-Avalos, R., Peña-Revuelta, B. P., Ramírez-Uranga, K. Q., González-Avalos, J., & Macías-Ortiz, E. J. (2022). Estimación del costo de alimentación de becerras Holstein lactantes. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 5, 245-254.

González-Avalos, R., Peña-Revuelta, B. P., Rodríguez-Dimas, N., Ávila-Cisneros, R., & González-Avalos, J. (2019). Costos de alimentación en becerras Holstein suministrando leche entera adicionada con extracto de plantas medicinales. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 45, 399-553.

Guzmán, C. E., Bereza-Malcolm, L. T., De Groef, B., & Franks, A. E. (2016). Uptake of milk with and without solid feed during the monogastric phase: Effect on fibrolytic and methanogenic microorganisms in the gastrointestinal tract of calves. *Animal Science Journal*, 87(3), 378-388.

National Research Council (NRC). (2021). *Nutrient requirements of dairy cattle* (8th ed.). National Academies of Sciences, Engineering and Medicine.

Passillé, A. M., Borderas, T. T., & Rushen, J. (2011). Weaning age of calves fed a high milk allowance by automated feeders: Effects on feed, water and energy intake, behavioral signs of hunger, and weight gains. *Journal of Dairy Science*, 94(3), 1401-1408.

Place, N. T., Heinrichs, A. J., & Erb, H. N. (1998). The effects of disease, management, and nutrition on average daily gain of dairy heifers from birth to four months. *Journal of Dairy Science*, 81(4), 1004-1009.

Pokhrel, B., & Jiang, H. (2024). Postnatal growth and development of the rumen: Integrating physiological and molecular insights. *Biology*, 13(4), 269.

Reis, C. C., Maeda, E. M., Cedrola, F., Martinis, E. N., De Paula, F. M., & Martinele, I. (2019). Diet and breed alter community structures of rumen protozoa in cattle subjected to different feeding systems. *Semina: Ciências Agrárias*, 40(2), 909-918.

Sanjorjo, R. A., Tseten, T., Kang, M. K., Kwon, M., & Kim, S. W. (2023). In pursuit of understanding the rumen microbiome. *Fermentation*, 9(2), 114.

Simmons, J. (2014). *La lucha por la seguridad alimentaria del mañana. Informe sobre cómo alimentaremos al mundo.* ELANCO.

Spina, A. A., Tortades, M., Britti, D., Grande, R., & Morittu, V. M. (2024). Does pelleted starter feed restriction and provision total mixed ration ad libitum during weaning influence the behavior of dairy calves? *Animals*, 14(9), 2759.

Sweeney, B. C., Rushen, J., Weary, D. M., & Passillé, A. M. (2010). Duration of weaning, starter intake, and weight gain of dairy calves fed large amounts of milk. *Journal of Dairy Science*, 93(1), 148-152.

Tian, J., Lu, G., Gibson, A. M., Ma, H., Chen, Z., Chen, Z., Li, X., Wang, Y., Zhuang, Y., Peng, Y., Hu, R., Peng, Q., Wang, L., Xue, B., Wang, Z., & Xiao, J. (2026). Effects of bedding type and forage provision on growth performance, health, and rumen fermentation in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 109(6), 6140-6155.

Vargas-Ramírez, A. M., & Elizondo-Salazar, J. A. (2014). Determinación de consumo de alimento balanceado y agua, y medidas de crecimiento en terneras Holstein en una finca lechera comercial. *Nutrición Animal Tropical*, 8(2), 36-50.

Velásquez-Muñoz, A., Meza-Correa, N., Sao, S., Manríquez, D., Román-Muniz, I. N., & Pinedo, P. J. (2022). Effect of a 2-step probiotic program on digestive health and performance of Holstein heifer calves. *Journal of Dairy Science*, 105(9), 7642-7653.

Wang, H., Li, P., Liu, X., Zhang, C., Lu, Q., Xi, D., Yang, R., Wang, S., Bai, W., Yang, Z., Zhou, R., Cheng, X., & Leng, J. (2019). The composition of fungal communities in the rumen of Gayals (Bos frontalis), Yaks (Bos grunniens), and Yunnan and Tibetan Yellow Cattle (Bos taurus). *Journal of Microbiology*, 57(4), 505-514.

USO DE LA PULPA DE CAFÉ PARA MEJORAR LA PROTEÍNA TOTAL Y NIVELES DE GLUCOSA EN CABRAS SINCRONIZADAS AL ESTRO

Xóchitl Guadalupe Castañeda-Martínez[4], Alan Sebastián Alvarado Espino[1], Ana Isabel Aguilar-Mejía[3], Leticia Romana Gaytan-Aleman[4], Fernando Arellano-Rodríguez[1], Guadalupe Calderón-Leyva, Oscar Ángel-García[2*]

[1]Departamento de Producción animal, UAAAN UL, [2]Departamento de Ciencias Médico Veterinario, UAAAN UL, [3]Programa de Postgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria, UAAAN UL, [4]Medicina Veterinaria Zootecnia, UAAAN UL. *Autor de correspondencia: angelgarciao@gmail.com

Introducción

La pulpa de café es un subproducto agroindustrial utilizado en la alimentación de rumiantes por su contenido de proteína cruda (11.6% en base a materia seca), fibra, carbohidratos y lípidos (Maxiselly et al., 2022). Su aprovechamiento representa una alternativa para utilizar subproductos de la industria cafetalera y disminuir el desperdicio de este material. Además de su valor nutricional, la pulpa de café contiene compuestos que han sido estudiados por sus posibles efectos biológicos en pequeños rumiantes (López-Rodríguez et al., 2023).

La proteína cruda aporta el nitrógeno y los aminoácidos requeridos para el mantenimiento y crecimiento en caprinos, además de ser aprovechada por los microorganismos ruminales. No obstante, la pulpa de café contiene compuestos como taninos y saponinas que pueden interactuar con la proteína y modificar su aprovechamiento, la digestibilidad y la fermentación ruminal (Salinas-Ríos et al., 2015; Maxiselly et al., 2022). Aunque Maxiselly et al. (2022) no observaron diferencias en el consumo de proteína cruda entre tratamientos, Abate y Pfeffer (1986) reportaron una disminución en el consumo de materia seca al aumentar el nivel de inclusión de la pulpa, lo que resalta la importancia de regular su dosificación.

Por otra parte, la glucosa es un indicador clave del metabolismo energético en pequeños rumiantes (Maxiselly et al., 2022). Los nutrientes de la pulpa son transformados por la microflora ruminal en ácidos grasos volátiles, los cuales posteriormente sirven de sustrato para la síntesis de glucosa y generación de energía (Salinas-Ríos et al., 2015). Por este motivo, la evaluación de metabolitos sanguíneos como la glucosa, los ácidos grasos no esterificados (NEFA) y el beta-hidroxibutirato (BHBA) complementa los parámetros productivos al reflejar la respuesta metabólica del animal ante la suplementación (Carta et al., 2022; Maxiselly et al., 2022). La evaluación de la proteína total sérica y los niveles de glucosa en sangre nos permite valorar tanto el aporte nutricional de la pulpa de café como la respuesta metabólica de las cabras ante su inclusión en la dieta.

Materiales y métodos

Todos los métodos y el manejo de las unidades experimentales utilizadas en este estudio fueron en estricto acuerdo con los lineamientos para el uso ético, cuidado y bienestar animal en investigación a nivel internacional (FASS, 2010) y a nivel nacional (NAM, 2002).

El estudio se realizó durante la época de otoño, correspondiente a los meses de abril, mayo y junio de 2026, en la localidad de Villa Juárez, ubicada en el municipio de Lerdo, en el estado de Durango, México. La localidad se encuentra a 25°29′43″ N de latitud y 103°35′42″ O de longitud, a una altitud aproximada de 1,155 metros sobre el nivel del mar. Villa Juárez se localiza aproximadamente a 10 km al oeste de Ciudad Lerdo, en la región sureste del estado, cercana al límite con el estado de Coahuila.

Manejo de animales. Para el desarrollo del estudio se trabajó con un total de 28 hembras caprinas multirraciales, las cuales fueron distribuidas en dos grupos experimentales de 14 animales cada uno. El primer grupo estuvo conformado por 14 hembras del grupo control, mientras que el segundo estuvo integrado por 14 hembras destinadas a la suplementación con pulpa de café (PCAF). Los animales fueron identificados individualmente para permitir el seguimiento de las variables evaluadas durante el periodo experimental. Previo al inicio del estudio se registraron los datos correspondientes a cada animal, incluyendo su identificación y las variables productivas y fisiológicas consideradas para el proyecto.

Tratamiento de los animales. Se utilizó un diseño experimental con dos grupos de estudio: grupo Control (n=14) y grupo PCAF (n=14). Al grupo control se le administró 100 g de concentrado comercial (PC 14%, energía 1.60) mientras que el grupo PCAF recibió la suplementación con 200 g de pulpa de café (PC 10.01%, energía 1.76) más 100 g de concentrado comercial. El tratamiento se dio por 42 días por las mañanas.

Variables evaluadas

Niveles de glucosa y proteína total. Los niveles de glucosa (Glu) y proteína total (PT) fueron determinados al inicio del experimento y, posteriormente, cada catorce días durante el periodo experimental. La concentración de Glu se evaluó mediante venopunción yugular, colocando una gota de sangre (10 µL) en una tira reactiva analizada con un glucómetro (FreeStyle Optium®); los resultados se expresaron en mg/dL. Para la determinación de PT, se recolectaron muestras de sangre en tubos Vacutainer de 5 mL mediante venopunción yugular, las cuales se centrifugaron a 3500 rpm durante 10 minutos. Posteriormente, se evaluaron 20 µL de suero en un refractómetro (CVQ-30301 VET), expresando los resultados en g/dL (o mg/100 mL).

Análisis estadístico. Los datos obtenidos para las variables proteína total y glucosa fueron organizados de acuerdo con el grupo experimental y la fecha de evaluación. Se calcularon medidas descriptivas, incluyendo media y desviación estándar. Para determinar la existencia de diferencias entre los grupos Control y PCAF, se realizó un análisis estadístico considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Los resultados fueron expresados como media ± desviación estándar y se considerarán diferencias estadísticamente significativas cuando $p < 0.05$. Debido a que las variables fueron evaluadas en diferentes fechas, los resultados permitieron observar la evolución de la proteína total y la glucosa durante el periodo experimental y comparar el comportamiento de ambos grupos.

Resultados y discusión

La disminución significativa en la proteína total sérica del grupo suplementado ($P < 0.05$) sugiere un menor aprovechamiento proteico, ocasionado principalmente por la presencia de taninos en la pulpa de café, los cuales se unen a las proteínas reduciendo su digestibilidad ruminal, así como por una posible reducción en la palatabilidad (Salinas-Ríos et al., 2015; Maxiselly et al., 2022). A pesar de esta reducción, las concentraciones permanecieron dentro de los límites fisiológicos normales (fisiológicamente la proteína total sérica suele oscilar entre 6.0 y 7.5 g/dL).

Cuadro 1. Medias (±DESVEST) de glucosa y proteína total de cabras complementadas con 200 g de café (PCAF) y cabras sin complementar (control) por 42 días durante los meses de mayo - junio.

	Grupos			Valores de *P*		
Variables	Control	PCaf	EEM	T	Día	TxDía
Glucosa (mg/dL)	50.6	50.4	1.8	0.858	<0.05	0.825
Proteína total (mg/dL)	6.7	6.1	0.1	0.000	0.018	0.288

*Grupo tratado con pulpa de café (Pcaf). Error estándar de la media (EEM). Prueba T de Student (T).

En contraste, la glucosa plasmática no presentó diferencias significativas entre grupos ($p > 0.05$), lo que demuestra que la pulpa de café no compromete la fermentación ruminal ni la gluconeogénesis hepática, manteniendo la homeostasis energética y los niveles de glucosa dentro de los rangos óptimos para la especie.

Conclusiones

En conclusión, la pulpa de café constituye una alternativa agroindustrial viable para la alimentación de caprinos, gracias a sus nutrientes como proteína cruda, fibra y carbohidratos solubles. Sin embargo, su inclusión en la dieta modula diferencialmente la respuesta metabólica de las hembras: por un lado, genera una disminución significativa en los niveles de proteína total sérica ($p < 0.05$) a lo largo del tiempo, influenciada por la presencia de taninos y compuestos secundarios que limitan la digestibilidad y el aprovechamiento proteico. Por otro lado, no altera las concentraciones de glucosa plasmática ($p > 0.05$), demostrando que no compromete la fermentación ruminal ni la gluconeogénesis hepática y manteniendo la homeostasis energética en niveles fisiológicamente seguros. Por lo tanto, se concluye que la pulpa de café puede ser utilizada como ingrediente alimentario en rumiantes, requiriendo un ajuste en la formulación de la dieta para optimizar la disponibilidad proteica.

Referencias

Abate, A., & Pfeffer, E. (1986). Changes in nutrient intake and performance by goats fed coffee pulp-based diets followed by a commercial concentrate. Animal Feed Science and Technology, 14(1–2), 1–10.

Carta, S., Tsiplakou, E., Nicolussi, P., Pulina,G., & Nudda,A.(2022).Effects of spent coffee grounds on production traits, haematological parameters, and antioxidant activity of blood and milk in dairy goats. Animal, 16(4), 100501.

Federation of Animal Sciences Societies (FASS) (2010) Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Research and Teaching. 3rd edn. Available at: https://www.adsa.org/Portals/_default/SiteContent/docs/AgGuide3rd/Ag_Guide_3rd_ed.pdf

López-Rodríguez, G., et al. (2023). Coffee pulp: A natural alternative for control of resistant nematodes in small ruminants. Pathogens, 12(1), 124.

Maxiselly, Y., Chiarawipa, R., Somnuk, K., Hamchara, P., Cherdthong, A., Suntara, C., Prachumchai, R., & Chanjula, P. (2022). Digestibility,bloodparameters,rumen fermentation, hematology, and nitrogen balance of goats after receiving supplemental coffee cherry pulp as a source of phytochemical nutrients. *Veterinary Sciences,*

National Academy of Medicine (NAM) (2002) Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. 1st edn. Mexico: National Academy of Medicine-Mexico and Association for Assessment and Accreditation of Laboratory Animal Care International.

Salinas-Ríos,T.,Ortega-Cerrilla,M.E.,Sánchez-Torres-Esqueda,M.T.,Hernández-Bauti sta,J.,Díaz-Cruz,A.,Figueroa-Velasco,J.L.,Guinzberg-Perrusquía,R., & Cordero-Mora, J.L.(2015). Productive performance and oxidative status of sheep fed diets supplemented with coffee pulp. *Small Ruminant Research, 123*(1), 17–21.

POTENCIAL GERMINATIVO DE ESPECIES SILVESTRES DEL GÉNERO *Phaseolus* Y SU APLICACIÓN EN PROGRAMAS DE CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

Liliana Wallander-Compeán[1*], Jazmín A. Martínez- Dueñez[1], Shaila N. Pérez-Salinas[1], Vicente Hernandez-Vargas[1], Lorena Amador-Sierra1, Erika B. León Espinosa[2].

[1]Instituto Politécnico Nacional CIIDIR Unidad Durango, Av. Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, México. C.P.34220. [2]Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso, División de Ingeniería en Industrias Alimentarias, San Felipe del Progreso, México. Autor de correspondencia: lilywallcom@gmail.com

Introducción

La germinación determina la perpetuación de las especies silvestres y la productividad de plantas cultivadas. Para las primeras existen pocos estudios sobre la relación entre morfología y composición fenólica y bioquímica de semillas con su potencial de germinación. El potencial de germinación de las especies silvestres del género *Phaseolus* es crucial para los programas de conservación de la biodiversidad, ya que estas especies albergan una importante diversidad genética que puede mejorar la resiliencia agrícola. La conservación de las especies silvestres de *Phaseolus* no sólo preserva los recursos genéticos, sino que también apoya el desarrollo de cultivares mejorados a través de programas de mejoramiento. Este panorama explorará la importancia del potencial de germinación, las estrategias de conservación y las implicaciones para la biodiversidad.

Materiales y métodos

Germoplasma. Se obtuvo de localidades registradas previamente en la colección de semillas de especies silvestres en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional unidad Durango del Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR IPN Durango). Las semillas usadas fueron de las colectas del 2020 y 2021.

Pruebas de germinación. Se realizaron de manera sistemática para revelar los efectos de la morfología, la composición fenólica, sobre la germinación. Se estimó el porcentaje, velocidad, y homogeneización de germinación (Zhang et al., 2025) y la capacidad de imbibición (Soltani et al., 2021). Las semillas de las especies silvestres de *Phaseolus*, se colocaron en cajas Petri, se humedecieron con agua destilada y se mantuvieron en una cámara con ambiente controlado, a temperatura constante (28°C) y en obscuridad. Se evaluaron 10 semillas de cada especie silvestre. El peso inicial, se hizo de la semilla seca y el final se registró después de las 12 h del inicio. La imbibición se expresó como porcentaje de incremento del peso de la semilla, por absorción de agua, con respecto al peso inicial.

Análisis de datos. Los datos obtenidos se sometieron a análisis de componentes principales y de agrupamiento, los datos de la germinación se analizaron con un ANOVA.

Resultados y Discusión

La semilla de la especie silvestre *P. maculatus* mostro los valores más altos en las variables estudiadas, en la cual se observó mayor viabilidad (%G) y vigor (IVG) de germinación de las semillas. Las semillas con valor menor del porcentaje de germinación fue la de *P. lunatus*. En cuanto a las pruebas de imbibición, las que mostraron menor índice fueron las especies de *P. lunatus* k (47.889) y *P. maculatus* B (51.807), las que tuvieron alto índice de imbibición fueron *P. vulgaris* PO (118.619) y *P. coccineus* 7 (111.219) (figura 1). El potencial de germinación de las especies silvestres de *Phaseolus* está influenciado por diversos factores, incluyendo las condiciones de almacenamiento y el tratamiento de semillas (Acosta et al., 2018).

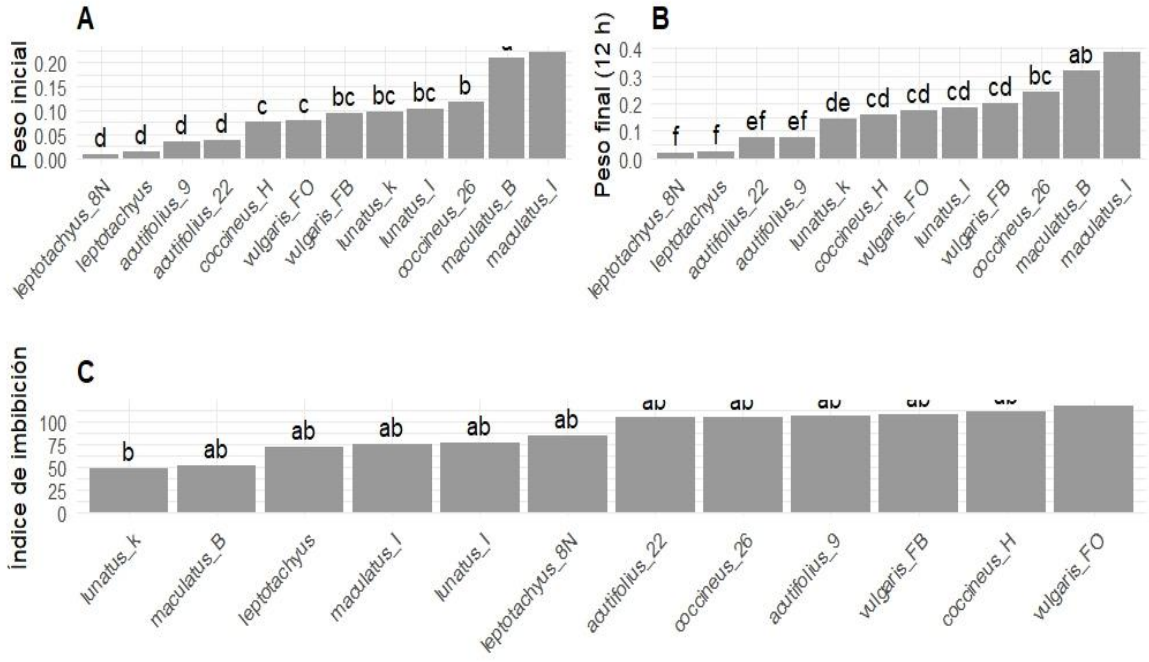


Figura 1. Resultados de las pruebas de Imbibición de las especies silvestres de frijol analizadas.

Se hizo un análisis de componentes principales (figura 2), usando los datos obtenidos de las pruebas de imbibición, en donde los dos primeros componentes explicaron el 100% de la varianza de los datos, el componente principal 1 aporto un 83.8% (Dim1) de la varianza total, en el cual la velocidad de germinación y el porcentaje de germinación tuvieron alta participación siendo las poblaciones de *P. microcarpus*, *P. vulgaris* y *P. lunatus* los que mostraron una mayor asociación con estas variables observadas, mientras que *P. lepto* 8N y *P. lepto* M, y *P. maculatus* I, presentaron una asociación negativa con ambas variables. El segundo componente permitió diferenciar los grupos relacionados principalmente con la velocidad de germinación. En particular, *P. acutifolius* 22 mostró una mayor asociación con el porcentaje de germinación, mientras que lunatus estuvo más relacionado con la velocidad de germinación.

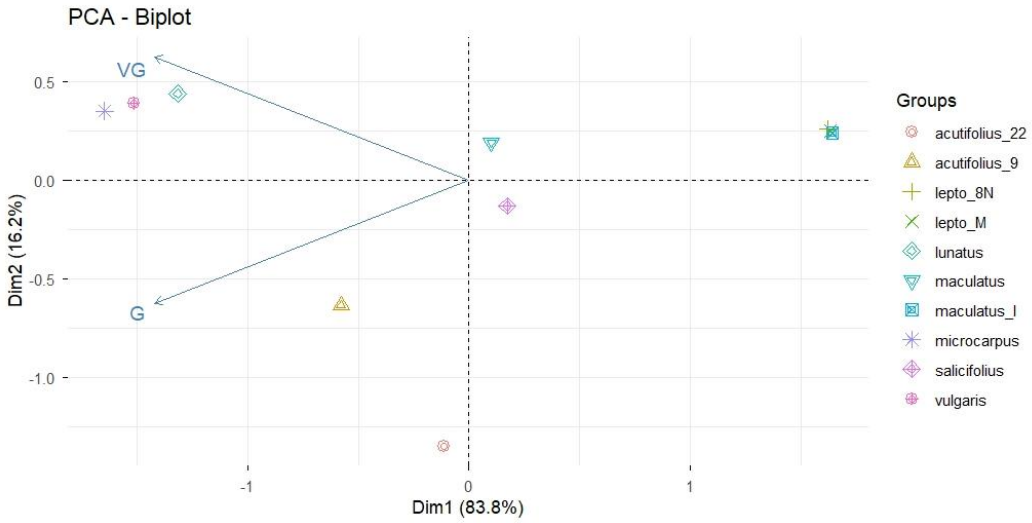


Figura 2. Resultados del análisis de PCA, usando los mismos datos de las pruebas de Imbibición de las especies silvestres de frijol.

Algunos autores mencionan que las diferencias significativas en las características de germinación y vigor dentro de las especies de *Phaseolus*, se debe principalmente a la variabilidad genética (Morales-Santos et al., 2017). Por lo tanto, un enfoque integral que considere tanto los factores genéticos como los ambientales es esencial para mejorar el potencial de germinación de las especies de *Phaseolus*. Los autores Morales-Santos et al. (2017) en su estudio encontraron que la especie *P. maculatus,* mostró los valores más altos de viabilidad y vigor de germinación, lo que podría estar relacionado con una mejor integridad de la testa y condiciones de almacenamiento óptimas. Para *P. lunatus*, encontraron el menor porcentaje de germinación, lo que podría deberse a una menor integridad de la testa o condiciones de almacenamiento subóptima, y las especies *P. vulgaris* y *P. coccineus*, mostraron altos índices de imbibición, lo que sugiere una mayor capacidad de absorción de agua, posiblemente debido a características específicas de la testa (Morales-Santos et al., 2017).

Conclusiones

Las semillas evaluadas mostraron diferencias significativas en su comportamiento germinativo y de imbibición, mostrando la diversidad existente entre especies del género *Phaseolus*. Los resultados del índice de imbibición demostraron que la absorción de agua es un proceso necesario, pero no determinante para la germinación, existen factores fisiológicos adicionales que regulan la activación metabólica del embrión. Factores fisiológicos, como la activación de enzimas y el metabolismo del embrión, juegan un papel crucial en la germinación exitosa de las semillas. Además, la diversidad genética y morfológica dentro del género *Phaseolus* ofrece un recurso valioso para la mejora genética y la conservación de estas especies, lo que subraya la importancia de integrar datos morfológicos, fenológicos y nutricionales en los programas de conservación y mejoramiento.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional y a SECHITY por el apoyo financiero y técnico.

Referencias

Acosta-Díaz, E., Hernández-Torres, I., Amador-Ramírez, M. D., Padilla-Ramírez, J. S., & Zavala-García, F. (2018). Las especies silvestres de *Phaseolus* (Fabaceae) en Nuevo León, México. 5(8), 1459–1465. https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V0I8.1103

Morales-Santos, M. E., Peña-Valdivia, C. B., García-Esteva, A., Aguilar-Benítez, G., & Kohashi-Shibata, J. (2017). CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE GERMINACIÓN EN SEMILLAS Y PLÁNTULAS DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) SILVESTRE, DOMESTICADO Y SU PROGENIE. Agrociencia, 51(1), 43–62. http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n1/1405-3195-agro-51-01-00043.pdf

Nawaz, M. A., Yang, S. H., & Chung, G. (2018). Wild Soybeans: An Opportunistic Resource for Soybean Improvement. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.74973

Soltani Khankahdani, V., Balouchi, H., Moradi, A., & Gholamhoseini, M. (2021). Effect of water potential on seed germination indices of six Sesame cultivars (*Sesamum indicum*) at different temperatures and its relation to fatty acid composition. Journal of Plant Process and Function, 10(42), 31-52.

Zhang, Z., Ma, R., Tao, Y., Wang, Z., & Yang, Y. (2025). Effects of Fe and Zn alone and combined treatment on *Triticum aestivum* L. seed germination. BMC Plant Biology, 25(1), 430.

CARTOGRAFÍA PARTICIPATIVA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS EN ZONAS ÁRIDAS: MODALIDADES, APLICACIONES Y UN CASO DE ESTUDIO EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE MAPIMÍ

Gerardo Esquivel-Arriaga[1*], Victo M. Reyes-Gómez[2], Ricardo I. Mata-Páez[3], Sandra D. Hernández-Valdez[3], Ignacio Sánchez-Cohen[1]

[1]Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA) del INIFAP. Km. 6.5 margen derecha Canal Sacramento, Gómez Palacio, Durango, C.P. 35140. [2]Instituto Nacional de Ecología. Av. Miguel de Cervantes Saavedra 120, Complejo Industrial Chihuahua, Chihuahua, Chih. C.P. 31136, [3]Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica. Camino a la Presa San José 2055, Lomas 4ta Sección, San Luis Potosí, S. L. P. C.P. 78216. *Autor de correspondencia: esquivelagerardo24@gmail.com

Introducción

La cartografía participativa (CP) se refiere a una amplia gama de metodologías en las que la población interactúa para crear y comunicar conocimientos, experiencias y aspiraciones sobre el mundo en un mapa (Brown and Kyttäb, 2018). El objetivo primordial de estas metodologías es involucrar a la población local en la obtención de información espacial, que comparada con la cartografía tradicional la cual se deriva de mediciones de campo, la hace significativamente diferente debido al proceso de creación de los mapas y su posterior uso (Loerzel et al., 2017; Azzurro y Cerri, 2021). Una de las principales aportaciones de estos enfoques consiste en incorporar dimensiones del territorio que frecuentemente no aparecen en la cartografía convencional. Las personas pueden señalar sitios asociados con medios de vida, agua, recreación, patrimonio, aprendizaje, identidad, calidad ambiental o subsistencia, permitiendo reconocer valores y relaciones espaciales que complementan los datos biofísicos (Brown et al., 2020). En consecuencia, la cartografía participativa puede ser particularmente útil para la planeación y gestión de recursos naturales, siempre que se atiendan aspectos de representación, equidad, sesgos de participación y control sobre la información generada (Brown, 2017; Cho & Mutanga, 2021). En las zonas áridas, estas consideraciones adquieren especial relevancia; la distribución espacial de los recursos, la variabilidad de la precipitación, la dependencia de actividades agropecuarias y la presencia de sitios con valor cultural o ambiental generan relaciones territoriales complejas. Por ello, documentar dónde se localizan los lugares relevantes para distintos actores y qué significado tienen puede contribuir a construir diagnósticos socioambientales más integrales. El objetivo de este trabajo es describir las principales modalidades de cartografía participativa y presentar un ejemplo práctico de su aplicación en la Reserva de la Biosfera de Mapimí (RBM), mediante la identificación de lugares significativos y su integración para la determinación de áreas de relevancia socioambiental colectiva.

Materiales y métodos

El trabajo se estructuró en dos componentes: una revisión conceptual de modalidades de cartografía participativa y la presentación de un caso de aplicación desarrollado en la RBM. El primer componente consideró revisión de literatura especializada sobre la clasificación de las herramientas para llevar a cabo procedimientos cartográficos colectivos. El segundo componente se basó en una estrategia multiactor para identificar y caracterizar lugares significativos en la RBM, área natural protegida ubicada en el desierto chihuahuense, en las convergencias de los estados de Durango, Coahuila y Chihuahua. La metodología comprendió cuatro etapas: 1) mapeo multiactor (comunidades, academia, gobierno y asociaciones civiles) de lugares significativos (14 talleres); 2) clasificación morfométrica del relieve; 3) delimitación de zonas de valoración socioambiental colectiva y 4) validación con los grupos participantes. Dependiendo de las condiciones de participación, se utilizaron mapas impresos y herramientas de mapeo virtual (Felt maps - https://felt.com/).

Los lugares podían representarse como puntos, líneas o polígonos de acuerdo con su extensión espacial. Posteriormente, la información se georreferenció y se integró en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Para cada lugar se registró su localización, categoría y descripción. Las categorías potenciales incluyeron dimensiones socioambientales como estética, económica, calidad ambiental, salud, herencia, hogar, aprendizaje, recreación, social, espiritual y subsistencia (Brown and Reed, 2000).

Resultados y discusión

La revisión de literatura indica que la cartografía participativa puede organizarse como un continuo que va desde técnicas analógicas de baja complejidad tecnológica hasta plataformas digitales integradas con SIG (Figura 1). (a) Los croquis o cartografía manual son apropiados para explorar percepciones y conocimiento territorial; los cuales permiten que las personas dibujen directamente elementos, sitios, rutas o límites relevantes, generalmente sin requerir conocimientos especializados. (b) La cartografía basada en imágenes, ortofotos o mapas a escala se lleva a cabo mediante procesos de conversación en los cuales el conocimiento local es dibujado directamente sobre un mapa fotocopiado o una imagen de satélite con hojas transparentes colocadas sobre los mapas; permitiendo identificar puntos de referencia que ayudan a los miembros de la comunidad a posicionarse sobre el terreno. Esto permite a los miembros de la comunidad desarrollar mapas a escala y georreferenciados relativamente precisos, que pueden compararse directamente con otros mapas.



Figura 1. Principales modalidades de cartografía participativa las cuales muestran métodos rudimentarios hasta herramientas colaborativas en línea. a) cartografía manual, b) basada en mapas, c) 3D, d) sistemas de información geográfica y e) basada en internet (Fuente: Corbett, 2009).

Los modelos participativos 3D representan un método basado en la integración del conocimiento espacial local con información referente al relieve (c). En realidad, este tipo de metodología persigue crear una representación tridimensional (maqueta) del terreno con elevaciones y depresiones para que el participante se ubique de manera espacial considerando el relieve. (d) Los sistemas de información geográfica participativos (PGIS por sus siglas en inglés) y públicos participativos (PPGIS por sus siglas en inglés) incorporan herramientas SIG para integrar conocimiento local con datos espaciales digitales y facilitan la georreferenciación, análisis y visualización de información. La información geográfica voluntaria (VGI por sus siglas en inglés) permite la creación y recopilación de datos geográficos de manera voluntaria y colaborativa por parte de ciudadanos comunes, actúen o no de forma organizada. (e) Finalmente, la cartografía basada en internet son sistemas de información multimedia vinculados a los mapas similares a las tecnologías de los SIG, pero más sencillos de entender y gestionar. Este tipo de herramientas puede combinar la utilidad de los mapas con otros medios digitales incorporados, como vídeo, imágenes y audio, que facilitan la documentación de los elementos a cartografiar.

Estas modalidades no son excluyentes. Un mismo proyecto puede comenzar con mapas impresos o croquis y posteriormente digitalizar la información, georreferenciarla y analizarla mediante SIG. La elección del método debe responder al objetivo de investigación y a las características de los participantes. En el manejo de recursos naturales, estas modalidades pueden aplicarse para localizar fuentes y cuerpos de agua, zonas de pastoreo, sitios de importancia ecológica, áreas de conflicto, rutas de movilidad, lugares turísticos, sitios patrimoniales y espacios de valor cultural. También pueden emplearse para identificar cambios percibidos en el territorio y construir escenarios de manejo. La evidencia disponible señala, sin embargo, que los resultados pueden estar condicionados por quién participa, cómo se formula la actividad y qué capacidades tecnológicas existen, por lo que la documentación metodológica y la validación son componentes esenciales (Brown, 2017).

Respecto al caso de estudio, la cartografía participativa realizada en la RBM permitió obtener 622 registros de lugares significativos. Estos registros correspondieron a 267 lugares distintos, debido a que algunos sitios fueron identificados por más de un grupo participante. La contribución de los registros fue de 57% por comunidades locales, 28% por academia, 8% por gobierno y 7% por organizaciones no gubernamentales. La participación femenina representó 59% del total de participantes. Las categorías más frecuentes fueron calidad ambiental y económica, con 14% cada una, seguidas por aprendizaje y subsistencia, con 13% cada una. En conjunto, estas cuatro categorías representaron 54% de los registros. La distribución varió entre grupos: las comunidades locales destacaron principalmente dimensiones económicas, de subsistencia y calidad ambiental; la academia enfatizó aprendizaje, calidad ambiental y estética; el gobierno identificó con mayor frecuencia calidad ambiental, economía y dimensión social; y las organizaciones no gubernamentales señalaron aprendizaje, estética y calidad ambiental.

Una de las aportaciones centrales del procedimiento fue evitar que los lugares significativos quedaran como puntos aislados en un mapa. La figura 2 representa la distribución de los lugares significativos en el relieve y la densidad de puntos o mapa de calor denotando las áreas con mayor relevancia colectiva derivado de las menciones por los participantes. Este procedimiento permitió pasar de una representación de percepciones y valores sociales a una caracterización espacial integrada. El caso de Mapimí muestra que la principal fortaleza de la cartografía participativa no reside solamente en incorporar puntos adicionales a una base espacial, sino en permitir que diferentes grupos expresen qué lugares consideran relevantes y por qué. Esto aporta una dimensión social al análisis territorial y puede complementar información biofísica convencional.

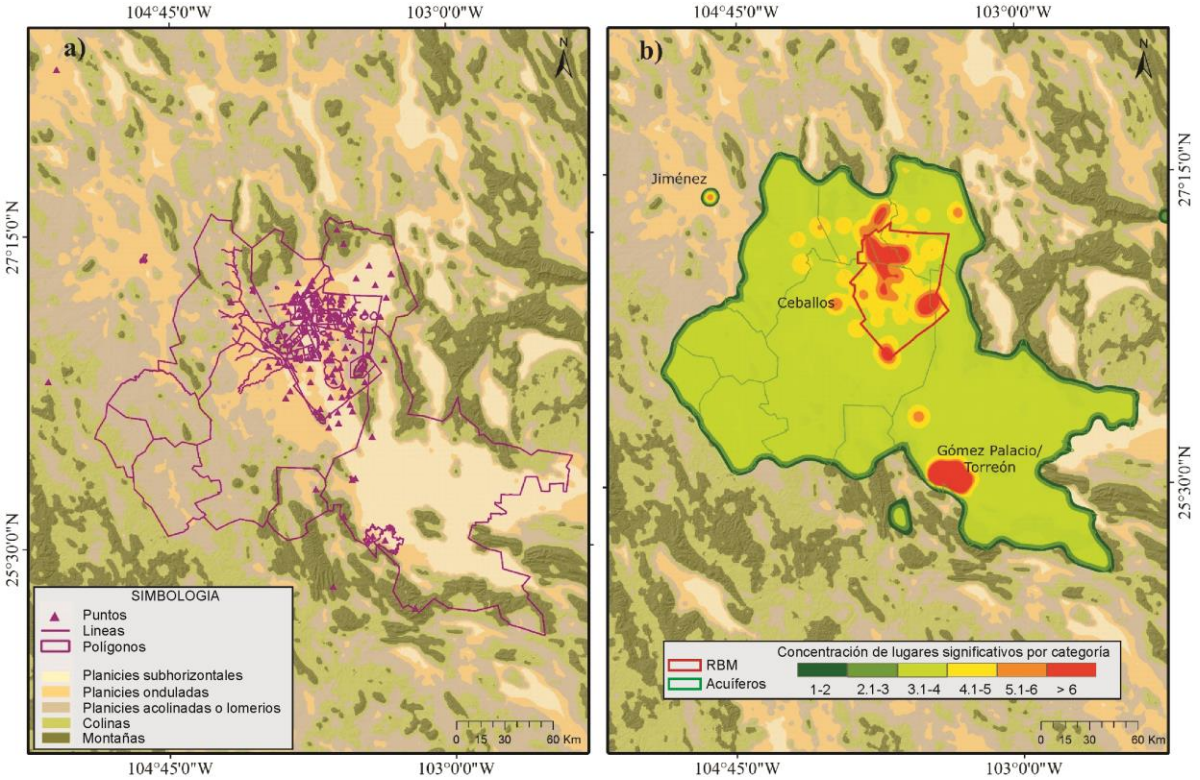


Figura 2. A) Distribución especial de los elementos identificados como relevantes desde diferentes categorías socioambientales y b) mapa de densidad de calor mostrando las áreas de interés y relevancia colectiva.

Así, un sitio señalado por su importancia para la subsistencia puede analizarse conjuntamente con las condiciones del relieve, disponibilidad de agua y cobertura vegetal; de manera similar, un lugar asociado con recreación, patrimonio o aprendizaje puede relacionarse con sus condiciones ambientales y accesibilidad. Ceballos, por ejemplo, fue identificado en relación con actividades económicas y con el acceso a servicios, recreación, comercio y espacios familiares. El ejido La Flor se relacionó con actividades de investigación participativa, monitoreo, restauración y atención a visitantes. La RBM, por su parte, fue asociada con identidad, pertenencia, capacitación, monitoreo y aprovechamiento/conservación de recursos. La validación con los grupos participantes permitió discutir la utilidad y pertinencia de la cartografía generada. Entre las aplicaciones señaladas se encontraron su posible uso como insumo para discutir ajustes o ampliaciones del área de conservación, actividades de educación Ambiental y monitoreo de fauna. Estas aplicaciones deben entenderse como posibilidades derivadas del proceso participativo y no como resultados automáticos de la cartografía.

No obstante, existen limitaciones. Los resultados participativos no deben interpretarse como una representación estadística de toda la población, ya que la selección de participantes, el contexto del taller y las habilidades de representación espacial pueden influir en los registros. Asimismo, algunos lugares pueden ser omitidos deliberadamente por razones de privacidad, sensibilidad cultural o protección de recursos. En la RBM, algunos sitios sensibles fueron excluidos mediante decisión colectiva asociados a cuestiones culturales o ecológicas. Por ello, la transparencia metodológica, la protección de información sensible y la validación por los propios participantes son fundamentales.

En términos de manejo de zonas áridas, el procedimiento puede replicarse en otras regiones mediante una secuencia sencilla: identificar actores, seleccionar la modalidad de cartografía adecuada, registrar lugares y significados, georreferenciar la información, integrarla con capas ambientales, construir unidades de análisis y validar los resultados. La cartografía participativa se convierte así en un componente de sistemas de información territorial orientados al manejo adaptativo y no solamente en una herramienta de consulta.

Conclusiones

La cartografía participativa comprende diversas modalidades que pueden emplearse de manera complementaria de acuerdo con los objetivos, actores y condiciones territoriales. Los mapas manuales y croquis facilitan la expresión del conocimiento local; los mapas impresos permiten relacionar y asociarse directamente con el territorio de una manera visual, las herramientas PGIS, PPGIS y VGI permiten integrar ese conocimiento en entornos SIG y ampliar la producción distribuida y colectiva de información espacial. El estudio de caso demuestra que la identificación participativa de lugares significativos puede aportar información relevante sobre las dimensiones económicas, ambientales, culturales, sociales, educativas, recreativas y de subsistencia del territorio. El principal aporte metodológico consiste en articular participación social, información espacial y análisis ambiental en una secuencia que puede apoyar procesos de diagnóstico, educación ambiental, monitoreo, conservación y manejo adaptativo. En zonas áridas, donde las relaciones entre sociedad, agua, vegetación y variabilidad climática son particularmente estrechas, esta integración puede contribuir a construir representaciones territoriales más completas y sensibles al conocimiento de quienes utilizan y habitan el territorio.

Referencias

Azzurro, E., Cerri, J. (2021). Participatory mapping of invasive species: A demonstration in a coastal lagoon. Marine Policy 126, 104412. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104412

Brown, G., Reed, P. (2000). Validation of a forest values typology for use in national forest planning. For Sci 46(2):240–247

Brown, G. (2017). A Review of Sampling Effects and Response Bias in Internet Participatory Mapping (PPGIS/PGIS/VGI). Trans. in GIS, 21: 39-56. https://doi.org/10.1111/tgis.12207

Brown, G. and Kyttäb, M. (2018). Key issues and priorities in participatory mapping: Toward integration or increased specialization? Applied Geography 95 (2018) 1–8. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.04.002

Brown, G., Reed, P., & Raymond, C. M. (2020). Mapping place values: 10 lessons from two decades of public participation GIS empirical research. Applied Geography, 116, 102156. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102156

Cho, M. A., & Mutanga, O. (2021). Understanding participatory GIS application in rangeland use planning: A review of PGIS practice in Africa. Journal of Land Use Science, 16(2), 174–187. https://doi.org/10.1080/1747423X.2021.1882598

Corbett, J. (2009). Good practices in participatory mapping: A review prepared for the international fund for agricultural development (IFAD). Available at: https://www.ifad.org/documents/10180/d1383979–4976-4c8e-ba5d-53419e37cbcc

Loerzel, J. L., Goedeke, T.L., Dillard, M.K., Brown, G. (2017). SCUBA divers above the waterline: using participatory mapping of coral reef conditions to inform reef management, Marine Policy 76 79–89. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.11.003

CONOCER PARA CONSERVAR: AVES DE UN ÁREA DESTINADA VOLUNTARIAMENTE A LA CONSERVACIÓN EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE

Judith Aurora Saldaña-Esparza[1], Jorge E. Ramírez-Albores[2], David Ramiro Aguillón-Gutiérrez[3]*

[1]Centro de Estudios e Investigaciones Interdisciplinarios, Universidad Autónoma de Coahuila. Ciudad Universitaria, Carr. México km 13, C.P. 25350, Arteaga, Coahuila, México. [2]Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, Saltillo, 25315, Coahuila, México. [3]Laboratorio de Bioindicadores. Centro de Investigación y Jardín Etnobiológico. Dr. Francisco González No. 37, C.P. 27480, Viesca, Coahuila de Zaragoza, México. *Autor para correspondencia: david_aguillon@uadec.edu.mx

Introducción

Las líneas base de biodiversidad son fundamentales para documentar la composición de las comunidades y establecer referencias para su seguimiento y conservación (Mihoub et al., 2017; Stephenson & Stengel, 2020). Las aves son particularmente útiles para estos propósitos debido a su sensibilidad a las modificaciones ambientales y a su diversidad de funciones ecológicas (Şekercioğlu, 2006).

El Desierto Chihuahuense presenta una elevada diversidad biológica y ambiental, que sustenta comunidades de aves residentes y migratorias (Navarro-Sigüenza et al., 2014; Encina-Domínguez et al., 2018). En Coahuila se han registrado más de 400 especies de aves; sin embargo, la información disponible es desigual entre localidades y áreas de conservación (Garza de León et al., 2007; Contreras-Balderas et al., 2018). Las Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación requieren información biológica local que permita establecer referencias para su seguimiento (Peña-Azcona et al., 2022).

El ADVC Ejido Tomás Garrido Canabal, Viesca, Coahuila, carecía de inventarios avifaunísticos publicados. Por ello, el objetivo de este trabajo fue documentar la riqueza y composición taxonómica, estacional y trófica de su avifauna, identificar especies de interés para la conservación y evaluar exploratoriamente la completitud del inventario, como base para su monitoreo a largo plazo.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Área Destinada Voluntariamente a la Conservación (ADVC) Ejido Tomás Garrido Canabal, municipio de Viesca, Coahuila, México, (aproximadamente los 25°03′59.61″ y 25°14′59.14″ N de latitud y 102°48′35.64″ y 102°40′12.23″ W de longitud). La vegetación está dominada por matorral desértico rosetófilo y micrófilo.

El inventario se realizó entre enero de 2023 y febrero de 2026 mediante 27 eventos de búsqueda en cuatro sectores del área. Se efectuaron búsquedas intensivas mediante detecciones visuales y auditivas entre las 06:00–09:00 h y, complementariamente, entre las 17:00–19:00 h teniendo un esfuerzo acumulado de 108 h.

Las especies se identificaron mediante observación directa y reconocimiento auditivo, con apoyo de guías de campo y evidencia fotográfica cuando fue posible. La nomenclatura y el arreglo taxonómico siguieron la *Check-list of North American Birds* de la American Ornithological Society (Chesser et al., 2025). El estatus estacional se clasificó como residente, migratoria de invierno, migratoria de verano o transitoria (Howell & Webb, 1995); los gremios tróficos se asignaron en seis categorías (González-Salazar et al., 2014). Las categorías de riesgo se determinaron conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la IUCN.

Se calculó la riqueza observada y la composición de especies por orden, familia, estacionalidad y gremio trófico. Para evaluar exploratoriamente la completitud del inventario se construyó una matriz de incidencia por evento y una curva de acumulación de especies, y se estimó la riqueza mediante Chao2, Jackknife 2 y Bootstrap. También se contabilizaron las especies registradas en uno (Q1) y dos eventos (Q2). Debido a que el esfuerzo no estuvo estrictamente estandarizado entre eventos, estos estimadores se interpretaron como herramientas exploratorias.

Resultados y discusión

Se registraron 77 especies de aves, pertenecientes a 10 órdenes y 28 familias. *Passeriformes* presentó la mayor riqueza específica, seguido de *Accipitriformes* y *Apodiformes*. Las familias Tyrannidae, Accipitridae y Parulidae concentraron el mayor número de especies. Esta riqueza constituye la primera referencia sistemática para el ADVC Ejido Tomás Garrido Canabal, donde previamente no se contaba con un inventario avifaunístico publicado. Aunque el número de especies fue menor al registrado en la Reserva de la Biosfera Mapimí (149 especies; Hernández-Martínez et al., 2019), las diferencias en cobertura espacial y métodos de muestreo impiden establecer una comparación directa entre ambos sitios.

Las especies residentes representaron 61.0 % de la riqueza, seguidas por migratorias de invierno (27.3 %), migratorias de verano (6.5 %) y transitorias (5.2 %). Este componente estacional evidencia que el área es utilizada por especies con diferentes patrones de permanencia, por lo que el monitoreo futuro deberá considerar distintas épocas del año. Las especies insectívoras (55.8 %) y granívoras (29.9 %) representaron conjuntamente 85.7 % de la riqueza, describiendo una comunidad dominada por estos dos gremios; sin embargo, estos valores corresponden a riqueza de especies y no permiten inferir abundancia ni disponibilidad de recursos alimentarios.

Se registraron cinco especies incluidas en alguna categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010: *Aquila chrysaetos*, *Astur cooperii*, *Parabuteo unicinctus*, *Passerina ciris* y *Vireo atricapilla*. Esta última fue además la única especie clasificada como Casi Amenazada (NT) en la IUCN utilizada en el estudio. Estos registros identifican taxones de interés para futuros programas de seguimiento; no obstante, su presencia por sí sola no permite establecer que el área funcione como refugio, sitio reproductivo o hábitat de alta calidad.

La curva de acumulación no alcanzó una asíntota evidente después de los 27 eventos. La riqueza observada fue de 77 especies, mientras que los estimadores produjeron valores aproximados de 94 para Bootstrap, 151 para Jackknife 2 y 188 para Chao2. Además, 43 especies fueron registradas en un solo evento y ocho en dos eventos. Estos resultados sugieren que la riqueza documentada puede incrementarse con mayor esfuerzo de muestreo; sin embargo, debido a la falta de estandarización estricta entre eventos, los estimadores deben interpretarse de manera exploratoria y no como predicciones de la riqueza total del área.

Conclusiones

El inventario permitió establecer una línea base de la avifauna del ADVC Ejido Tomás Garrido Canabal, con 77 especies registradas y cinco incluidas en alguna categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010. La composición estacional y la ausencia de una asíntota evidente en la curva de acumulación indican que la comunidad puede incorporar especies adicionales con mayor esfuerzo de muestreo. Estos resultados proporcionan una referencia inicial para orientar el monitoreo continuo y estandarizado de la avifauna, así como la identificación de especies de interés para la conservación en el área.

Referencias

Chesser RT, Billerman SM, Burns KJ, Cicero C, Dunn JL, Hernández-Baños BE, Jiménez RA, Johnson O, Mason NA, Rasmussen PC. (2025). Check-list of North American Birds (online). American Ornithological Society. https://checklist.americanornithology.org/taxa/

Contreras-Balderas AJ, Cotera-Correa M, García-Deras GM, García-Salas JA, Guerrero-Madriles M, López de Aquino S, Heredia-Pineda FJ, Lozano-Cavazos EA, Morán-Rosales FI, Scott-Morales LM. (2018). Aves. Pp. 361-374. En Cruz-Angón A, Nájera-Cordero KC, Canales-Gutiérrez E (eds.). La biodiversidad en Coahuila. Estudio de Estado, vol. II. CONABIO/Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza. México.

Encina-Domínguez JA, Valdés-Reyna J, Villarreal-Quintanilla JA. (2018). Tipos de vegetación y comunidades vegetales. Pp. 89-110. En Cruz-Angón A, Nájera-Cordero KC, Canales-Gutiérrez E (eds.). La biodiversidad en Coahuila. Estudio de Estado, vol. II. CONABIO/Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza. México.

Garza de León A, Morán I, Valdés F, Tinajero R. (2007). Coahuila. Pp. 98-136. En Ortiz-Pulido R, Navarro-Sigüenza A, Gómez de Silva H, Rojas-Soto O, Peterson TA (eds.). Avifaunas estatales de México. CIPAMEX. Pachuca, Hidalgo, México.

González-Salazar C, Martínez-Meyer E, López-Santiago G. (2014). Clasificación jerárquica de gremios tróficos para aves y mamíferos de Norteamérica. Revista Mexicana de Biodiversidad 85:931-941. https://doi.org/10.7550/rmb.38023

Hernández-Martínez JE, Villarreal Wislar C, García Morales R, Guzmán SM, Ibarra Vázquez EN, Ramos Peña B, Barraza Morán SP, Maldonado Amaya MC. (2019). Monitoreo de aves en la Reserva de la Biosfera Mapimí. Huitzil Revista Mexicana de Ornitología 20: e-507. https://doi.org/10.28947/hrmo.2019.20.2.437

Howell SNG, Webb S. (1995). A Guide to the Birds of Mexico and Northern Central America. Oxford University Press. New York, New York.

IUCN. (2026). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2026-1. https://www.iucnredlist.org. Consultado el 12 de agosto de 2026.

Mihoub JB, Henle K, Titeux N, Brotons L, Brummitt NA, Schmeller DS. (2017). Setting temporal baselines for biodiversity: the limits of available monitoring data for capturing the full impact of anthropogenic pressures. Scientific Reports 7:41591. https://doi.org/10.1038/srep41591

Navarro-Sigüenza AG, Rebón-Gallardo MF, Gordillo-Martínez A, Peterson AT, Berlanga-García H, Sánchez-González LA. (2014). Biodiversidad de aves en México. Revista Mexicana de Biodiversidad 85: S476-S495. https://doi.org/10.7550/rmb.41882

Peña-Azcona I, Ortega-Argueta A, García-Barrios R, Elizondo C. (2022). Áreas de conservación voluntaria en México: alcances y desafíos. Revista de Ciencias Ambientales 56:122-147. https://doi.org/10.15359/rca.56-2.7

Şekercioğlu ÇH. (2006). Increasing awareness of avian ecological function. Trends in Ecology & Evolution 21:464-471. https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.05.007

SEMARNAT. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. México. https://dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm. Consultado el 12 de agosto de 2026.

Stephenson PJ, Stengel C. (2020). An inventory of biodiversity data sources for conservation monitoring. PLoS One 15: e0242923. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242923

TEMPERATURA SUPERFICIAL DE LOS BOSQUES DE PINO DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL DURANTE LAS ÚLTIMAS TRES DÉCADAS

Sarahi Sandoval Espinoza*, Jonathan G. Escobar Flores, Eduardo Sánchez-Ortiz

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, C. Sigma 119, Fracc. 20 de Noviembre II, Durango, Dgo., México. C.P.34220. *Autor de correspondencia: sarahisandovale@gmail.com

Introducción

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha declarado que las zonas de alta montaña están entre las regiones más afectadas por el cambio climático (Beniston 2003; Adler et al., 2022). Las montañas son un elemento importante del sistema climático y un elemento clave del ciclo hidrológico, los cambios en los regímenes climáticos tendrían un fuerte impacto en los sistemas fluviales.

La Temperatura superficial de la tierra (LST) es una variable clave en estudios climáticos, hidrológicos, ecológicos, biofísicos y biogeoquímicos (Hansen et al., 2006; Schmugge y Becker, 1991; Running et al., 2004). A escala global, las estimaciones LST a partir de sensores infrarrojos térmicos son una opción popular debido a su alta precisión y resolución espacial particularmente en áreas remotas e inaccesibles y proporcionan una alternativa útil a las observaciones *in situ* (Ackerman, 1998; Wright et al, 2005) y tienen la posibilidad de realizar mediciones repetidas (White et al., 2016), por lo que en estudios multitemporales permite realizar un seguimiento eficaz de los cambios provocados por el cambio climático.

En México los bosques de pino se encuentran principalmente en regiones montañosas con climas templados y semihúmedos (Rzedowski, 1998). Estos bosques templados cubren el 21 % del país. Desafortunadamente los bosques templados se han convertido en usos agrícolas o se están utilizando para la ganadería (Mas et al. 2004). Estos bosques también son vulnerables a los cambios climáticos a largo plazo. Se predice que en México se perderá un 13 % adicional de los bosques templados debido a los efectos del cambio climático (Villers y Trejo. 1998).

Una sierra en México que alberga ecosistemas templados y semifríos es la Sierra Madre Occidental (SMO) la cual es el complejo montañoso continuo más largo de México que se extiende desde cerca de la frontera con Estados Unidos hasta el norte de Jalisco y cubre un área de 251,648 km^2. El objetivo de este estudio fue cuantificar los cambios mensuales de la temperatura superficial de los bosques de pino de la SMO, calculamos las anomalías térmicas, que ayudaran a identificar tendencias más amplias de calentamiento ó enfriamiento, el estudio se realizó mensualmente desde los años 2000 hasta el 2025.

Materiales y métodos

El área de estudio fueron los pinos de la Sierra Madre Occidental de la capa de uso de suelo y vegetación Serie VII. Los cuales se encuentran a más de 2000 msnm (Figura 1).

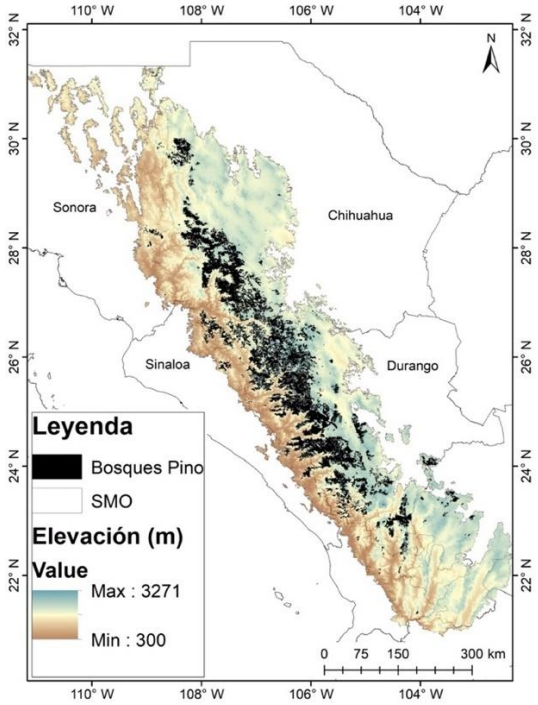


Figura 1. Área de estudio. Bosques de pino de la Sierra Madre Occidental.

Se utilizaron imágenes del satélite MODIS sensor Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Land Surface Temperature/Emissivity Monthly (MOD11B3) Version 6.1 (Wan & Li, 2011) obtenidos de la página web (https://search.earthdata.nasa.gov/). Se obtuvieron los valores de LST de todos los meses del año cada cinco años, a partir del 2000 hasta el 2025. Con un total de 80 imágenes MOD11B3. Siguiendo la Ec. 1.

$$LST\ in\ celcius = raster\ of\ LST * 0.02 - 273.15 \quad (1)$$

El uso de las anomalías ayuda a identificar las tendencias más amplias de calentamiento y enfriamiento en la tierra. Un método útil para analizar las variaciones temporales de la Temperatura superficial de los bosques es la determinación de las desviaciones del valor de un píxel para un determinado período y el promedio de la serie histórica para ese mismo pixel. Se utilizó la Ec. 2 para detectar las anomalías de forma independiente para los años 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 y 2025 (Eq 2). Donde LST_i indica el valor del índice correspondiente a un determinado período *i* y *LST* es el valor promedio para ese período (González-Alonso et al., 2004; Jamali et al. 2022). Se multiplica por 100 para estimar el porcentaje de desviación de cada píxel respecto del promedio anual, pixeles mayores de 100 se consideran valores anómalos de LST. Este análisis se realizó en el software Matlab 2024a.

$$\Delta LST_{i=} \frac{LST_i}{LST} \cdot 100 \quad (2)$$

Resultados y Discusión

A lo largo de 25 años se encontraron pixeles entre menos de 10 grados hasta más de 40ºC. Desde enero del 2020 se encontraron temperaturas por arriba de los 30ºC. Desde enero hasta noviembre se encontraron pixeles con más de 30-35 ºC. Y pixeles de más de 40ºC para el mes de abril hasta agosto de los años 2000 al 2020 (Fig. 2).

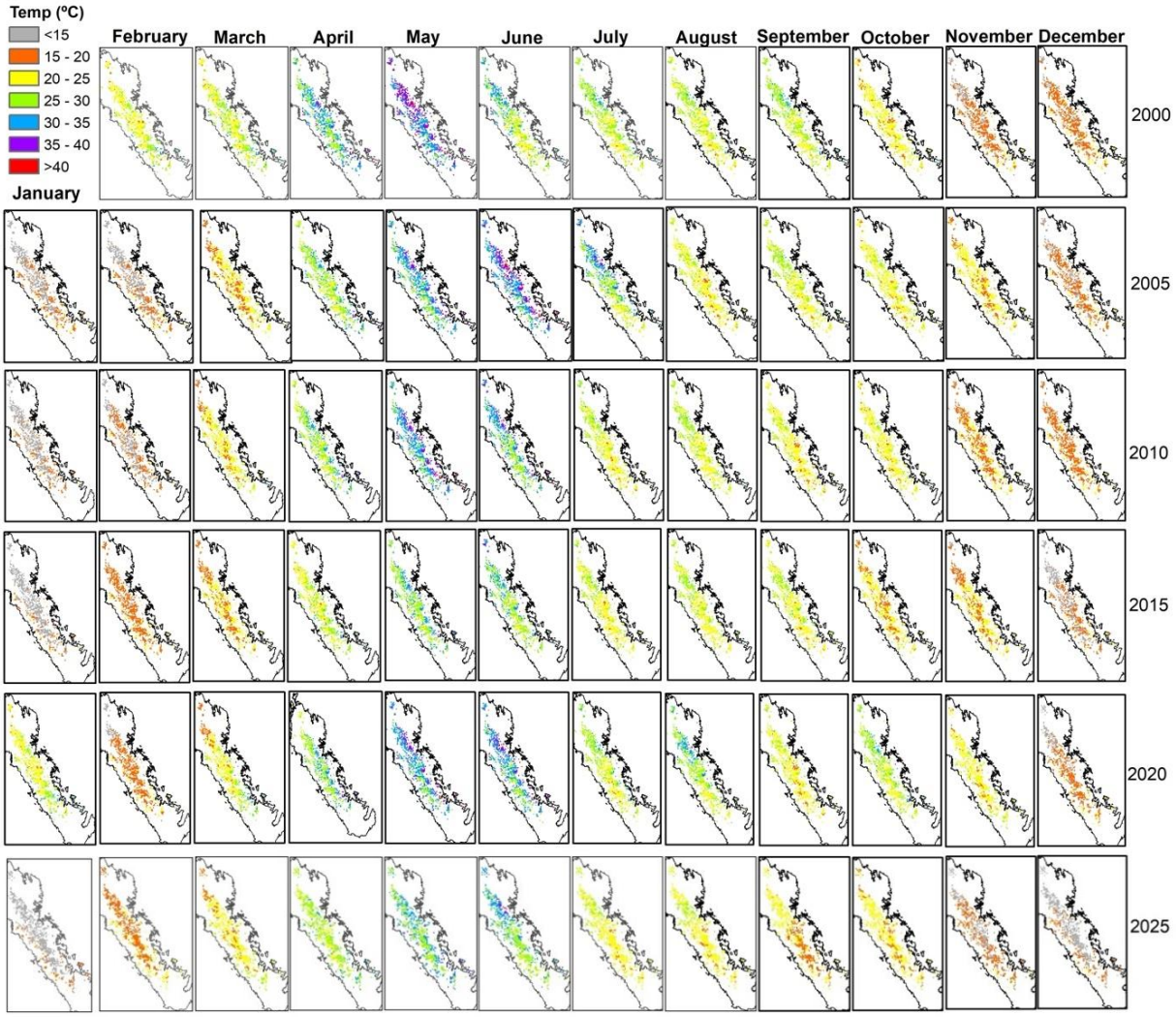


Figura 2. Temperatura superficial de los bosques de pino en la Sierra Madre Occidental durante los años 2000 al 2025.

En la cobertura de bosque de pino los cuales se encuentran por arriba de los 2000 metros, los meses con anomalías de LST fueron prácticamente desde marzo hasta octubre, sin embargo las mayores anomalías fueron en los meses de abril a mayo con valores de ΔLST > 130, y el mes con el mayor valor de anomalía fue julio del 2015 (ΔLST = 177.21), con temperaturas máximas de 32 °C (Figura 3). En el ACP los dos primeros componentes acumularon un 59.15 % de varianza, y en el grafico se identifican dos grupos, el primer grupo compone los meses con los valores de LST más altos desde los 30.49 °C (septiembre del 2010) hasta valores de LST superiores a 40 °C (mayo 2000 = 46.97 °C , mayo 2005 =44.71 °C, mayo 2010 = 46.25 °C). El segundo grupo está compuesto por tres meses del año 2020 (junio, septiembre y octubre) en donde destacan valores máximos de LST de junio de hasta 47.53 °C (Figura 4). En las regiones montañosas localizadas en Norte América como la Sierra Madre Occidental, los incrementos de LST se han relacionado con eventos climáticos como el Niño, la Niña y la oscilación climática del Atlántico Norte, lo cual se ha reflejado que entre el 2002 y 2018 un incremento de LST de 0.02 ºC/año, incluso con variaciones extremas de hasta 6 grados en el oeste y regiones frías (Yan et al. 2020).

Las razones de encontrar estas anomalías de LST en el bosque de pino se relacionan con la perdida de la cobertura forestal, por ejemplo, Novo-Fernández et al. (2018) reportan una pérdida del bosque de pino en la SMO del 34% en el periodo de 1986-2012, en donde las causas principales de estas pérdidas son los incendios forestales, tala, cambios del uso del suelo, aumento de plantaciones forestales y vegetación secundaria (Rosete-Vergés et al., 2014).

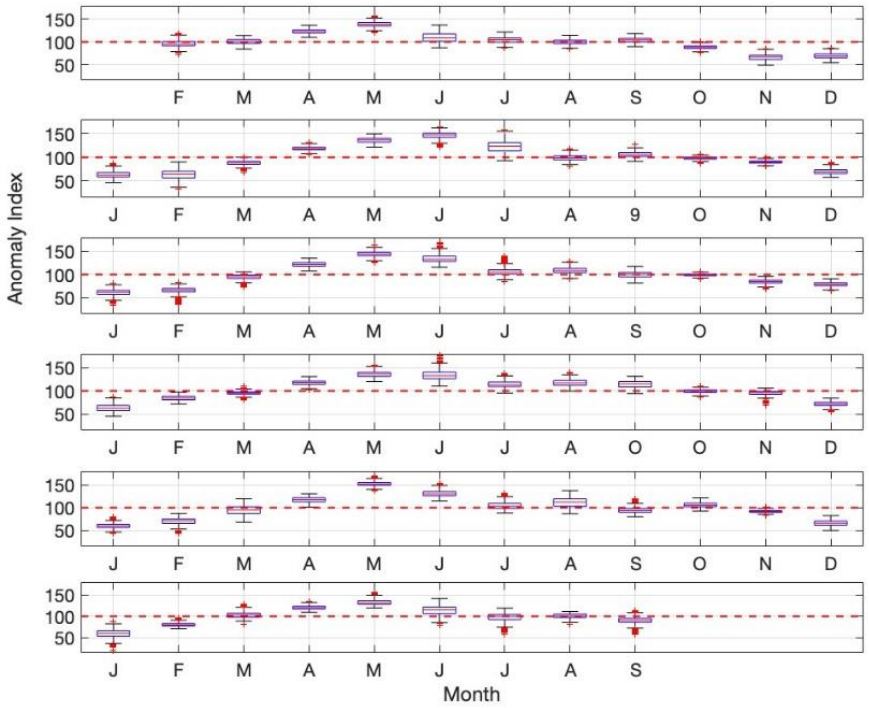


Figure 3. Índice de anomalía en el bosque de Pino.

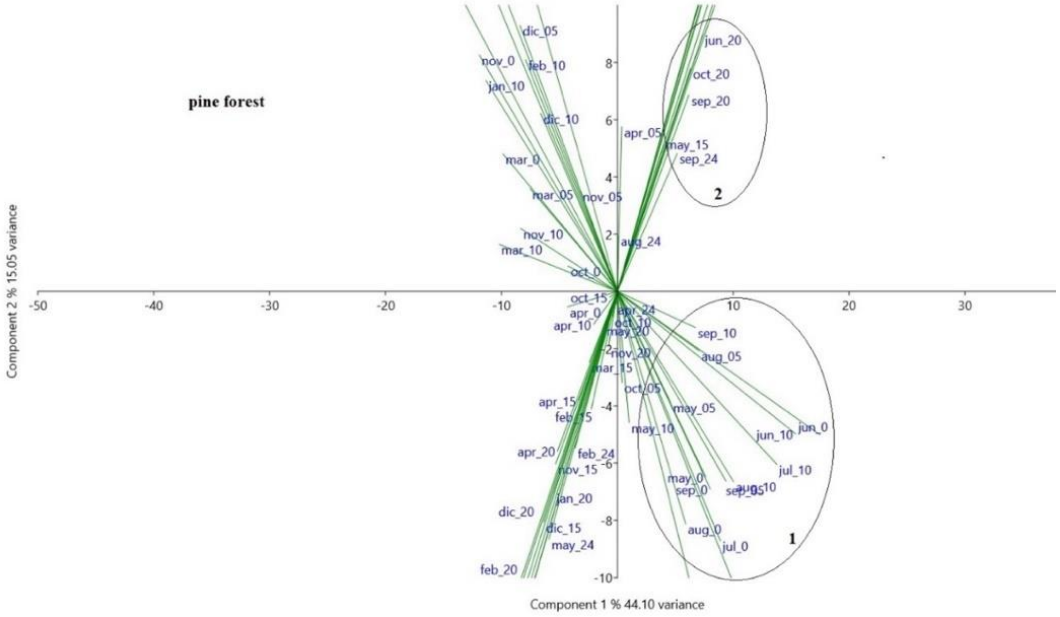


Figura 4. PCA en el bosque de Pinos de la SMO.

Conclusión

En el caso particular del bosque de pino se esperaba que no existieran anomalías de LST; sin embargo, se presentaron anomalías en todas las series de tiempo (2020-2025) en meses que corresponden a las estaciones de primavera y el inicio del verano.

Referencias

Ackerman, S. A., Strabala, K. I., Menzel, W. P., Frey, R. A., Moeller, C. C., & Gumley, L. E. (1998). Discriminating clear sky from clouds with MODIS. *J. Geophys. Res. Atmos. 103*, 32141–32157.

Adler, C., Wester, P., Bhatt, I., Huggel, C., Insarov, G., Morecroft, M., Muccione, V., Prakash, A., Alcantara-Ayala, I., Allen, S. K., Bader, M., Bigler, S., Camac, J., Chakraborty, R., Sanchez, A. C., Cuvi, N., Drenkhan, F., Hussain, A., Maharjan, A., & Werners, S. (2022). *Cross chapter paper 5: Mountains*. In Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability working group II contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (pp. 2273–2318). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844.022

Beniston M., (2003). Climatic change in mountain regions: A review of possible impacts. *Climatic Change*, *59*: 5–31.

Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D. W., & Medina-Elizade M. (2006). Global temperature change, *Proc. Natl. Acad. Sci. 103*(14), 288–293.

Mas, J. F. (2005). Assessing protected area effectiveness using surrounding (buffer) areas environmentally similar to the target area. *Environmental Monitoring and Assessment*, *105*, 69–80.

Novo-Fernández, A., Shannon F., Wehenkel, C., López-Serrano, P. M., Molinier, M., & López-Sánchez C. A. (2018). Landsat time series analysis for temperate forest cover change detection in the Sierra Madre Occidental, Durango, Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *73*, 230-244.

Rosete-Vergés, F.A., Pérez-Damián, J.L., Villalobos-Delgado, M., E.N. Navarro-Salas, Salinas-Chávez, E., & R. Remond-Noa. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera Bosques, 20*, 21-35.

Running, S. W., Nemani, R. R., Heinsch, F. A., Zhao, M., Reeves, M. & Hashimoto H. (2004), A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production, *BioScience, 54,* 547–560, doi:10.1641/0006-3568(2004)054[0547:ACSMOG]2.0.CO;2.

Rzedowski, J., 1998. Reflexiones y experiencias sobre el trabajo florístico en México. G. Zamudio, y G. Sánchez D. (Comps.). Entre las plantas y la historia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM; Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México y Sociedad Botánica de México. México, DF. pp. 182-195.

Schmugge, T. J., & Becker, F. (1991). Remote sensing observations for the monitoring of land-surface fluxes and water budgets, in Land Surface Evaporation: Measurements and Parameterization, edited by T. J. Schmugge, and J. C. Andre, Springer, New York.

Villers-Ruíz L., & Trejo-Vázquez, I. (1998). Climate change on mexican forest and natural áreas. *Global Envoronmental Change*, *8*(2), 141-157.

White, J. C., Coops, N. C., Wulder, M. A., Vastaranta, M., Hilker, T., & Tompalski, P. (2016). Remote Sensing Technologies for Enhancing Forest Inventories: A Review. *Can. J. Remote Sens*. 42, 619–641.

Wright, R., Carn, S. A., Flynn, L. P. (2005). A satellite chronology of the May–June 2003 eruption of Anatahan volcano. *J. Volcanol. Geotherm. Res. 146*, 102–116.

CONTEO AUTOMATICO DE AVES ACUATICAS MEDIANTE EL USO DE VEHICULOS AREOS NO TRIPULADOS

Jonathan G. Escobar Flores[1*] , Sarahi Sandoval[2]

[1]Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Durango, Dgo., Calle Sigma 119 Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Dgo. 34220, México. [2]Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR, Unidad Durango, Calle Sigma 119 Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Dgo. 34220, México. *Autor de correspondencia: jescobarf@ipn.mx

Introducción

El monitoreo de las comunidades de aves acuáticas es fundamental en la biología de la conservación y la gestión de humedales. Debido a su alta movilidad y sensibilidad a las modificaciones del entorno, estas especies funcionan como bioindicadores de la integridad ecológica y de los efectos del cambio climático global (Green & Elmberg, 2014). Por lo tanto, la obtención de estimaciones poblacionales precisas es un requisito indispensable para diseñar estrategias de manejo efectivas y evaluar el estado de conservación de los ecosistemas acuáticos (Valdez y Ortega, 2014).

Históricamente, la cuantificación de estas poblaciones ha dependido de métodos de censo tradicionales, tales como los conteos visuales desde puntos fijos en tierra, recorridos en embarcaciones y censos aéreos mediante aeronaves tripuladas (Bibby et al., 2000). A pesar de su extenso uso y de haber proporcionado series temporales de datos valiosas, estas metodologías presentan limitaciones metodológicas. Entre ellas destacan el sesgo del observador, la subestimación de la abundancia en bandadas densas, la inaccesibilidad geográfica de terrenos y el riesgo humano inherente a los vuelos tripulados a baja altitud (Gregory et al., 2004). Asimismo, la presencia física de investigadores a menudo induce estrés y dispersión en las colonias, alterando los patrones de distribución y el comportamiento natural de la fauna.

En la última década los vehículos aéreos no tripulados (VANT o drones) ha revolucionado los métodos de muestreo ecológico, emergiendo como una alternativa tecnológica rigurosa frente a los censos convencionales (Hodgson et al., 2016). La integración de los drones en el monitoreo de aves acuáticas ofrece ventajas metodológicas y operativas críticas e.g. la captura de ortomosaicos y fotografías de alta resolución espacial permite realizar conteos en gabinete, disminuyendo la variabilidad inter-observador y viabilizando el uso de algoritmos de aprendizaje profundo (*deep learning*) para el censo automatizado (Chabot & Bird, 2015). Por lo tanto el objetivo de esta investigación fue el conteo automatizado de aves acuáticas mediante el uso de dos tipos de VANT, un cuadroptero que tiene la ventaja de realizar vuelos automatizados y un ala fija que se caracteriza por no realizar ruidos a alturas mayores a 90 m, esto con la finalidad de determinar cuál VANT es mejor para un estudio poblacional de aves acuáticas.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Estero La Escopoma un humedal costero de 480 hectáreas ubicado al norte de la ciudad de Mazatlán, Sinaloa, México (coordenadas de referencia: 22º53’ N; 106º 55ºW). El ecosistemas es parte del sitio Ramsar: “Playa Tortuguera El Verde Camacho”. El sitio es un refugio crítico que alberga más de 200 especies de aves, tanto residentes como migratorias, lo que genera escenarios de alta complejidad espectral debido a la densa vegetación circundante.

Para la captura del material fotográfico se utilizaron dos tipos de VANT, el primero es un ala fija marca Parrot Disco el cual tiene un sensor RGB de alta resolución (12 MP), y un VANT tipo cuadroptero DJI Inspire 1.0 con un sensor también RGB pero con resolución de 28 MP. Las misiones de vuelo se realizaron en 100 hectáreas sobre el humedal, programando los vuelos a las 09:00 hrs para optimizar las condiciones de iluminación y minimizar el efecto del viento y las sombras proyectadas. Se establecieron cuatro altitudes de vuelo, 30 m, 50 m, 70 m y 90 m, esto con la finalidad de medir el ruido producido por el VANT y observar el comportamiento de las aves. El solapamiento (*overlap*) configurado será de 80% longitudinal y 75% lateral.



Figura 1. Tipos de VANT que se utilizaron para el conteo de aves y sus características de cámara y vuelo.

Las imágenes individuales se procesarán mediante software de fotogrametría Agisoft Metashape para generar el ortomosaico digital. El ortomosaico se proyectó en el sistema de referencia de coordenadas WGS 84 / UTM Zona 13N y se importó al software ENVI 5.3. Para iniciar el conteo de aves sobre el ortomosaico primero se ejecutó el algoritmo de Análisis Basado en Objetos (OBIA), bajo las siguientes etapas: 1) *segmentación de la imagen,* en lugar de analizar píxeles individuales, se aplicará el algoritmo de Segmentación Multirresolución(*Multi-resolution segmentation*) para agrupar píxeles adyacentes en objetos espacial y espectralmente homogéneos, 2) *definición de criterios de forma*, se eligió un nivel intermedio con valores de RGB menor a 0.3 para equilibrar la respuesta del color e impedir que la geometría irregular del agua o la vegetación rompa los límites del objeto "ave", 3) *extracción de atributos*, la clasificación de los objetivos que se definen como aves se determinaron mediante el clasificador de Máquina de Soporte Vectorial (SVM), utilizando muestras de entrenamiento recolectadas e identificadas previamente mediante validación visual en el ortomosaico. Las clases finales serán: *Ave Acuática* y *No-Ave* (falsos positivos como rocas, espuma o basura).

Para validar la fiabilidad del algoritmo OBIA se seleccionó de manera aleatoria zonas testigo independientes dentro del ortomosaico. Dos expertos ornitólogos realizarán un conteo e identificación visual manual sobre dichas zonas para establecer la "verdad de terreno" (*ground truth*).SE calculo la matriz de confusión para determinar la Exactitud Global (OA), el Índice Kappa de Cohen.

Resultados y discusión

En los vuelos se identificó una parvada de espátulas rosadas (*Platalea ajaja*) de aproximadamente 120 organismos las cuales se utilizaron como referencia. El VANT que realizo menos ruido fue el ala fija (Figura 2) principalmente a una altura mayor de 90 metros el ruido no afecto a las aves y fue posible realizar un acercamiento, mientras que el VANT tipo cuadroptero en las 4 altitudes de vuelo se observó que las aves se asustaban y la aproximación a la parvada no se pudo realizar. Otro aspecto a considerar respecto a la altura de vuelo, se recomienda no realizar vuelos a altitudes menores a 30 metros, porque ocasionan que las aves se desplacen desde el inicio de muestreo, como lo reportan Kamm y Reed (2019), las aves se desplazan más rápidos cuando el ángulo de aproximación de drone fue mayor a 60°.

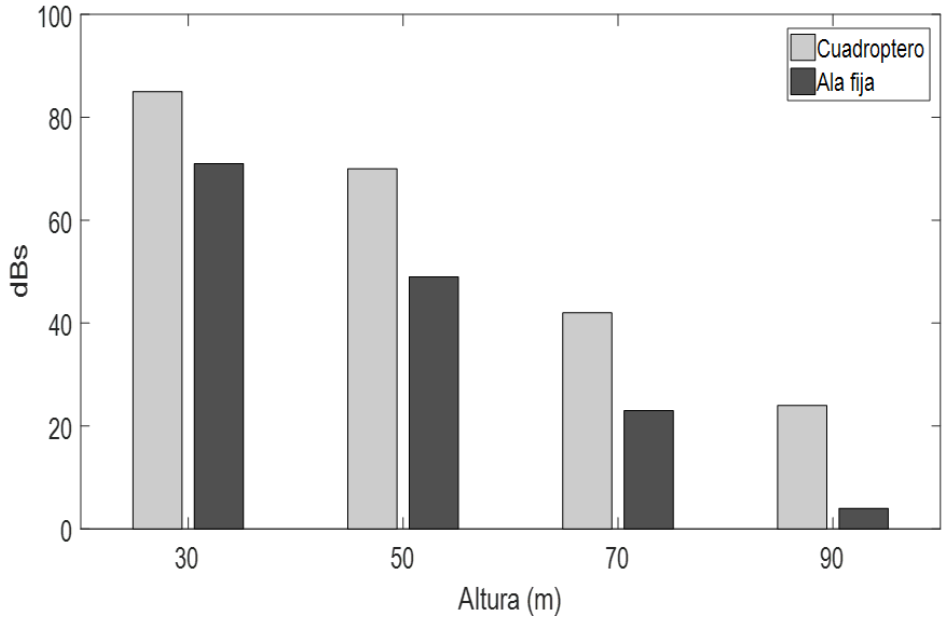


Figura 2. Comparación de niveles de ruido (decibeles) entre las dos plataformas VANT que se utilizaron.

Respecto a la segmentación de la imagen, se puede observar en la figura 3 una clara separabilidad entre las clases vegetación, dunas, infraestructura y el océano. También se observa en formas de puntos blancos las espátulas rosadas que al pasar al segmentador se obtuvo una precisión global de 92% y con un valor de Kappa de 0.92, lo cual indica una muy buena concordancia entre el registro de un ave de forma directa y la realizada por el algoritmo. Se lograron detectar con el algoritmo OBIA 120 individuos mientras que en campo en la misma toma solo se registraron de forma visual 68% (Figura 3 y Figura 4).

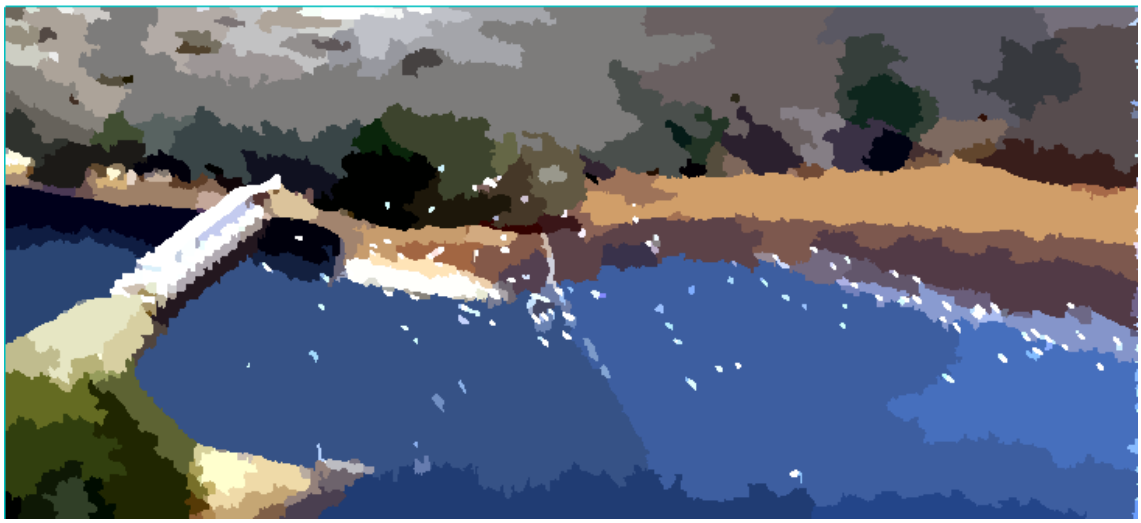


Figura 3. Proceso de segmentación de objetos con características espectrales y texturales en común, se observa claramente la diferenciación entre aves, océano y vegetación.



Figura 4. Resultado de la aplicación de la máquina de soporte vectorial en donde se observa claramente el conteo de las aves.

Conclusión

La capacidad de OBIA para detectar aves depende de factores como la resolución espacial de las imágenes, altura y características del sensor, condiciones de iluminación, movimiento de las aves, cobertura vegetal, tamaño de los individuos y calidad de los datos de entrenamiento y validación. Por ello, los resultados deben interpretarse como detecciones dependientes de la calidad de la información remota y comprobarse mediante datos de campo cuando sea posible (Hay y Castilla, 2008). En términos generales, GEOBIA permite transformar imágenes de alta resolución en información espacial estructurada para la detección y análisis de aves. Su principal aporte consiste en combinar las características espectrales, geométricas y texturales de los objetos con su contexto espacial. Esto puede mejorar la identificación de aves, apoyar la estimación de su distribución y facilitar el análisis de la relación entre las especies y las características del hábitat. Por lo tanto, GEOBIA representa una herramienta potencialmente útil para programas de monitoreo de avifauna y estudios de conservación del paisaje.

Referencias

Bibby, C.J., Burgess, N.D., Hill, D.A. and Mustoe, S.H. (2000) Bird census techniques. Academic Press, London.

Chabot, D., & Bird, D. M. (2015). Wildlife research and management methods in the 21st century: Where do unmanned aircraft fit in? Journal of Unmanned Vehicle Systems, 3(4), 137–155

Green, A. J., & Elmberg, J. (2014). Ecosystem services provided by waterbirds. Biological Reviews, 89(1), 105-122

Gregory, R. D., Gibbons, D. W., & Donald, P. F. (2004). Bird census and survey techniques. En W. J. Sutherland, I. Newton, & R. E. Green (Eds.), Bird Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques (pp. 17-55). Oxford University Press

Hay, G. J., & Castilla, G. (2008). Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline. En T. Blaschke, S. Lang, & G. J. Hay (Eds.), Object-Based Image Analysis: Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications (pp. 75-89). Springer, Berlin, Heidelberg.

Hodgson, J. C., Baylis, S. M., Mott, R., & Clarke, R. H. (2016). Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles. Scientific Reports, 6(1), 1-7. doi.org

Kamm, M., & Reed, J. M. (2019). Use of visible spectrum sUAS photography for land cover classification at nest sites of a declining bird species (Falco sparverius). Remote Sensing in Ecology and Conservation, 5(3), 232–243.

Valdez, R., y Ortega-S., J. A. (Eds.). (2014). Ecología y manejo de fauna silvestre en México. Colegio de Postgraduados

CALIDAD NUTRACÉUTICA Y CONTENIDO DE SÓLIDOS SOLUBLES DEL MELÓN EN SUSTRATOS CON VERMICOMPOST Y ARENA

Alejandro Moreno Reséndez[1§]*, Edgardo Hernández López[1], Alexis Gabriel Pivaral Chávez[1], Luz María Machuca Ruiz[1§].

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe s/n. Colonia Valle Verde, Torreón, Coahuila de Zaragoza, CP: 27054. [§]Integrante del Cuerpo Académico Sistemas Sustentables para la Producción Agropecuaria.*Autor para correspondencia: alejamorsa@yahoo.com.mx

Introducción

Actualmente, las preferencias de los consumidores se orientan hacia alimentos que, además de satisfacer las necesidades nutricionales básicas, aporten componentes con actividad fisiológica y propiedades funcionales (Park et al., 2018). Esta tendencia ha contribuido al crecimiento del mercado de alimentos naturales con componentes activos y propiedades funcionales, los cuales pueden proporcionar beneficios fisiológicos adicionales asociados con su valor nutritivo (Larqué-Saavedra y Lozano-Contreras, 2025). La creciente preocupación de la sociedad por los efectos negativos de las actividades agrícolas sobre el ambiente ha favorecido la transición hacia sistemas de producción más sustentables (Sánchez-Hernández et al., 2016; Hinojosa et al., 2019; Molina et al., 2024). En este contexto, la agricultura orgánica representa una alternativa para responder a la creciente demanda de alimentos de alta calidad, debido a que estos productos pueden presentar mayores contenidos de ácido ascórbico, compuestos fenólicos, azúcares y compuestos antioxidantes (Sánchez-Hernández et al., 2016). Además, un número importante de consumidores manifiesta preferencia por los productos obtenidos mediante sistemas orgánicos en comparación con aquellos producidos de forma convencional (Elmi et al., 2019; da Cruz-Bento et al., 2020; Díaz-José et al., 2023)

Entre los materiales que frecuentemente se emplean como sustratos para el desarrollo de especies vegetales, en los sistemas de agricultura protegida, destaca el vermicompost (VC), el cual se genera, empleando lombrices de tierra, a partir de diversos residuos agropecuarios (Huaccha et al., 2021; Ramos-Remache et al., 2025). El VC posee propiedades físicas, químicas y biológicas que mejoran el medio de crecimiento y aportan nutrimentos (Ayala-Tafoya et al., 2020) además de mejorar la capacidad de retención de humedad de los sustratos (Ducasse et al., 2022). No obstante, los sustratos elaborados con residuos orgánicos pueden presentar limitaciones en función de su procedencia, como puede ser la elevada salinidad; por ello es necesario realizar mezclas con materiales inertes que diluyan el contenido de sales en la mezcla final (Rakkini et al., 2017), modificando así las condiciones de crecimiento de las plantas. Adicionalmente, se ha establecido que la aplicación del VC tiene un gran potencial en las industrias hortícolas y agrícolas, ya que como sustrato puede favorecer la germinación y el desarrollo de las plantas; este material se puede utilizar sin inconvenientes en estado natural y se encuentra libre de nematodos; contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que incrementa la solubilidad de los elementos nutritivos (Moreno-Reséndez, 2005). En diferentes reportes se ha registrado el incremento tanto del contenido de ácido ascórbico, coko de los compuestos fenólicos y flavonoides, así como de la actividad antioxidante, en cultivos como tomate (*Solanum lycopersicum* L.), pepino (*Cucumis sativus*, L.) y repollo (*Brassica oleracea*, L.) (Cruz-Crespo et al., 2015; Fong et al., 2021; Moreno-Reséndez et al., 2022; Jankauskienė et al., 2022; Lara-Capistrán et al., 2024). En atención a los elementos descritos, la hipótesis planteada fue que la calidad nutracéutica y el contenido total de sólidos solubles de los frutos de melón se incrementarían al emplear mezclas de VC:AR durante el desarrollo del cultivo. El objetivo fue determinar el efecto de diferentes mezclas de vermicompost (VC) y arena de río (AR) sobre la calidad nutracéutica y el contenido de sólidos solubles totales de frutos de melón.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en 2020, durante el ciclo primavera-verano, bajo condiciones de malla sombra de 12.60 × 5.40 × 3.0 m (largo, ancho y alto, respectivamente), cubierta con malla antiáfidos (16 × 16 hilos cm^{-2}, Mesh Plas®), instalada en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ((25.552927, -103.375694). La siembra de las semillas de melón, variedad Honeydew (Sakata®), se efectuó de manera directa, colocando dos semillas por punto de siembra en bolsas de polietileno negro de 18 L, tipo vivero calibre 500. Las bolsas se establecieron en doble hilera con arreglo a tresbolillo, manteniendo una distancia de 30 cm entre plantas. Estas bolsas se rellenaron con mezclas VC:AR [relaciones 1:1, 1:2, 1:3 y 1:4 (v:v), además del tratamiento testigo empleando arena como sustrato, fertilizada con solución Steiner.

La cosecha de los frutos de melón se realizó a los 90 días después de la siembra en estado de madurez fisiológica, recolectando dos frutos por repetición, para un total de 10 frutos por tratamiento. Los frutos, debidamente etiquetados, se mantuvieron en hieleras portátiles y al concluir la cosecha se trasladaron a los Laboratorios de Suelos UAAAN-UL y de Desarrollo de Productos Alimenticios de la Facultad de Estudios Profesionales, Zona Huasteca de la UASLP, manteniéndose en congelación, 4 °C, hasta la realización de las determinaciones del contenido total de polifenoles (CTP) y flavonoides (CTF), el contenido total de sólidos solubles (CTSS), así como la actividad antioxidante (AA), las cuales se describen a continuación.

Posterior a su descongelación, las muestras cortaron en trozos pequeños, se pesaron 50 g y se preparó una dilución 1:1 (agua destilada-melón); para su procesamiento en dispersador T 50 digital ULTRA-TURRAX®. Cada muestra se homogeneizó y se colocó en la incubadora a 150 rpm por 30 minutos. Posteriormente se centrifugaron a 3000 rpm por 10 minutos. Los extractos crudos se emplearon para cuantificar el CTP aplicando la metodología descrita por Nossa-González *et al*. (2016), el resultado se expresó como miligramos equivalentes de ácido gálico por cien gramos de muestra (mgEAG●100 g^{-1} peso fresco). Para el CTF se utilizó la técnica descrita por Al-Saeedi *et al*. (2016) los valores determinados se expresaron como miliequivalentes de catequina por gramo de muestra (meqEQ●g^{-1} peso fresco). La AA se midió de acuerdo con la metodología descrita por Brand-Williams *et al*. (1995) para determinar el porcentaje inhibición del radical estable 2,2 difenil - 1-pricrilhidracilo. Por su parte, el CTSS se determinó utilizando un refractómetro (Master-T, ATAGO®), se colocaron dos gotas de jugo de melón, de dos frutos por repetición, en la lente del dispositivo, los valores se expresaron en ˚Brix. Se utilizó un diseño completamente al azar, con cinco tratamientos y cinco repeticiones por tratamiento. A los datos registrados en cada variable, se les aplicó el análisis de varianza y la prueba de comparación de $Tukey_{0.05}$, utilizando el paquete estadístico SAS® OnDemand for Academics,

Resultados y discusión

La hipótesis planteada fue que la calidad nutracéutica y el contenido total de sólidos solubles de los frutos de melón se incrementarían al desarrollarse las plantas en mezclas de VC:AR. Los datos de las variables evaluadas CTP, CTF, AA y CTSS presentaron una distribución normal, prueba Shapiro-Wilk P>0.05), lo cual permitió utilizar el análisis de varianza. Los resultados de este no registraron diferencias estadísticas (P>0.05) para ninguna de las variables en estudio debido al efecto de las mezclas de VC:AR (cuadro 1). Lo anterior es indicativo de que todos tratamientos evaluados provocaron un efecto similar en estas variables, por lo que se puede suponer que, bajo las condiciones de desarrollo del presente estudio estas características parecen estar determinados intrínsecamente por la planta.

En relación a lo anterior Espinosa-Palomeque et al. (2020) destacan que la acumulación de compuestos fenólicos se debe a una defensa contra el estrés abiótico y biótico; considerando también que como los resultados se reflejaron significativamente en el tratamiento con la proporción de VC 1:1 con respecto al tratamiento testigo; es debido a la salinidad contenida en el medio radicular de la planta, causando un estrés osmótico, lo que restringe la absorción de solutos y en consecuencia promueve la biosíntesis de metabolitos secundarios, favoreciendo la concentración de polifenoles y a su vez mejorando la calidad nutracéutica de la fruta. Estos resultados contrastan con los obtenidos en la presente investigación.

Cuadro 1. Valores promedio y significancia estadística para contenido total de polifenoles, flavonoides y sólidos solubles, así como capacidad antioxidante registrados en frutos de melón, aplicando mezclas de vermicompost:arena, durante el desarrollo del cultivo.

Tratamiento	CTP ^{ns} (mg EAG●100 g^{-1} PF)	CTF ^{ns} (mEq QE●g^{-1} PF)	AA ^{ns} (% inhibición DPPH*)	CTSS ^{ns} (°Brix)
T0	15.3	0.07	36.2	12.1
T1	12.2	0.06	34.4	12.1
T2	13.6	0.06	36.6	13.6
T3	12.1	0.08	33.2	12.2
T4	14.2	0.09	37.2	14.4
Media	13.48	0.07	35.52	12.88
Significancia	0.46	0.57	0.92	0.45

CTP = Contenido total de polifenoles; CTF = Contenido total de flavonoides; AA = Actividad Antioxidante; CTSS = Contenido total de sólidos solubles; PF = Peso fresco; ns = No significativo

Respecto a los valores registrados, independientemente de los valores finales de las variables en estudio, todas las muestras del fruto de melón presentaron contenido de fenoles totales, flavonoides totales, actividad antioxidante y contenido de sólidos solubles totales que resultaron estadísticamente no significativos, lo cual es indicativo de que todos tratamientos evaluados provocaron un efecto similar en estas variables, por lo que se puede suponer que, bajo las condiciones de desarrollo del presente estudio estas características parecen estar determinados intrínsecamente por la planta. En relación a lo anterior Espinosa-Palomeque et al. (2019) en su estudio destacan que la acumulación de compuestos fenólicos es debido a una defensa contra el estrés abiótico y biótico; considerando también que como los resultados se reflejaron significativamente en el tratamiento con la proporción de VC 1:1 con respecto al tratamiento testigo; es debido a la salinidad contenida en el medio radicular de la planta, causando un estrés osmótico, lo que restringe la absorción de solutos y en consecuencia promueve la biosíntesis de metabolitos secundarios, favoreciendo la concentración de polifenoles y a su vez mejorando la calidad nutracéutica de la fruta. Estos resultados contrastan con los obtenidos en la presente investigación.

En términos generales, el desarrollo de cultivos de melón en mezclas de VC y AR en diferentes proporciones favoreció, de acuerdo con Rajbir et al. (2008), la producción de frutos con mejores parámetros de calidad. Fortis-Hernández et al. (2018) observaron efectos similares en frutos de tomate desarrollados en condiciones de casa sombra. Estos autores concluyeron que los fertilizantes orgánicos a base de una mezcla de AR:VC (80:20 en porcentaje) aumentaban el CTF y la AA del fruto. Por su parte, Dinu et al. (2019), quienes aplicaron el fertilizante orgánico Lignohumat -basado en ácidos húmicos- como fuente de nutrientes, concluyeron que la fertilización orgánica constituye una alternativa viable para obtener melones con cualidades nutracéuticas superiores. En el presente estudio, se reporta un mayor contenido de azúcares y niveles elevados de antioxidantes en melones cultivados en mezclas de VC:AR. Por otra parte, los valores registrados para el contenido de sólidos solubles totales fueron superiores a 12 °Brix, por lo que se consideraron de calidad extra. Estos valores superaron el intervalo de 9 a 12 °Brix establecido como referencia de calidad comercial para los frutos de melón.

Conclusión

Como ya ha indicado no se registraron diferencias estadísticas en los parámetros estudiados; sin embargo, los elevados valores determinados para CTP, CTF, AA y el CTSS provocaron una fuerte influencia positiva del VC sobre la producción de alimentos. El uso de mezclas VC:RS, bajo las condiciones del estudio, permite obtener frutos de melón con una calidad nutracéutica adecuada y un alto contenido de azúcar. Sin embargo, es probable que cantidades de VC seleccionados en esta investigación no fueran lo suficientemente distintos como para modificar significativamente el valor nutricional de los frutos.

Agradecimientos

El proyecto Calidad nutracéutica e inocuidad del melón desarrollado en mezclas de vermicompost: arena con diferentes volúmenes de agua, con clave: 38-111-425601002-2816, fue financiado por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Referencias

Al-Saeedi, A. H., Al- Ghafri, M. T. H., & Hossain, M. A. (2016). Comparative evaluation of total phenols, flavonoids content and antioxidant potential of leaf and fruit extracts of Omani Ziziphus jujuba L. Pacific Science Review A: Natural Science and Engineering, 18(1), 78-83. https://doi.org/10.1016/j.psra.2016.09.001

Ayala-Tafoya, F., López-Urquídez, G. A., Parra-Delgado, J. M., Retes-Manjarrez, J. E., López-Orona, C. A., & Yáñez-Juárez, M. G. (2020). Vermicompost, synthetic auxins, and greenhouse production of gray squash Cucurbita pepo L. Terra Latinoamericana, 38(2), 257-265. https://doi.org/https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.620

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Science and Technology, 28(1), 25-30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5

Cruz-Crespo, E., Sumaya-Martínez, M. T., Can-Chulim, Á., Pineda-Pineda, J., Bugarín-Montoya, B., & Aguilar-Benítez, G. (2015). Quality, bioactive compounds, and antioxidant activity of serrano chili peppers cultivated in volcanic rock-vermicompost and nutrient solutions. Cien. Inv. Agr., 42(3), 375-384. https://doi.org/10.4067/s0718-16202015000300006.

da Cruz-Bento, B. M., Cabral França, A., Gomes Oliveira, R., Tadin Sardinha, L., & Soares Leal, F. D. (2020). Organic fertilization attenuates heat stress in lettuce cultivation [Article]. *Acta Agronómica*, *69*(3), 219-227. https://doi.org/10.15446/acag.v69n3.84267

Díaz-José, J., Andrés-Meza, P., González-Cuevas, B. M., Leyva-Ovalle, O. R., & Cebada-Merino, M. (2023). Chemical and organic fertilization on the yield of serrano pepper (Capsicum annuum L.) in Veracruz, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, *10*, 2-14, e1472. https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1472

Dinu, M., Soare, R., Băbeanu, C., Hoza, G., & Apahidean, A. I. (2019). Effect of Organic Fertilization on the Quantity and Quality of Melon Production. Carpathian Journal of Food Science & Technology, 11(2), 177-184. https://doi.org/10.34302/crpjfst/2019.11.2.14

Ducasse, V., Capowiez, Y., & Peigné, J. (2022). Vermicomposting of municipal solid waste as a possible lever for the development of sustainable agriculture. A review. Agronomy for Sustainable Development, 42(5), 89. https://doi.org/10.1007/s13593-022-00819-y

Elmi, A., Anderson, A. K., & Albinali, A. S. (2019). Comparative study of conventional and organic vegetable produce quality and public perception in Kuwait. Kuwait J. Sci., 46(4), 120-127.

Espinosa-Palomeque, B., Cano-Ríos, P., Salas-Pérez, L., García-Hernández, J. L., Preciado-Rangel, P., Sáenz-Mata, J., & Reyes-Carrillo, J. L. (2019). Bioinoculants and concentration of the nutritive solution on the production and quality of tomato. BIOtecnia, 21(3), 100-107.

Fong, C.-J., Chuang, Y.-Y., & Lai, H.-Y. (2021). Effects of Amendment with Various Vermicomposts on the Soil Fertility, Growth of Brassica chinensis L., and Resistance of Spodoptera litura Fabricius larvae. Sustainability (2071-1050), 13(16), 9441-9441. https://doi.org/10.3390/su13169441

Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P., Segura-Castruita, M. A., Mendoza-Tacuba, L., Gallegos-Robles, M. A., García-Hernández, J. L., & Vásquez-Vásquez, C. (2018). Changes in nutraceutical quality of tomato

under different organic substrates. Horticultura Brasileira, 36(2), 189-194. https://doi.org/10.1590/S0102-053620180207

Hinojosa, R., Flores, R., Gonzales Lopez, J. C., Rimachi, Y., Huailla, R., Ñaupari, J., Montes, E., & Cruz, J. (2019). Sustainability of agricultural production systems. PURIQ, 1(2), 198–207. https://doi.org/10.37073/puriq.1.02.31

Huaccha, A., Fernández-Zarate, F., Quiroga, S., & Álvarez, B. (2021). Use of *Eisenia hortensis* (earthworm) in the vermicomposting of organic waste. Revista Científica Pakamuros, 7(2), 32-40.

Jankauskienė, J., Laužikė, K., & Kavaliauskaitė, D. (2022). Effects of Vermicompost on Quality and Physiological Parameters of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Seedlings and Plant Productivity. Scientia, 8, 1009. https://doi.org/10.3390/horticulturae8111009

Lara-Capistrán, L., Reyes, A., Amador, B., Aquino-Bolaños, E., Hernandez-Adame, L., & Hernandez-Montiel, L. G. (2024). Effect of a Marine Bacterium and Vermicompost on Antioxidant Properties and Fruit Quality of *Solanum lycopersicum* L. Terra Latinoamericana, 42, 1-10.

Larqué-Saavedra, B. S., & Lozano-Contreras, M. G. (2025). Market Research on the Consumer Preference of Biofertilizers in México. Agro Productividad, 18(8), 53-62. https://doi.org/10.32854/r50vta42

Molina, M. A., Durán, A. G., & González-García, H. (2024). Liquid vermicompost as a biostimulant in chili pepper nurseries: Morphophysiological evaluation and impact analysis. Environmental Research and Ecotoxicity, 3(112), 1-10. https://doi.org/10.56294/ere2024112

Moreno-Reséndez, A. (2005). Origen, Importancia y Aplicación del Vermicompost para el Desarrollo de Especies Vegetales. Revista Agraria -Nueva Epoca, 2(3), 15-23.

Moreno-Resendez, A., Reyes-Carrillo, J. L., Rodriguez-Dimas, N., Reyes-Munguia, A., Carrillo-Inungaray, M. L., Elzebieta-Marszalek, J., & Leos-Escobedo, L. (2022). Nutraceutical quality and soluble solids of Cucumis melo developed in vermicompost-river sand mixtures, under shade mesh conditions. Pak. J. Biol. Sci., 25, 619-626. https://doi.org/10.3923/pjbs.2022.619.626

Nossa-González, D. L., Talero-Pérez, Y. V., & Rozo-Núñez, W. E. (2016). Determination of polyphenols and antioxidant activity of polar extracts of comfrey (*Symphytum officinale* L). Revista Cubana de Plantas Medicinales, 21(2), 125-132.

Park, E., Luo, Y., Marine, S. C., Everts, K. L., Micallef, S. A., Bolten, S., & Stommel, J. (2018). Consumer preference and physicochemical evaluation of organically grown melons. Postharvest Biology and Technology, 141, 77-85. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.03.001

Rakkini, V. M., Vincent, S., Kumar, A. S., & Baskar, K. (2017). An Overview: Organic Waste Management by Earthworm. J Civil Eng Environ Sci, 3(1), 013-017. https://doi.org/http://doi.org/10.17352/2455-488X.000015

Ramos-Remache, R. A., Reyes-Pérez, J. J., Moreno-Vera, A. N., Llerena-Ramos, L. T., Sinchiguano-Briones, L. A., & Espinosa-Palomeque, B. (2025). Biological performance of Eisenia foetida and quality of vermicompost generated from different organic sources. Terra Latinoamericana, 43, 1-12, e2367. https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2367

Rajbir, S., Sharma, R. R., Satyendra, K., Gupta, R. K., & Patil, R. T. (2008). Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria* × *ananassa*). Bioresour. Technol., 99, 8507-8511. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.034

Sánchez-Hernández, D. J., Fortis-Hernández, M., Esparza-Rivera, J. R., Rodríguez-Ortiz, J. C., de la Cruz-Lázaro, E., Sánchez-Chávez, E., & Preciado-Rangel, P. (2016). Use of vermicompost in the production of melon fruits and their nutraceutical quality. Interciencia, 41(3), 213-217.

A PRIOR INTEGRATED PRODUCTIVITY MODEL FOR *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller

Ramírez-García M.[1*], Valdez-Cepeda, R.D.[2], López-Santiago, M.A.[1], Nava-Reyna, E.[1], Zegbe-Domínguez, J.A.[3], and Blanco-Macías, F.[2*]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, URUZA, Bermejillo, Dgo., México. [2]Universidad Autónoma Chapingo, CAR-Zacatecas, Morelos, Zacatecas, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CE Pabellón. Pabellón, Aguascalientes, México. *E-Mails: manuelrmzgarcia@gmail.com, fiblama63@gmail.com

Introduction

Research on *Opuntia ficus-indica* has separately reported vegetative biomass and fruit yield under various conditions, and a small number of studies have used growth or light interception models to estimate above-ground dry matter production (García de Cortázar & Nobel 1986, 1991, 1992). For example, early productivity modeling work tested predictions of high annual dry matter productivity in central Chile by simulating light interception and comparing measured dry weight over 27 months (García de Cortázar & Nobel, 1991). Nonetheless, this focused primarily on total dry matter production and did not explicitly link vegetative versus reproductive components across years.

Comprehensive field studies documented that high-density planting produced significant dry matter and fruit yields over multiple seasons, and that annual fruit production often lagged behind vegetative growth until individual cladodes reached sufficient size (García de Cortázar & Nobel, 1992; Inglese et al., 2010; López-García et al., 2016). This implies strong temporal dynamics in yield partitioning between vegetative and reproductive biomass, but these studies did not produce a formal predictive model integrating both yield components. Other yield studies report ranges of biomass and fruit productivity under different environmental and management conditions, but they remain largely descriptive and single-year or single-component focused.

Despite these foundational studies, few models comprehensively quantify annual productivity that simultaneously:

1. Integrates vegetative biomass and fruit yield as distinct components of total above-ground productivity;
2. Accounts for temporal dynamics over multiple growing seasons or plant ages; and
3. Predicts how management (e.g., density, soil fertility) and environment (e.g., rainfall, temperature) drive year-to-year variations in both biomass and reproductive output.

This gap exists largely because most studies either measure biomass or fruit in isolation or span only a single growth period. A truly unified productivity model — one that couples vegetative growth trajectories, reproductive allocation, and their changes over multi-year cycles — is absent in the literature for *O. ficus-indica*.

A unified model would allow researchers and growers to:

1. Forecast total harvestable yield (including both fruit and dry matter feedstock) across years, which is crucial for economic planning and multi-purpose cropping systems.
2. Compare productivity across environments and management regimes without confounding differences in measurement units (e.g., fresh weight versus dry matter, seasonal versus annual yields).
3. Evaluate crop resilience under variable climate scenarios by simulating how vegetative and reproductive productivity respond differently to stressors over time.
4. Quantitatively assess resource allocation strategies, informing breeding or management for dual-purpose use (food and fodder/bioenergy).

Therefore, the aim of this work was to design a prior integrated productivity model for *Opuntia ficus-indica* under the basis of published scientific contributions.

Material and methods

First, we selected relevant scientific articles and reviews involving vegetative and fruit biomass, age of plantation, vegetative growth, solar radiation, radiation use efficiency, intercepted photosynthetically active radiation, vegetative & fructification cladodes size, vegetative & fructification cladode numbers, vegetative & fruit dry matters, soil fertility, air temperature, rainfall, irrigation and management practices. All selected documents were downloaded from their Journal URL and then were critically read, and their pertinent data were used to design a prior integrated productivity model for *Opuntia ficus-indica.*

Results and discussion

1. Conceptual Structure of the Integrated Productivity Model for *Opuntia ficus-indica*

Total crop productivity is treated as the sum of vegetative and reproductive outputs, explicitly modeled across plant age and years:

$$\text{Total Productivity}_t = B_{v,t} + B_{f,t}$$

Where:

- $B_{v,t}$ = vegetative biomass production (cladodes) at time t
- $B_{f,t}$ = fruit biomass production at time t
- t = year or growing season since establishment

This formulation allows separation of growth processes (cladodes) from allocation processes (fruiting), which are known to respond differently to age, environment, and management.

2. Vegetative Biomass Sub-Model

Vegetative growth is modeled as a sigmoidal or asymptotic function of plant age, consistent with empirical cactus growth patterns.

Option A: Logistic Growth Model

$$B_{v,t} = B_{v,max} /1 + e^{-k(t - t0)}$$

Where:

- $B_{v,max}$ = maximum attainable vegetative biomass (Mg DM ha^{-1})
- k = vegetative growth rate constant
- t_0 = inflection point (years after planting)

Option B: Light-Interception-Driven Model (Mechanistic)

$$B_{v,t} = \varepsilon \cdot (IPAR_t)$$

Where:

- ε = radiation use efficiency (g DM MJ^{-1})
- IPAR = intercepted photosynthetically active radiation

This allows direct linkage to plant density, cladode area index, and climate.

3. Fruit Yield Sub-Model (Reproductive Allocation)

Fruit production is modeled as a fraction of vegetative biomass, constrained by cladode size thresholds and plant age.

$$B_{f,t} = \alpha_t \cdot B_{v,t}$$

Where:

- α_t = reproductive allocation coefficient (0–1), which is time-dependent

Allocation Function

$$_t = \{0, \quad if\ B_{v,t} < B_{th} \quad _max, 1 - e^{-(t-t_m)}, \quad if\ B_{v,t} \geq B_{th}$$

Where:

- B_{th} = minimum cladode biomass required for fruiting
- t_m = onset of reproductive maturity
- β = rate of increase in reproductive allocation

This captures the empirically observed lag between vegetative growth and fruit production.

4. Temporal Dynamics Across Years

To represent inter-annual variability, productivity is adjusted by environmental and management modifiers:

$$B^*_{i,t} = B_{i,t} W_t N_t T_t$$

Where:

- i = v (vegetative) or f (fruit)
- W_t = water availability index
- N_t = nutrient status index
- T_t = thermal suitability index

Each index ranges from 0–1 and can be derived from observed or modeled data.

5. Unified Productivity Index (UPI)

To enable cross-study comparison, define a standardized productivity metric:

$$UPI_t = \frac{B_{v,t} + B_{f,t}}{Growing\ area\ per\ Year}$$

Units:

- Mg DM ha^{-1} yr^{-1}

Optional weighting for dual-purpose systems:

$$UPI_{w,t} = w_v B_{v,t} + w_f B_{f,t}$$

Where:

- w_v, w_f = weights reflecting economic or functional importance (fodder vs. fruit).

6. Variables to Measure in Field Experiments

Category	Variables
Vegetative	Cladode number, cladode area, fresh & dry mass, cladode age
Reproductive	Fruit number, mean fruit weight, fruit dry matter
Temporal	Year since planting, seasonal growth rates
Environmental	Rainfall, air temperature, solar radiation
Management	Plant density, irrigation, fertilization

7. How This Model Directly Addresses the Gap

- ✓ Integrates vegetative biomass + fruit yield
- ✓ Explicitly includes plant age and multi-year dynamics
- ✓ Allows predictive simulation, not just descriptive reporting
- ✓ Enables standardized productivity comparison across environments
- ✓ Aligns with the known physiology of *Opuntia ficus-indica*

Example Research Hypotheses Using This Model

H_1: Vegetative biomass accumulation precedes fruit yield by ≥1 growing season, independent of environment.

H_2: Reproductive allocation increases non-linearly with plant age and cladode biomass.

H_3: Total productivity is more stable across years when modeled as combined biomass rather than fruit yield alone.

8. Parameterization of the Integrated Productivity Model for *Opuntia ficus-indica*

8.1. Vegetative Biomass Parameters

8.1.1. Maximum Vegetative Biomass ($B_{v,max}$)

Published field studies report annual above-ground dry matter (DM) production ranging from 10 to >40 Mg DM ha^{-1} yr^{-1}, depending on plant density, water availability, and radiation interception.

Parameter range used:

$$B_{v,max} = 30–45 \text{ Mg DM } ha^{-1}$$

Justification

- García de Cortázar & Nobel (1991) measured ~50 Mg DM ha^{-1} yr^{-1} under near-complete light interception in Chile.
- Typical semi-arid systems report 10–25 Mg DM ha^{-1} yr^{-1}.

8.1.2. Vegetative Growth Rate Constant (k)

Growth rate parameters for perennial CAM crops are slow in early years and accelerate after establishment.

Parameter range used:

$k = 0.6–1.1 \text{ yr}^{-1}$

Justification

- Early growth is minimal in Year 1, followed by rapid cladode proliferation in Years 2–4.
- Logistic fits to multi-year biomass data in García de Cortázar & Nobel (1986) support this range.

8.1.3. Inflection Point (t_0)

The inflection point corresponds to canopy closure and maximum radiation interception.

Parameter value:

t_0 = 2.5–3.5 years after planting

Justification

- Maximum shoot growth and fruiting onset commonly occur after Year 2–3.
- Supported by long-term orchard data in Mexico and Chile.

8.2. Fruit Yield (Reproductive Allocation) Parameters

8.2.1. Minimum Biomass Threshold for Fruiting ($B_{threshold}$)

Fruit production occurs only when cladodes reach a minimum size and age.

Parameter value:

$$B_{threshold} = 6–8 \text{ Mg DM } ha^{-1}$$

Justification

- García de Cortázar & Nobel (1986) showed fruiting occurred only on well-developed, mature cladodes.
- Young plantations (<2 years) rarely produce marketable fruit.

8.2.2. Maximum Reproductive Allocation Coefficient (α_{max})

This represents the fraction of total biomass allocated to fruit under optimal conditions.

Parameter range:

$$\alpha_{max} = 0.20–0.35$$

Justification

- Fruit yields of 2–14 Mg ha^{-1} reported alongside 10–40 Mg ha^{-1} biomass.

- Implies ~20–35% of above-ground biomass allocated to fruit in productive years.

8.2.3. Reproductive Allocation Rate (β)
Controls how quickly fruit allocation increases after maturity (Inglese et al., 1994).
Parameter range:

$$\beta = 0.4–0.7\ yr^{-1}$$

Justification
- Fruit production increases gradually over 2–3 years after first fruiting.
- Consistent with orchard yield trajectories reported in Reis (2018).

8.2.4. Onset of Reproductive Maturity (t_m)
Parameter value:

$$t_m = 2–3\ years$$

Justification
- First fruiting generally occurs in Year 2 or 3 depending on cultivar and management.

8.3. Environmental Modifiers
Environmental stress is incorporated using multiplicative indices (0–1 scale).
8.3.1. Water Availability Index (W_t)

Condition	W_t
Severe drought	0.4-0.5
Rainfed semi-arid	0.6-0.8
Supplemental irrigation	0.9-1.0

- Strong effect despite CAM physiology.
- Water affects both vegetative growth and fruit size.

8.3.2. Nutrient Availability Index (N_t)

Nutrient status	N_t
Poor soils	0.6
Moderate fertility	0.8
Optimized fertilization	1.0

8.3.3. Thermal Suitability Index (T_t)

Temperature regime	T_t
Suboptimal (<10 °C nights)	0.7
Optimal CAM range	1
Heat stress	0.8

Conclusion

The proposed Integrated Productivity Model for *Opuntia ficus-indica* is theoretically well supported. The next step is to carry out sensitivity analyses involving different levels of the involved environmental modifiers to test reliability of its performance. Afterwards, if it works in a satisfactory way, authors should test it using values of the involved variables as reported in the scientific literature considered for its design, and then strength it with a real big database (including variables measured in field experiments).

Acknowledgements
Authors acknowledge financial support of the project 26057-C-66 from the DGIPS of the UACh.

References

García de Cortázar, V., & Nobel, P. S. (1986). Modeling of PAR interception and productivity of a prickly pear cactus, *Opuntia ficus-indica* L., at various spacings. *Agron. J. 78*: 80-85. https://doi.org/10.2134/agronj1986.00021962007800010018x

García de Cortázar, V., & Nobel, P. S. (1991). Prediction and measurement of high annual productivity for *Opuntia ficus-indica*. *Agric. & Forest Meteorol., 56*(3-4), 261-272. https://doi.org/10.1016/0168-1923(91)90095-8

García de Cortázar, V., & Nobel, P. S. (1992). Biomass and fruit production for the prickly pear cactus, *Opuntia ficus-indica*. *J. Am. Soc. Hort. Sci. 117*(4), 558-562. http://journal.ashspublications.org/content/117/4/558.full.pdf

Inglese, P., Israel, A. A., & Nobel, P. S. (1994). Growth and CO_2 uptake for cladodes and fruit of the Crassulacean acid metabolism species *Opuntia ficus-indica* during fruit development. *Physiol. Plantarum 91*, 708-714. http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.1994.tb03009.x

Inglese, P., Costanza, P., Gugliuzza, G., Inglese, G., & Liguori, G. (2010). Influence of within-tree and environmental factors on fruit quality of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) in Italy. *Fruits*, *65*(3), 179-189. https://doi.org/10.1051/fruits/2010012

López-García, R., Mata-González, R., Blanco-Macías, F., Méndez-Gallegos, S. de J., & Valdez-Cepeda, R. D. (2016). Fruit attributes dependence on fruiting cladode dry or fresh matter in *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller variety 'Rojo Pelón'. *Sci. Hort.*, *202*, 57-62. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.028

Reis, C. M. G., Gazarini, L. C., Fonseca, T. F., & Ribeiro, M. M. (2018). Above-ground biomass estimation of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. for forage crop in a Mediterranean environment by using non-destructive methods. *Exp. Agric.*, *54*(2), 227-242. https://doi.org/10.1017/S0014479716000211

USO DE HIDROGEL Y ZEOLITA COMO RETENEDORES DE HUMEDAD DEL SUELO Y SU IMPACTO EN EL CRECIMIENTO DE LA PLANTA Y RENDIMIENTO DE CHILE (*Capsicum annuum* L.) BAJO RIEGO ÓPTIMO Y SUBÓTPIMO

Aurelio Pedroza-Sandoval[1*], Francisco Ángel Jiménez1, Isaac Gramillo Ávila[1], José Antonio Miranda Rojas[1], Ricardo Trejo calzada[1].

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, km. 40 Ctra. Gómez Palacio-Chihuahua, C.P. 35230, Bermejillo, Dgo. *Autor de correspondencia: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

La producción mundial de alimentos se enfrenta cada vez más a limitaciones hídricas, especialmente en regiones áridas y semiáridas donde la escasez de agua restringe la productividad y la sostenibilidad de los cultivos. Se han investigado diversas estrategias para mitigar el estrés hídrico, tales como el uso de genotipos tolerantes a la sequía, bioestimulantes vegetales, enmiendas del suelo y otras prácticas regenerativas (Yadav et al., 2025). Entre las enmiendas del suelo, la zeolita natural y el hidrogel han despertado interés por su capacidad para modificar la disponibilidad de agua en el suelo y mejorar el rendimiento de los cultivos en condiciones de limitación hídrica (Rajiv et al., 2024). La zeolita natural es un mineral aluminosilicato poroso con una elevada capacidad de intercambio catiónico, capaz de mejorar la retención de agua y la dinámica de nutrientes en el suelo (Villalba et al. 2019). El hidrogel es un polímero hidrofílico capaz de absorber y retener grandes cantidades de agua y liberarla gradualmente en la rizosfera, lo que potencialmente mejora la disponibilidad hídrica del suelo. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del hidrogel y la zeolita sobre el crecimiento de la planta y el rendimiento del chile (*Capsicum annuum* L.) del morfotipo Serrano Gordo, cultivado bajo regímenes de humedad del suelo óptimo y subóptimo en la región árida del norte de México.

Materiales y métodos

Ubicación geográfica del área de estudio*.* El estudio se llevó a cabo en el campo experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) – Universidad Autónoma Chapingo (UACh), situada en Bermejillo, Mapimí, Durango, México. El sitio experimental se encuentra a 25°53′33″ N y 103°36′09″ O, a una altitud de 1100 m, y presenta un clima BWhw según la clasificación climática de Köppen adaptada a México, correspondiente a un clima semicálido muy seco con lluvias en verano e invierno fresco (García, 2024).

Diseño experimental. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo de parcelas divididas y tres repeticiones. Las parcelas principales consistieron en dos niveles de humedad del suelo: contenido de humedad óptimo (OSMC), en un rango del 23 al 27 % (25 % ± 2), y contenido de humedad subóptimo (SSMC), en un rango del 18 al 22 % (20 % ± 2). Las subparcelas consistieron en cuatro tratamientos de enmienda del suelo: hidrogel (20 kg ha^{-1}), zeolita (10 t ha^{-1}), hidrogel + zeolita a las mismas dosis de aplicación, y un testigo (sin hidrogel ni zeolita) para cada nivel de humedad del suelo. Cada unidad experimental fue de cuatro surcos de 4.5 m de longitud cada uno, con una separación de 0.80 m entre ellos. Los dos surcos centrales fueron la parcela útil, donde se seleccionaron al azar cuatro plantas para medir las variables de crecimiento de la planta y de rendimiento. Las variables de crecimiento incluyeron la altura de la planta (cm), medida con una cinta métrica; el diámetro del tallo (mm), medido con un calibrador digital; y el número de hojas por planta.

Las variables reproductivas fueron el número de botones florales por planta y el número de flores por planta. Los componentes del rendimiento fueron la longitud y anchura del fruto (cm) medidas con un calibrador digital, el número de frutos por planta y el peso de los frutos por planta (g); el rendimiento fue el peso del fruto por unidad de superficie (kg m^{-2}). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software SAS versión 9.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EE. UU.). Se realizó un ANOVA de dos factores y la prueba de rangos múltiples de Tukey para comparar las medias entre tratamientos ($p < 0.05$).

Resultados y discusión

El contenido de humedad del suelo mostró una respuesta mejor bajo COHS en el diámetro del tallo, el número de hojas por planta, el número de flores, pero no afectó de manera significativa la altura de la planta ni el número de botones florales a los 88 días después del trasplante (DDT). Las enmiendas de hidrogel y zeolita como retenedores de humedad del suelo afectaron significativamente la altura de la planta, el diámetro del tallo, el número de hojas, y el número de botones florales, mientras que no se detectaron efectos significativos en el número de flores. Se detectó una interacción significativa entre el contenido de humedad del suelo y los tratamientos de retención de humedad únicamente en el número de hojas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales efectos estadísticos de los factores de variación y de la interacción entre ellos sobre diversas variables de crecimiento y desarrollo de la planta de chile a los 88 días después del trasplante (DDT) (n=12).

Tratamiento		Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Número de hojas por planta	Número de botones florares por planta	Número de flores por planta
CHS	25% ±2	41.8a	11.9a	89.3a	11.1a	4.3a
	20% ±2	39.6ª	10.8b	67.7b	11.0a	3.4b
RHS	Testigo	38.2b	10.7b	66.4b	10.7ab	4.1a
	Hidrogel (H) (10 kg ha^{-1})	43.0a	11.4ab	83.2a	10.6ab	4.2a
	Zeolita (Z) (20 t ha^{-1})	41.2ab	12.5a	82.7a	9.7b	3.9a
	H + Z	40.8b	10.5b	86.8a	13.1a	3.2a
CHS		ns	*	*	ns	*
RMS		*	*	*	*	ns
CHS*RHS		ns	ns	*	ns	ns

Prueba de Tukey ($p < 0,05$). Los valores con las mismas letras en los tratamientos dentro de cada contenido de humedad del suelo y dentro de los tratamientos por efecto del retenedor de humedad del suelo, son estadísticamente iguales. CHS es el contenido de humedad del suelo (%); RHS es el retenedor de humedad del suelo.

Componentes del rendimiento y rendimiento. El contenido de humedad del suelo mostró una mejor respuesta ($P < 0.05$) en todas las variables de rendimiento y de sus componentes, con mejores resultados donde se aplicó el riego óptimo. Similar comportamiento de efecto significativo en los tratamientos de hidrogel y zeolita como retenedores de humedad del suelo aplicados de manera separada, con efecto significativamente mayor al aplicar la zeolita, un efecto intermedio con el hidrogel y un efecto de impacto negativo al aplicarlos juntos, éste último tratamiento con valores similares al control (cuando no se aplicó ninguno de los productos), posiblemente debido a un efecto inhibitorio, como lo han reportado algunos autores (Rivera et al., 2021; Torri et al., 2021) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Rendimiento y componentes del rendimiento del chile *Capsicum annuum* L. morfotipo serrano gordo, mediante la aplicación de hidrogel y zeolita como retenedores de humedad del suelo bajo dos regímenes de riego. (n= 12).

Tratamiento		Longitud del fruto (mm)	Ancho de fruto (mm)	Número de frutos por planta	Peso de fruto por planta (g)	Rendimiento (kg m^{-2})
CHS	COHS (25% ±2)	44.4a	19.0a	89.0a	516.6a	3.8a
	CSHS (20% ±2)	42.4b	17.9b	56.8b	351.4b	2.6b
RHS	Testigo	41.7b	17.8b	63.0c	394.1bc	2.9bc
	Hidrogel (H) (10 kg ha^{-1})	43.6ab	19.4ª	71.6b	441.5an	3.3ab
	Zeolita (Z) (20 t ha^{-1})	44.7a	18.8ab	82.3a	462.4a	3.4a
	H + Z	43.3ab	17.7b	69.5bc	374.6c	2.8c
CHS		*	*	*	*	*
RHS		*	*	*	*	*
CHS*RHS		ns	ns	ns	ns	ns

Prueba de Tukey ($p < 0,05$). Los valores con las mismas letras en los tratamientos dentro de cada contenido de humedad del suelo y dentro de los tratamientos por efecto del retenedor de humedad del suelo, son estadísticamente iguales CHS es el contenido de humedad del suelo (%); RHS es el retenedor de humedad del suelo; El largo y ancho de fruto corresponde al promedio de dos tiempos de evaluación: 128 y 148 días después del trasplante (DAT); en tanto que el número de frutos por planta, el peso de fruto por planta y el rendimiento de chile corresponde a la suma de dos tiempos de evaluación: 128 y 148 DAT.

Conclusiones

El riego óptimo, que mantuvo la humedad del suelo a capacidad de campo (25 ± 2 %), fue el factor determinante para el crecimiento de la planta, la floración, el tamaño del fruto y el rendimiento en el chile, en comparación con el riego limitado al 5 % por debajo de la capacidad de campo (20 ± 2 %), condición bajo la cual las plantas mostraron efectos negativos en la mayoría de las variables antes citadas. El hidrogel se asoció principalmente a una mayor altura de planta, mientras que la zeolita propició un mejor diámetro de tallo, una mejor producción de frutos y un rendimiento más elevado. La aplicación combinada de hidrogel y zeolita mostró un efecto inhibitorio, por lo que se recomienda aplicarlos solamente por separado.

Referencias

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México: 90 p. ISBN 970-32-1010-4

Rajiv, K. S., Sanju, P., Edris, A., Md Kamrul, I (2024). Advancements in soil management: Optimizing crop production through interdisciplinary approaches. *Journal of Agriculture and Food Research.* 18, 101528. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101528

Rivera, F. R. D.; Mora, M. C.; Moreira S. J. R.; Mendoza, I. D. A. (2021). Effects of hydrogel on moisture volume in soils with different textures. *La Granja*. 33(1):67-75. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7825769

Torri, S. I.; Amaturo, J. I.; Sánchez, L.; Pacheco-Rudz, E. O. (2021). Effect of zeolites on specific properties of a soil amended with biosolids. Rev. Int. Contam. Ambie. 37, 419-430. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10839811

Villalba, M. L. y Rubio A. H. O., Colmenero Sujo, L.H., Ochoa Rivero, J.M., Mireles García, F. Utilización y Aplicación de Zeolitas Naturales: Su Importancia en México; Universidad Autónoma de Chihuahua: Chihuahua, Mexico, 2019. ISBN 978-607-536-026-3

Yadav, P. K., Bhujel, P., Bhandari, N., Sharma, S., Sharma, A. (2025). Screening tomato genotypes for early-stage drought tolerance using polyethylene glycol-induced osmotic stress. *BMC Plant Biol*. 25(1):1476. https://doi.org/10.1186/s12870-025-07508-4

IMPORTANCIA Y DIFERENCIACIÓN DE ATRIBUTOS SENSORIALES EN *Opuntia* AGROECOLÓGICA DEL SEMIDESIERTO MEXICANO

Rafael García Vázquez[1]*, Blanca Isabel Sánchez Toledano[2], Marco Andrés López Santiago[1]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Ctra. Gómez Palacio-Chihuahua km 40. C.P. 35230. Bermejillo, Durango, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas. Ctra. Zacatecas - Fresnillo km 24.5. C.P. 98500. Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México. *Autor de correspondencia: garciarafael154@gmail.com

Introducción

La tuna (*Opuntia ficus-indica*) representa uno de los recursos fitogenéticos más emblemáticos y resilientes de las zonas áridas y semiáridas a nivel global (Naorem et al., 2024). En México, que es su centro de origen y domesticación, este cultivo responde a una necesidad agronómica frente a la escasez hídrica y, al mismo tiempo, constituye un patrimonio arraigado a la identidad del semidesierto mexicano (Severiano-Hernández et al., 2025). El estado de Zacatecas destaca como una región estratégica productora (Sánchez-Toledano & Zegbe, 2021), donde recientemente ha crecido el impulso hacia sistemas agroecológicos para satisfacer a consumidores que valoran la inocuidad y la calidad ligada al territorio.

El estudio de la calidad de la tuna se ha dirigido predominantemente a determinaciones fisicoquímicas, lo que resulta insuficiente para describir la complejidad de la experiencia de consumo (Tunç et al., 2025). Actualmente existe un notable vacío respecto al perfilamiento descriptivo y la creación de un lenguaje sensorial común. Por este motivo, la presente investigación tuvo como objetivo caracterizar el perfil sensorial de la tuna agroecológica producida en Zacatecas mediante un panel entrenado y herramientas estadísticas multivariadas, buscando determinar los atributos discriminantes para la especie.

Materiales y métodos

El estudio evaluó tres cultivares comerciales provenientes de la localidad de San Ramón, Zacatecas: Blanca Cristalina (M253), Roja Pelón (M647) y Amarilla Plátano (M874). El sistema de producción se distinguió por un manejo agroecológico que sustituyó los insumos sintéticos mediante dos estrategias biotecnológicas: nutrición edáfica con bocashi a razón de 6.6 kilogramos por planta y protección fitosanitaria con caldo sulfocálcico.

La evaluación se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis Sensorial del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Zacatecas. Se capacitó a un panel de 35 jueces con 160 horas de entrenamiento específico en descriptores de la especie y uso de escalas sensoriales. Mediante el Análisis Descriptivo Spectrum y una escala universal de 150 puntos, el panel evaluó 41 atributos relacionados con aroma, sabor, apariencia y textura (Lawless & Heymann, 2010). Las muestras se presentaron bajo un diseño de bloques completos aleatorizados y en doble ciego (Di Monaco et al., 2004).

Los datos recolectados se analizaron mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) y una prueba post-hoc de Tukey para identificar diferencias significativas (Agbangba et al., 2024). Con los atributos discriminantes, se ejecutó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para tipificar los perfiles sensoriales y visualizar la estructura subyacente de los datos (García-Vázquez et al., 2024).

Resultados y discusión

El análisis del perfil aromático reveló marcadas diferencias estadísticas entre las variedades evaluadas. El cultivar M253 destacó por presentar una intensidad aromática superior dominada por notas verdes, nopal, toques fermentados y cítricos (Cuadro 1).

Cuadro 1. ANOVA y prueba post-hoc para atributos de aroma en tuna

Atributo	Estadístico F	Significancia estadística	M253	M647	M874
Notas verdes	54.85	<0.001	72.00 $\pm$ 37.64[b]	8.00 $\pm$ 19.97[a]	12.86 $\pm$ 24.80[a]
Fermentado	10.32	<0.001	46.29 $\pm$ 51.11[b]	15.43 $\pm$ 32.39[a]	8.00 $\pm$ 23.11[a]
Cítrico	15.65	<0.001	48.29 $\pm$ 46.49[b]	9.71 $\pm$ 23.58[a]	10.29 $\pm$ 23.70[a]
Nopal	13.49	<0.001	70.29 $\pm$ 49.68[b]	28.00 $\pm$ 40.35[a]	22.57 $\pm$ 34.84[a]
Fresco	6.27	0.003	45.59 $\pm$ 53.38[a]	71.43 $\pm$ 52.42[ab]	93.14 $\pm$ 61.20[b]

Nota: Los valores representan la media $\pm$ desviación estándar ($n = 35$). Letras en superíndices distintas (a, b) dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre variedades según la prueba post-hoc ($p \leq 0.05$). El valor F corresponde al ANOVA de un factor.

La evaluación de los atributos de sabor (Cuadro 2) mostró un comportamiento similar al observado en el perfil aromático. Cuatro descriptores presentaron diferencias significativas: frutal, intensidad, nopal y notas verdes. La variedad M253 registró un impacto sensorial significativamente superior en boca.

Cuadro 2. ANOVA y prueba post-hoc para atributos de sabor en tuna

Atributo	Estadístico F	Significancia estadística	M253	M647	M874
Frutal	6.65	0.002	66.29 $\pm$ 51.97[b]	40.29 $\pm$ 44.29[a]	28.00 $\pm$ 37.09[a]
Intensidad	19.00	<0.001	89.43 $\pm$ 40.94[b]	35.14 $\pm$ 44.22[a]	34.00 $\pm$ 43.74[a]
Nopal	10.85	<0.001	61.43 $\pm$ 44.00[b]	23.14 $\pm$ 35.21[a]	24.86 $\pm$ 36.73[a]
Notas verdes	24.29	<0.001	57.71 $\pm$ 47.22[b]	8.00 $\pm$ 19.97[a]	12.00 $\pm$ 25.87[a]

Nota: Los valores representan la media $\pm$ desviación estándar ($n = 35$). Letras en superíndices distintas (a, b) dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre variedades según la prueba post-hoc ($p \leq 0.05$). El valor F corresponde al ANOVA de un factor.

En contraste, la variedad M874 se diferenció en su mecánica oral al registrar el valor estadístico más elevado en jugosidad, y compartir con la M253 las mayores intensidades de “crujiente” (Cuadro 3). Este cultivar representa un perfil más ligero y refrescante (Véase Cuadro 1 y 2). Por su parte, la variedad M647 exhibió un comportamiento intermedio en la mayoría de los atributos, caracterizándose principalmente por una mayor homogeneidad visual en su pulpa y un tamaño de semilla significativamente mayor al de las demás.

Cuadro 3. ANOVA y prueba post-hoc para atributos de textura y apariencia en tuna

Atributo	Estadístico F	Significancia estadística	M253	M647	M874
Superficie	6.98	0.001	85.71 $\pm$ 43.00^{b}	50.57 $\pm$ 41.72^{a}	66.57 $\pm$ 32.71^{ab}
Homogeneidad	12.86	<0.001	40.86 $\pm$ 32.48^{a}	79.43 $\pm$ 42.21^{b}	88.29 $\pm$ 48.54^{b}
Tamaño de semilla	3.38	0.038	53.43 $\pm$ 38.95^{a}	74.57 $\pm$ 37.29^{b}	58.86 $\pm$ 28.88^{ab}
Cantidad de semilla	3.12	0.049	65.71 $\pm$ 41.61^{a}	85.14 $\pm$ 33.02^{a}	69.43 $\pm$ 27.65^{a}
Jugosidad	3.56	0.032	90.86 $\pm$ 32.21^{ab}	84.00 $\pm$ 31.83^{a}	106.00 $\pm$ 41.03^{b}
Crujiente	6.15	0.003	91.43 $\pm$ 30.98^{b}	59.71 $\pm$ 34.60^{a}	86.57 $\pm$ 53.13^{b}

Nota: Los valores representan la media $\pm$ desviación estándar ($n = 35$). Letras en superíndices distintas (a, b) dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre variedades según la prueba post-hoc ($p \leq 0.05$). El valor F corresponde al ANOVA de un factor.

El ACP logró retener el 58.36% de la varianza total en dos dimensiones, aislando espacialmente a las tres variedades (Figura 1). Estos patrones confirmaron que los panelistas detectaron identidades altamente diferenciadas. El cultivar M253 se ubicó en el cuadrante positivo derecho, mostrando una fuerte asociación con los vectores de intensidad, aroma/sabor a nopal, notas verdes y cítrico.

La muestra M874 se proyectó hacia el cuadrante superior izquierdo. Su ubicación cercana a la jugosidad, crujiente y aroma fresco, y distante de los vectores de notas verdes, confirma que su identidad sensorial no se basa en la potencia del sabor vegetal, sino en su mecánica oral (textura y frescura). Este cultivar representa un perfil más ligero y refrescante.

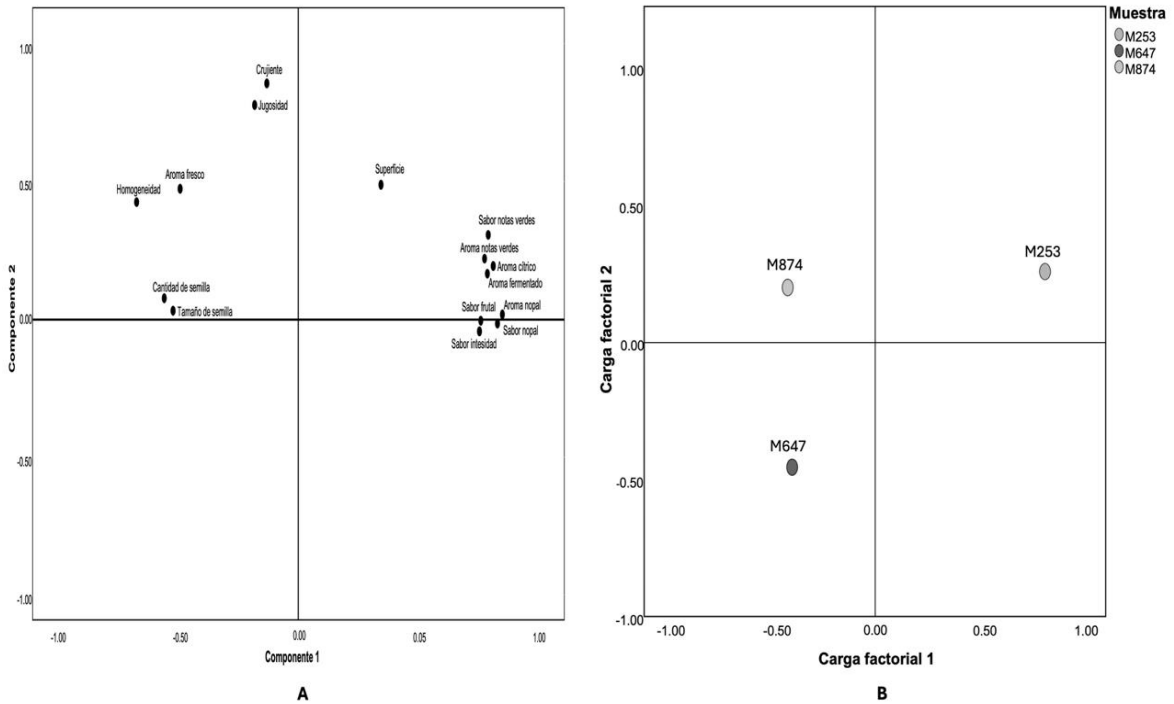


Figura 1. ACP y la distribución de los atributos sensoriales en el plano factorial (A); ACP mostrando la distribución de los cultivares de tuna (B).

En concordancia con la literatura científica reciente, la jugosidad y el dulzor se confirman como impulsores primarios de calidad (Sakar et al., 2024; Tunç et al., 2025). Sin embargo, este estudio evidencia que la tuna agroecológica no es un producto homogéneo. La aplicación de las herramientas descriptivas suple la carencia de investigaciones orientadas a evaluar cómo la variabilidad del cultivo se traduce en la percepción del consumidor, este es un paso estratégico para posicionar a la tuna zacatecana en nuevos nichos de mercado.

Conclusiones

La evaluación descriptiva permitió establecer perfiles de identidad únicos, concluyendo que la variedad M874 constituye el arquetipo de calidad textural ideal para el consumo en fresco, mientras que la M253 destaca por su complejidad aromática y notas vegetales, perfilándose como un fruto de especialidad. El estudio confirmó que la caracterización sensorial mediante un panel entrenado es indispensable para la valorización de cultivos agroecológicos. La capacidad del panel para discriminar atributos complejos aportó una dimensión de análisis que valida la riqueza organoléptica de la tuna más allá de sus parámetros fisicoquímicos convencionales.

Referencias

Agbangba, C. E., Aide, E. S., Honfo, H., & Kakai, R. G. (2024). On the use of post-hoc tests in environmental and biological sciences: A critical review. *Heliyon, 10*(3). e25131. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25131

Di Monaco, R., Cavella, S., Di Marzo, S., & Masi, P. (2004). The effect of expectations generated by brand name on the acceptability of dried semolina pasta. *Food Quality and Preference, 15*(5), 429-437. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2003.07.003

García-Vázquez, R., Sánchez-Toledano, B. I., López-Santiago, M. A., & Valdivia-Alcalá, R. (2024). Innovación en tecnología alimentaria: caracterización hedónica de quesos funcionales con harina de frijol. *Revista fitotecnia mexicana*, *47*(1), 43-51. https://doi.org/10.35196/rfm.2024.1.43

Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food: principles and practices (2da ed.).* Springer Science & Business Media. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5

Naorem, A., Patel, A., Hassan, S., Louhaichi, M., & Jayaraman, S. (2024). Global research landscape of cactus pear (Opuntia ficus-indica) in agricultural science. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 8,* 1354395. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1354395

Sakar, E., Ercisli, S., Durul, M. S., Singh, M., Anjum, M. A., Orhan, E., & Kan, T. (2024). Sensory, morphological, biochemical, and antioxidant characteristics of the fruits of different Cactus Pear (Opuntia ficus-indica Mill.) genotypes. *Genetic Resources and Crop Evolution, 71*(3), 1013-1023. https://doi.org/10.1007/s10722-023-01673-x

Sánchez-Toledano, B. I., & Zegbe, J. A. (2021). Economic indices for the application of irrigation to enhance cactus pear fruit yield. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology, 39*(1), 73-81. https://doi.org/10.9734/ajaees/2021/v39i130504

Severiano-Hernández, B., Jiménez-Salgado, T., Tapia-Hernández, R. A., Romero-Arenas, O., & Rivera, A. (2025). Importance of prickly pear (Opuntia spp) cultivation for sustainable agricultural systems and climate change resilient. *GSC Advanced Research and Reviews, 23,* 117-123. https://doi.org/10.30574/gscarr.2025.23.3.0154

Tunç, Y., Yaman, M., Yılmaz, K. U., Khadivi, A., & Mishra, D. S. (2025). Biochemical, nutritional, and nutraceutical properties of cactus pear accessions. *Scientific Reports, 15*(1), 19755. https://doi.org/10.1038/s41598-025-04726-6

BIOCHAR Y ZEOLITA COMO ENMIENDAS DEL SUELO Y SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO DE LA PLANTA Y EL RENDIMIENTO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) BAJO DOS CONTENIDOS DE HUMEDAD DEL SUELO

José Antonio Miranda Rojas[1], Aurelio Pedroza-Sandoval[1*]

[1] Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, km. 40 Carr. Gómez Palacio - Chihuahua, C.P. 35230, Bermejillo, Dgo. *Autor de correspondencia: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

La disponibilidad de agua es uno de los principales factores que limitan la producción agrícola en regiones áridas y semiáridas, donde el déficit hídrico puede afectar procesos fisiológicos, crecimiento y rendimiento de los cultivos. En tomate la reducción de la disponibilidad de agua puede disminuir la asimilación de CO_2, el crecimiento vegetativo y la producción; sin embargo, el uso de enmiendas al suelo con productos como el biochar y la zeolita ha mostrado potencial para atenuar algunos de estos efectos (Murtaza et al., 2024; Liu et al., 2026). El biochar es un compuesto orgánico que puede modificar propiedades del suelo relacionadas con la disponibilidad de agua y nutrientes; mientras que la zeolita es un producto mineral natural que, debido a sus propiedades de intercambio catiónico y retención de agua, ha mostrado efectos favorables sobre el crecimiento y rendimiento del tomate bajo condiciones de disponibilidad limitada de agua (Abildayev et al., 2025; Alamro, 2026). De esta manera, el uso de enmiendas al suelo y un manejo adecuado de la humedad edáfica podría contribuir a mejorar el establecimiento y productividad del cultivo en ambientes con disponibilidad limitada de agua. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del biochar y la zeolita sobre el crecimiento y rendimiento de tomate bajo contenido optimo y subóptimo de humedad del suelo.

Materiales y métodos

Ubicación geográfica del área de estudio*.* El estudio se llevó a cabo en el campo experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) – Universidad Autónoma Chapingo (UACh) situada en Bermejillo, Mapimí, Durango, México. El sitio experimental se encuentra a 25°53′33″ N y 103°36′09″ O, a una altitud de 1,100 m y presenta un clima BWhw según la clasificación climática de Köppen adaptada a México, correspondiente a un clima semicálido muy seco con lluvias en verano e invierno fresco (García, 2024).

Diseño experimental. Se estableció un experimento bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas subdivididas con tres repeticiones. Las parcelas grandes fueron las dosis de zeolita 0 (sin zeolita) y 5 t ha^{-1}; las parcelas medianas correspondieron a dos niveles de humedad del suelo: contenido óptimo de humedad del suelo (COHS, 30 ± 2 %) y contenido subóptimo (CSHS, 25 ± 2 %); las parcelas pequeñas fueron tres dosis de biochar: 0, 5 y 10 t ha^{-1}. Cada unidad experimental consistió en una cama de 1 m de ancho × 8 m de largo, con dos hileras de plantas separadas 30 cm entre sí y una distancia de 20 cm entre plantas dentro de cada hilera. Se evaluaron la altura de planta, diámetro de tallo y rendimiento del cultivo de tomate. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), con uso del software SAS versión 9.0.

Resultados y discusión

Los resultados mostraron una respuesta diferencial del tomate a la condición de humedad del suelo, así como a la aplicación de zeolita y biochar. En dos de las tres variables medidas se registraron mayores valores bajo el contenido óptimo de humedad del suelo (COHS) en comparación con el contenido subóptimo (CSHS). La altura de planta bajo COHS fueron superiores a los registrados bajo CSHS en todos los tratamientos. En presencia de zeolita, las plantas con 5 y 10 t ha^{-1} de biochar alcanzaron alturas cercanas a 69 cm, mientras que el tratamiento sin biochar presentó aproximadamente 64 cm bajo COHS. Sin zeolita, la respuesta fue más contrastante, destacando el tratamiento con 10 t ha^{-1} de biochar, que alcanzó 81 cm, el mayor valor registrado para esta variable (Figura 1).

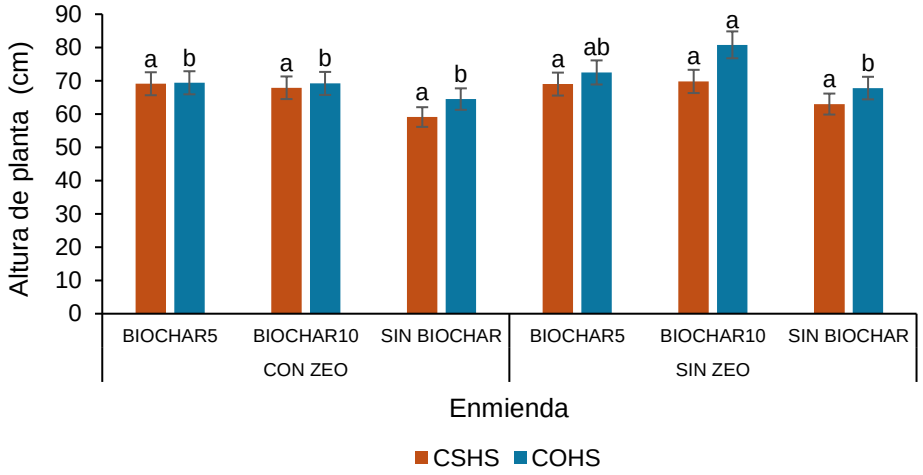


Figura 1. Efecto de la aplicación de zeolita y biochar en altura de planta de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo contenido subóptimo de humedad del suelo (CSHS, 20 ± 2 %) y contenido óptimo de humedad del suelo (COHS, 25 ± 2 %). Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Barras del mismo color con las mismas letras, significa que son estadísticamente iguales. BIOCHAR 5 es 5 t ha^{-1} de biochar; BIOCHAR10 es 10 t ha^{-1} de biochar; ZEO es 5 t ha^{-1} zeolita.

El diámetro de tallo presentó un comportamiento completamente estable sin variación significativa ($p < 0.05$) entre tratamientos de las enmiendas del suelo en ambos contenidos de humedad del suelo: favorable (COHS) y desfavorable (CSHS) (Figura 2).

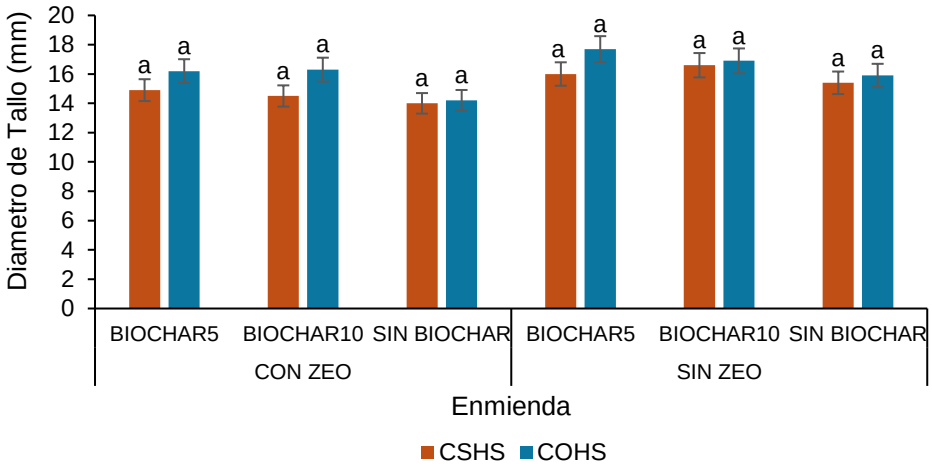


Figura 2. Efecto de la aplicación de zeolita y biochar en el diámetro de tallo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo contenido subóptimo de humedad del suelo (CSHS, 20 ± 2 %) y contenido óptimo de humedad del suelo (COHS, 25 ± 2 %). Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Barras del mismo color con las mismas letras, significa que son estadísticamente iguales. BIOCHAR 5 es 5 t ha^{-1} de biochar; BIOCHAR10 es 10 t ha^{-1} de biochar, ZEO es 5 t ha^{-1} de zeolita.

El efecto de los tratamientos fue más evidente en el rendimiento de tomate. Bajo COHS, la producción fue considerablemente mayor que bajo CSHS en todos los tratamientos. El mayor rendimiento se obtuvo con la combinación de aplicar de 5 t ha^{-1} zeolita y 10 t ha^{-1} de biochar, aunque el tratamiento con 10 t ha^{-1} de biochar sin zeolita presentó el valor máximo con 30.3 t ha^{-1}. Lo anterior podría estar relacionad a un efecto inhibitorio de la zeolita al aplicarse junto con otros productos como lo han reportado algunos autores (Rivera et al., 2021; Torri et al., 2021). En contraste, bajo CSHS los rendimientos fueron considerablemente menores, con valores que oscilaron entre 3 y 10 t ha^{-1}, lo que muestra la baja capacidad de respuesta de ambas enmiendas bajo condiciones de déficit hídrico (Figura 3).

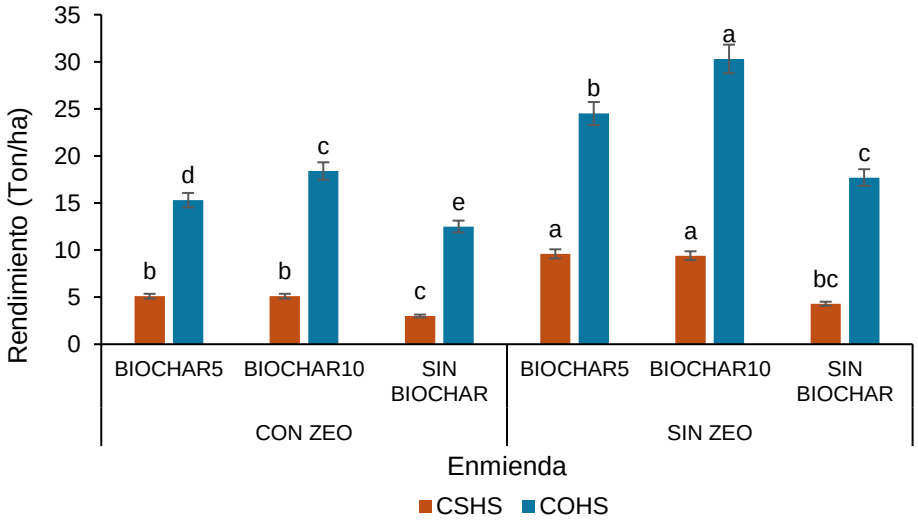


Figura 3. Efecto de la aplicación de zeolita y biochar sobre el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo dos condiciones de humedad del suelo: contenido subóptimo (CSHS, 20 ± 2 %) y contenido óptimo (COHS, 25 ± 2 %). Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Barras del mismo color con las mismas letras, significa que son estadísticamente iguales. BIOCHAR 5 es 5 t ha^{-1} de biochar; BIOCHAR10 es 10 t ha^{-1} de biochar, ZEO es 5 t ha^{-1} de zeolita.

Conclusión

El biochar mostró un efecto favorable sobre el crecimiento de la planta y el rendimiento del tomate, particularmente a una dosis de 10 t ha^{-1}, donde se observaron los mayores rendimientos bajo contenido óptimo de humedad del suelo (30% ±2). En contraste, la aplicación conjunta de zeolita y biochar mostró una respuesta menos favorable que el uso de biochar sin zeolita. Estos resultados resaltan el potencial del biochar como enmienda del suelo para favorecer la productividad del tomate a campo abierto bajo condiciones de disponibilidad limitada de agua en ambientes extremos como las zonas áridas del norte de México.

Refencias

Abildayev, Y., Yessenbayeva, J., Vassilina, T., Yeleuova, E., Zhussupova, L., Uspabayeva, A., Baiseitova, N., & Azhmoldaeva, K. (2025). Natural zeolite enhances tomato yield, reduces nitrate accumulation, and immobilizes heavy metals in fertilized dark chestnut soil. Eurasian Journal of Soil Science, 14(3), 262-269. https://doi.org/10.18393/ejss.1703804

Alamro, S. A. (2026). Effect of natural zeolite on water use efficiency, growth and yield of tomato under drought conditions. Asian Journal of Applied Botany. https://doi.org/10.35495/ajab.2025.313

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México: 90 p. ISBN 970-32-1010-4

Liu, Y., Zhang, C., Yang, Q., Guo, J., Wang, H., Cheng, M., Li, J., Zhang, L., Li, Y., Pu, Y., Chen, Z., & Li, Y. (2026). Combined water and biochar application increases tomato yield and quality through modulation of soil properties and rhizosphere microbial communities. Journal of Agriculture and Food Research, 27, 102847. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2026.102847

Murtaza, G., Usman, M., Iqbal, J., Tahir, M.N., Elshikh, M.S., Alkahtani, J., et al. (2024) The Impact of Biochar Addition on Morpho-Physiological Characteristics, Yield and Water Use Efficiency of Tomato Plants under Drought and Salinity Stress. BMC Plant Biology, 24, Article No. 356. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05058-9

Rivera, F. R. D.; Mora, M. C.; Moreira S. J. R.; Mendoza, I. D. A. (2021). Effects of hydrogel on moisture volume in soils with different textures. La Granja. 33(1):67-75. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7825769

Torri, S. I.; Amaturo, J. I.; Sánchez, L.; Pacheco-Rudz, E. O. (2021). Effect of zeolites on specific properties of a soil amended with biosolids. Rev. Int. Contam. Ambie. 37, 419-430. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10839811

RETENCIÓN DE HUMEDAD EN DOS SUSTRATOS CON TRES PROPORCIONES DE HIDROGEL, PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTA EN VIVERO

Genaro Esteban García-Mosqueda[1*], Miriam Joselin Cerda-Mora[1], Sergio Braham-Sabag[1], Melchor García-Valdez[1], Dora Alicia García-García[2]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento Forestal, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. [2]INIFAP. Campo Experimental Saltillo, Carr. Saltillo-Zacatecas km 342, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. *Autor de correspondencia: gegrmo2003@gmail.com

Introducción

La importancia del hidrogel radica en su potencial para incrementar la eficiencia en el uso del agua, un desafío clave en la producción vegetal. Frente a la reducción de recursos hídricos y los altos costos de tecnologías de riego más complejas, el hidrogel se presenta como una alternativa económica y funcional, capaz de mejorar la retención de humedad en el sustrato, favorecer la absorción de nutrientes y reducción de la frecuencia de riego (Deminski, 2024).

En este contexto la presente investigación busca contribuir a la administración eficiente del recurso hídrico en viveros forestales mediante la incorporación de hidrogel en los sustratos. Para ello, se evaluó el uso de polímeros absorbentes de agua en tres diferentes proporciones, aplicados en dos de los sustratos orgánicos más comúnmente utilizados en viveros forestales. Se espera que los resultados generen evidencia científica que respalde la aplicación de esta tecnología en la producción de plantas bajo contenedor, promoviendo un manejo más racional del agua y el desarrollo de prácticas productivas sostenibles frente a los retos ambientales actuales.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en el Laboratorio de Germoplasma del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en Buenavista, Saltillo, Coahuila. El sitio se localiza en las coordenadas 25°21'9.27" Latitud Norte y 101° 1'37.51” Longitud Oeste; a una altitud de 1787 m.s.n.m. (Figura 1).

Se utilizaron dos mezclas de sustrato, cuya diferencia radicó en el origen de la materia orgánica. Una fuente de materia orgánica fue el peat moss, la otra fuente fue triturado de fibra de coco. Los otros dos componentes de las mezclas fueron vermiculita y perlita. La proporción utilizada para ambas mezclas fue 1:1:1, considerando dicha proporción con fines experimentales. El peat moss fue previamente cribado y posteriormente se incorporó la vermiculita y la perlita hasta obtener una mezcla homogénea. La fibra de coco se utilizó en su presentación original, sin modificaciones. Se emplearon tubetes tipo SUPERCELL de 125 ml, organizados en charolas con capacidad para 49 unidades cada una. Para el establecimiento del experimento se dispusieron tres charolas sobre una superficie fija, conformando un total de 80 unidades experimentales. El hidrogel de poliacrilato de sodio se pesó en cantidades de 0.5 g, 0.75 g y 1 g utilizando una báscula granataria calibrada. Cada dosis se incorporó de manera homogénea a 125 ml del sustrato (Cuadro1).

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en el experimento.

Tratamientos	Descripción
T1	0.5 g de hidrogel incorporado al sustrato de peat moss
T2	0.75 g de hidrogel incorporado al sustrato de peat moss
T3	1 g de hidrogel incorporado al sustrato de peat moss
T4	0.5 g de hidrogel incorporado al sustrato de fibra de coco
T5	0.75 g de hidrogel incorporado al sustrato de fibra de coco
T6	1 gramo de hidrogel incorporado al sustrato de fibra de coco
T7 Testigo	Sustrato de peat moss
T8 Testigo	Sustrato de fibra de coco

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar (DCA). La unidad experimental consistió en un tubete Supercell con 125 ml de sustrato. Se evaluaron dos sustratos (peat moss y fibra de coco) combinados con tres dosis de hidrogel (0.5 g, 0.75 g y 1 g), además de dos tratamientos testigo sin incorporación de hidrogel. En total se generaron 8 tratamientos, cada uno con diez repeticiones, lo que resultó en 80 unidades experimentales.

Todas las unidades experimentales fueron sometidas a un riego inicial por inmersión durante un periodo de 24 horas. Para la evaluación: las mediciones se realizaron, sin aplicaciones adicionales de riego. Las fechas seleccionadas para el análisis estadístico correspondieron a los días 10 y 18 del periodo experimental. El día 10 se tomó como primer punto de evaluación debido a que el tratamiento “Testigo o T7” elaborado con peat moss, perlita y vermiculita alcanzó el 100% de la pérdida de humedad, constituyendo un punto crítico para establecer comparaciones con los demás tratamientos. La segunda evaluación se realizó el día 18, ya que para entonces la mayoría de los tratamientos se encontraban próximos a alcanzar el 100% de pérdida de humedad. Aunque algunos aún no llegaban completamente a este valor, dicho momento representó el límite práctico del experimento.

Variables evaluadas

Masa (g). Registrada diariamente mediante una báscula granataria calibrada.

Humedad relativa del sustrato (%). Calculada utilizando la expresión:

$$H(\%) = \frac{Pd - Ps}{Pr - Ps} * 100$$

Donde: $H(\%)$ indica el porcentaje de humedad de la muestra; Pd es el peso diario; Ps el peso seco; y Pr el peso posterior al riego (FAO, 2020).

Temperatura y humedad relativa del ambiente. registrada diariamente mediante un termómetro digital con sensor de humedad (Steren).

Análisis estadístico. El diseño experimental fue completamente al azar, de acuerdo:

$$Yij = \mu + \tau i + \epsilon ij$$

Donde: μ es el parámetro de escala común a todos los tratamientos, llamado media global, τi es el parámetro que mide el efecto del tratamiento i. ϵij es el error atribuible a la medición Yij.

Los datos se analizaron mediante un ANOVA de un factor, empleando el software R (versión 4.5.2). previo al análisis se verificaron los supuestos del modelo mediante:

- Prueba de Shapiro-Wilk para normalidad
- Pruebas de Levene y Bartlett para homogeneidad de varianzas
- Gráficos diagnósticos (QQ-plot y residuos vs valores ajustados)
- Comparaciones múltiples (Tukey HSD). Para el caso de detectar diferencias estadísticamente significativas.

Resultados y discusión

Las figuras 2 y 3 permiten identificar de forma clara el comportamiento de la pérdida de humedad en los dos sustratos evaluados. En ambas graficas se observa que el peat moss (señalado en color naranja) muestra valores considerablemente mayores de pérdida de humedad en comparación con la fibra de coco (color azul).

Desde los primeros días del experimento, el peat moss presenta un incremento acelerado en la deshidratación, alcanzando porcentajes elevados en un corto intervalo de tiempo. Por el contrario, la fibra de coco mantiene niveles menores de pérdida de humedad, con una progresión más gradual y estable. Esta diferencia en la distribución de los datos evidencia que el comportamiento de los tratamientos es notoriamente distinto y que la capacidad de retención de agua varía entre ellos.

En términos generales, la fibra de coco se muestra como un material con mayor capacidad de retención de humedad, mientras que el peat moss experimenta una deshidratación más rápida e intensa. Lo cual concuerda con Reyes Muñiz (2024), quien indica que la fibra de coco posee mayor estabilidad estructural, mejora la aireación, así como librera el agua de forma más gradual que el peat moss (Hernández Escobar, 2009).

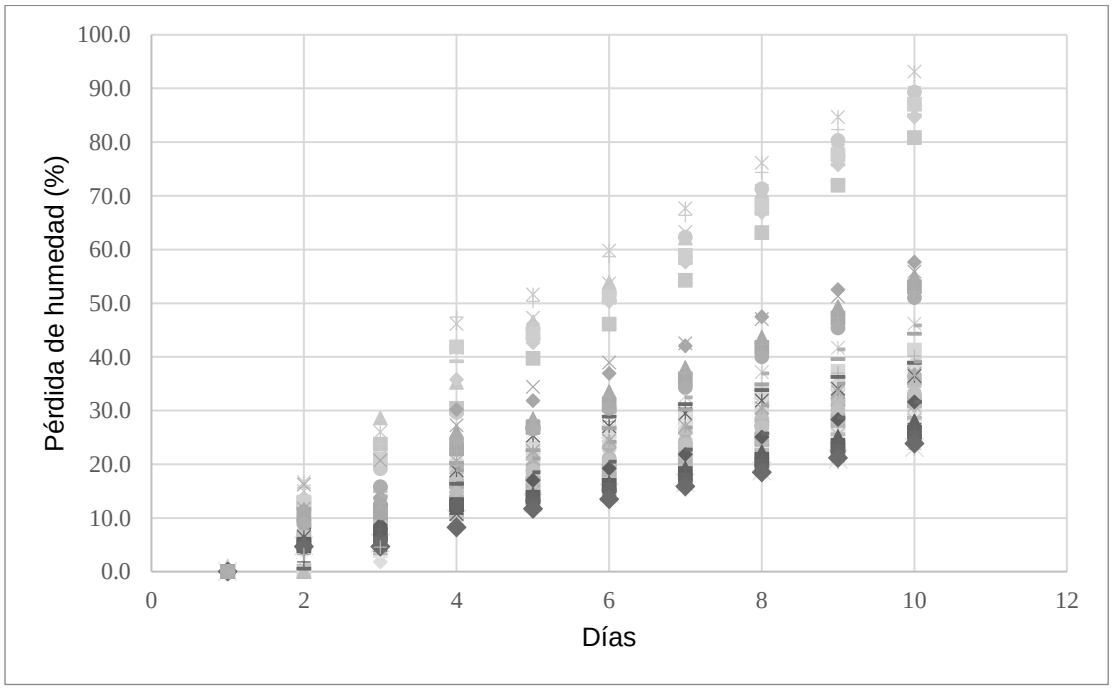


Figura 1. Pérdida de humedad Día 10, fibra de coco (gris oscuro) Peat moss (gris claro y blanco)

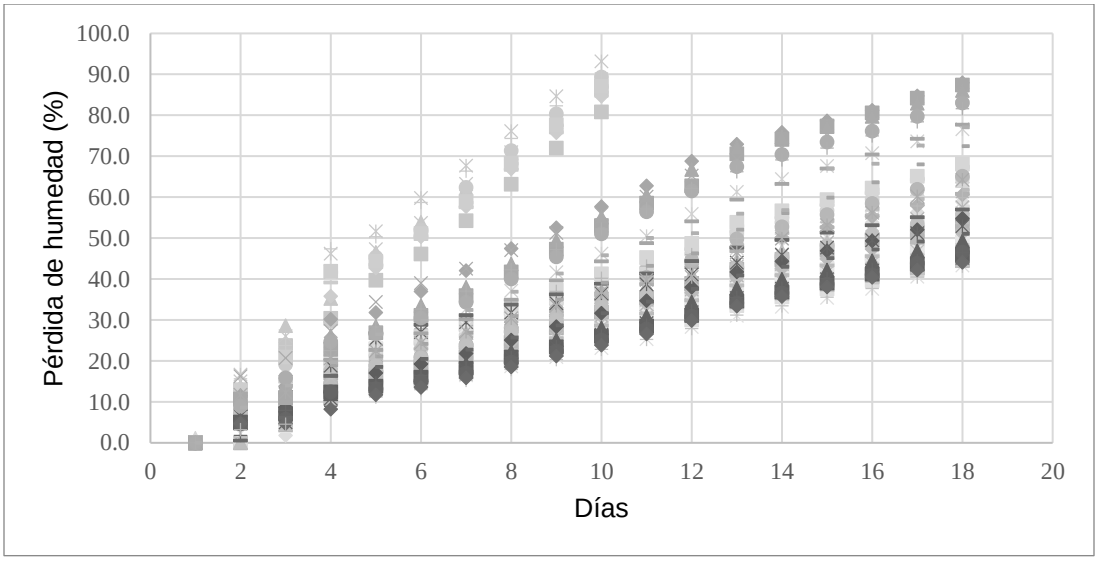


Figura 2. Pérdida de humedad Día 18, fibra de coco (gris oscuro) Peat moss (gris claro y blanco).

Comparaciones múltiples (Tukey HSD). En el día 10, los tratamientos T3 y T2 de peat moss se agruparon, lo que muestra que ambas dosis de hidrogel produjeron un efecto semejante sobre la retención de agua. El tratamiento T1 se separó de ellos, reflejando una pérdida mayor; y el testigo T7 formó un grupo independiente al ser el que mostró la pérdida de humedad más alta. En la fibra de coco, las tres dosis evaluadas (T5, T6, y T4) quedaron en el mismo grupo, lo que sugiere que en este sustrato las cantidades de hidrogel no generaron diferencias marcadas durante los primeros 10 días. El testigo T8, por su parte, mostró un comportamiento significativamente diferente, con mayor pérdida de humedad que los tratamientos con hidrogel. Esto concuerda con lo que señala Rivera Fernández (2018), que indica que la interacción hidrogel y sustrato, puede variar de acuerdo a la textura y la compactación del medio (Cuadro 2).

Cuadro 2. Grupos día 10 (Tukey α=0.05)

Sustrato	Tratamiento	Media	Grupo
Peat moss	T3	28.85	a
Peat moss	T2	30.68	a
Peat moss	T1	40	b
Peat moss	T7	87.04	c
Fibra de coco	T5	27.92	a’
Fibra de coco	T6	29.42	a’
Fibra de coco	T4	33.99	a’
Fibra de coco	T8	49.08	b’

Para el día 18, los tratamientos de peat moss volvieron a separarse en tres grupos, lo que indica que la pérdida de humedad se incrementó en distintos niveles según la dosis aplicada. En la fibra de coco, los tratamientos T5 y T6 permanecieron agrupados, mientras que T4 y el testigo T8 se ubicaron en grupos distintos, lo que confirma diferencias más claras conforme avanzó el periodo de evaluación. Lo cual concuerda con lo explicado por Jahangir Abedi Koupai (2008), quien indica que las dosis de hidrogel más elevadas mantienen la humedad conforme se acerca el punto de marchitez (Cuadro 3).

Cuadro 3. Grupos día 18 (Tukey α=0.05)

Sustrato	Tratamiento	Media	Grupo
Peat moss	T3	48.37	a
Peat moss	T2	53.58	b
Peat moss	T1	67.72	c
Fibra de coco	T5	48.6	a’
Fibra de coco	T6	49.33	a’
Fibra de coco	T4	57.91	b’
Fibra de coco	T8	80.25	c’

En el presente estudio, un hallazgo relevante fue que alrededor de los 10 días el sustrato a base de peat moss alcanzó el 100% de pérdida de humedad; mientras que el sustrato a base de fibra de coco conservó entre un 50 y 80 % de humedad, cual coincide con lo reportado por Hernández (2007) y K.C. Taylor (1986), quienes indican que el agregar hidrogel reduce la frecuencia del riego, dependiendo del sustrato.

Cabe señalar que el estudio se realizó únicamente con sustratos, no incluyendo plantas, por lo que las tasas de evaporación corresponden a las propiedades físicas de los sustratos utilizados. Pudiendo cambiar con la incorporación de raíces, de acuerdo a lo indicado por Prieto-Ruíz, (2012).

Conclusiones

Los objetivos planteados se cumplieron satisfactoriamente. Pues fue posible medir la pérdida de humedad en ambos sustratos, identificar el tiempo en el que se acercan al punto crítico de deshidratación y evaluar la eficacia del hidrogel en cada mezcla. Asimismo, se demostró que el hidrogel ayuda a prolongar la humedad, pero su eficiencia no es uniforme y presenta un límite funcional dentro de cada sustrato, tal como lo indican estudios previos.

Referencias

Deminski, L. B. (2024). Aplicação de hidrogel com dosis de sulfato de potássio no desenvolvimento da soja. Revista Políticas Públicas & Cidades.

FAO. (2020). Soil water content: Gravimetric method - field exercises. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Hernández Escobar, J. L. (2009). Propiedades hídricas de mezclas de sustratos con diferentes proporciones y tamaños de particula (Master's thesis). Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas.

Reyes Muñiz, A. V. (2024). Efecto de bioestimulantes en producción de plantas de maracuyá (Passiflora edulis) con sustrato de fibra de coco en etapa de vivero (Bachelor's thesis, Jipijapa-Unesum).

Rivera Fernández, R. D. (2018). Absorción de agua de hidrogel de uso agrícola y su humedecimiento de tres tipos de suelo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 50(2), 15-21.

Wang, Y. T. (1990). Hydrophilic polymers-Their response to soil amendments and effect on properties of a soilless potting mix. Journal of the American Society for Horticultural Science, 115(6), 943-948.

EFECTO DE LA TAURINA EN LA INTEGRIDAD DE LA MEMBRANA ESPERMÁTICA DE CARNEROS DORPER

Guadalupe Calderón-Leyva[1,2*], Arturo Fraire-Galindo[1], Alejandro Velazquez-Rodríguez[1], Alan Sebastián Alvarado-Espino[1,2], Oscar Ángel-García[1,3]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria, Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe, S/N. Torreón Coahuila, México. [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Producción Animal, Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe, S/N. Torreón Coahuila, México. [3]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Ciencias Medico Veterinarias, Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe, S/N. Torreón Coahuila, México. *Autor de correspondencia: gpecalderon06@gmail.com

Introducción

A nivel mundial la cría de ganado ovino se lleva a cabo de muy diversas formas, proporcionando productos variados como carne, lana o pelo, leche y pieles en un amplio espectro de condiciones ecológicas y socioeconómicas (Morris y Montossi, 2026). En todos los sistemas de producción ovina, los rasgos reproductivos son de gran valor, la eficiencia productiva de los rebaños ovinos puede atribuirse a una mejora en el desempeño reproductivo, a través de la implementación de programas de manejo reproductivo (AL-Jaryan et al., 2023). Para una cría animal eficiente la inseminación artífical (IA) es una herramienta extremadamente versátil y valiosa en conjunto con otras tecnologías reproductivas, se utiliza para aumentar el número de corderos nacidos de sementales de élite, con el fin de acelerar la mejora genética en un rebaño (Spanner et al., 2024). Si bien la IA suele implicar el uso de semen fresco, refrigerado o criopreservado, la IA en ovinos depende principalmente del semen fresco debido a los desafíos asociados con el esperma refrigerado o criopreservado, entre los que se incluyen una calidad espermática comprometida y tasas de fertilidad reducidas (Zhu et al., 2024).

A pesar de los numerosos avances técnicos de las últimas décadas, la IA en ovinos no ha alcanzado el nivel de difusión observado en las industrias bovina o porcina (Cely et al., 2021). En comparación con dichas especies, el espermatozoide de carnero presenta una relación intracelular colesterol/fosfolípidos más baja, lo que lo hace más sensible al choque térmico por frío (Salimi et al., 2023; Spanner et al., 2024). Durante el almacenamiento del esperma de carnero a 4 °C, los espermatozoides generan una cantidad significativa de especies reactivas del oxígeno (ROS) debido a condiciones de almacenamiento no fisiológicas, lo que provoca estrés oxidativo (Sohail et al., 2026). Aunque los espermatozoides poseen un sistema antioxidante que ayuda a reducir los niveles de ROS, su capacidad para neutralizarlas es limitada, ya que la mayor parte del citoplasma se elimina durante la espermatogénesis y la maduración. Estudios previos han demostrado que un exceso de ROS afecta negativamente la movilidad espermática, la integridad de la membrana, la integridad del acrosoma, la integridad del ADN y la capacidad fecundante (Spanner et al., 2024).
Mitigar el choque térmico por frío mediante la adición de suplementos al medio de conservación podría mejorar la calidad del esperma de carnero. Por consiguiente, la suplementación con antioxidantes en el medio de dilución podría contribuir a mejorar la calidad espermática del carnero al reducir el daño causado por las ROS durante la conservación de los espermatozoides a 4 °C (Zhu et al., 2024; Sohail et al., 2026). El uso de antioxidantes como la taurina, un aminoácido peptídico con amplia gama de efectos biológicos, puede contrarrestar eficazmente los radicales libres de oxígeno, mejorar la inmunidad celular y preservar la calidad seminal, lo que se refleja directamente en la eficiencia reproductiva (Zhang et al., 2021). Por lo anterior el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la taurina sobre la integridad de la membrana espermática en semen fresco de carneros Dorper.

Materiales y métodos

El estudio se realizó de febrero a mayo, en la posta zootécnica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna (25° 41' N, 103° 30' O y 1 122 msnm). Dos veces por semana se colectó el semen de 3 carneros de la raza Dorper (2 a 3 años de edad, con una condición corporal de 3 unidades), inmediatamente después de la colecta, se evaluó el volumen del eyaculado en tubos cónicos graduados, posteriormente la muestra se colocó en baño María a 37° C, se tomaron 10 µL de la muestra, la cual se depositó en una cámara de recuento estándar de 20 µm (Cámara Leja), para ser evaluada mediante un análisis de semen asistido por computadora (CASA; AndroVision, Minitube, Alemania) con un microscopio vertical (AxioScope.A1, Zeiss, Alemania). Se evaluó la motilidad progresiva (%) y la concentración espermática (células/mL) para descartar los eyaculados inviables o de baja calidad.

Después de verificar la calidad espermática se mantuvo el semen a 37°C y se colocaron en un tubo cónico los eyaculados para mezclarlos y evitar efecto individual, se realizó un protocolo de dilución con un diluyente comercial (Optidil^{MR}), hasta obtener una concentración de $120x10^6$ espermatozoides motiles por mL, después se separó en dos alícuotas, a las que se les adicionó con la base del diluyente uno de los dos tratamientos: taurina (TAU; 200mM/mL de eyaculado) o solución salina fisiológica (CONT; 1 mL). Después de adicionar los tratamientos se realizó la evaluación de la viabilidad espermática utilizando la técnica de tinción de eosina-nigrosina mediante microscopía óptica (1000X); también se midió la integridad acrosómica e integridad de la membrana plasmática mediante la prueba de hinchazón hipo osmótica (HOST) (WHO, 2021). Estas evaluaciones se realizaron al momento de adicionar los tratamientos (0 horas), a las 2 y 4 horas posteriores, con el semen fresco conservado en baño María a una temperatura de 37 °C.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza, donde se consideró el efecto del tratamiento, del tiempo de reposo y la interacción tratamiento por tiempo. Una vez observado que existe diferencia estadística se procedió a realizar una prueba de comparación de medias utilizando una *t de Student.* Todos los análisis de datos se realizaron a través paquete estadístico SAS® OnDemand for Academics y se consideró un valor significativo cuando $p<0.05$.

Resultados y discusión

En las figuras 1 y 2 se presenta el porcentaje de espermatozoides vivos y la integridad de la membrana espermática en semen diluido, adicionado con taurina (TAU) o solución salina fisiológica (CONT), estabilizado a 37 °C y evaluado al adicionar los tratamientos, a las 2 y 4 h de reposo. Al momento de adicionar los tratamientos y posteriormente en cada una de las horas de evaluación el semen adicionado con taurina presenta un mayor porcentaje de viabilidad en comparación con el tratamiento control (Figura 1). Cuando se adicionan los tratamientos el porcentaje de viabilidad de los espermatozoides tratados con taurina permanece ligeramente superior (64.87±4.95%) en comparación con la viabilidad de los espermatozoides del tratamiento control (56.91±4.28%), sin mostrarse diferencia estadística entre estas evaluaciones ($p>0.05$).

A las 2 horas de reposo del semen adicionado con taurina permanece más viable que el semen del tratamiento control (65.02±1.87 *vs*. 57.10±2.12; $p<0.05$). Aunque a las 4 h de reposo sigue disminuyendo la viabilidad espermática, sin embargo, no se observa diferencia estadística entre el tratamiento con taurina y el control a las 2 h (57.10±2.12 *vs*. 53.1±11.32). A las 4 horas de reposo se observa menos del 50% de viabilidad espermática en el tratamiento Control.

Al respecto se ha reportado que en machos cabríos lecheros expuestos a estrés por calor, la suplementación con taurina ayudo a proteger la calidad del esperma mediante la optimización del metabolismo del plasma seminal, mejorando la acción antioxidante y regulando el estado endócrino (Fu et al., 2026). Por otro lado Zhang et al. (2021) añadieron taurina al semen de ovino conservado a temperatura ambiente para explorar su efecto y revelaron que una concentración de 20mM de taurina tuvo un efecto positivo en el semen de ovino. Otros autores mencionan que proteger la viabilidad y la membrana celular del semen refrigerado de carnero con dosis de 50 mM de taurina también conservan la motilidad espermática por 6 horas, pero si por el contrario se eleva la concentración de taurina a 100 mM resulta perjudicial para las células (Bucak & Tekin, 2007).

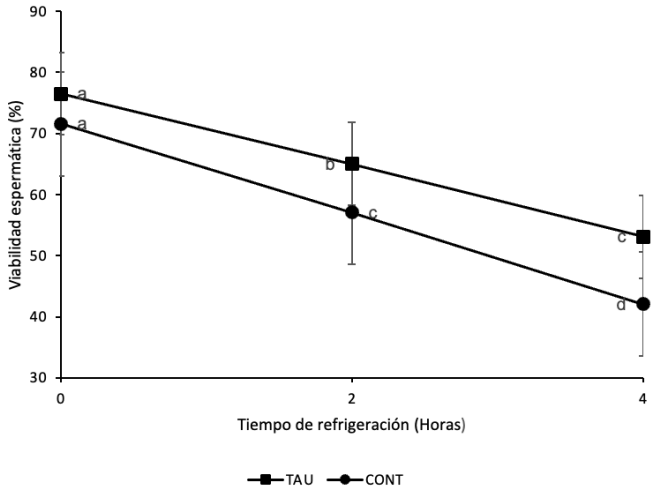


Figura 1. Promedio (±eem) del porcentaje de viabilidad espermática de semen fresco diluido y adicionado con taurina (TAU) o solución salina (CONT) y evaluado al momento de adicionar los tratamientos (0), a las 2 y 4 horas de reposo. [a,b=]Literales diferentes indican diferencia estadistica significativa ($p<0.05$).

En la figura 2 se presenta el porcentaje de espermatozoides con membranas intactas en semen de carneros Dorper diluido y adicionado con taurina (TAU) y solución salina fisiologica (CONT) mantenido a una temperatura de 37° y evaluado al adicionar los tratamientos (0), a las 2 y 4 h de reposo del semen. Se observa diferencia signficativa en cuanto al tratamiento, al tiempo de reposo y a la interacción tratamiento por tiempo de reposo ($p<0.05$).

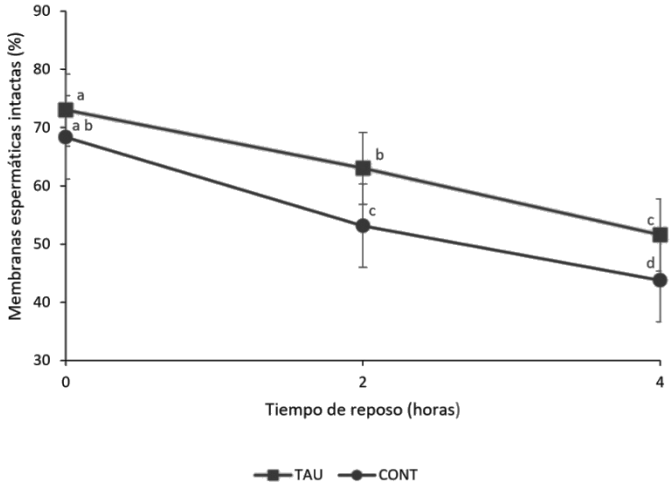


Figura 2. Promedio (±eem) de membranas espermaticas intactas (%) en semen fresco diluido y adicionado con taurina (TAU) o solución salina (CONT) y evaluado al momento de adicionar los tratamientos (0), a las 2 y 4 horas de reposo. [a,b=]Literales diferentes indican diferencia estadistica significativa ($p<0.05$).

En el presente trabajo de investigación al momento de adicionar los tratamientos y posteriormente en cada una de las horas de evaluación el semen adicionado con taurina presenta un mayor porcentaje de espermatozoides con membranas intactas en comparación con el tratamiento Control (62.53±4.87 *vs*. 55.09±4.59). A las 2 horas de reposo del semen, el tratado con taurina permanece con mayor porcentaje de membranas espermáticas intactas, sin mostrarse diferencia estadística al momento de la adición del tratamiento control y a las 2 h de reposo del seme tratado con taurina (68.36±1.96 *vs.* 63.02±1.71; p>0.05). Aunque a las 4 h de reposo sigue disminuyendo la integridad de la membrana espermática, no se observa diferencia estadística entre el tratamiento con taurina y el control a las 2 h (51.56±10.99 *vs.* 53.13±2.47). A las 4 horas de reposo se observa más del 50% de espermatozoides con daños en la membranas con el tratamiento control mientras que con el tratamiento de taurina aún conserva alrededor del 50% de espermatozoides con la membrana espermática integra. El tratamiento control en la integridad de la membrana espermática se comportó de manera similar cuando el semen que se somete a procesos de criopreservación en los cuales causa un gran daño a los espermatozoides, lo que resulta en una disminución de al menos el 50% en la calidad después de la descongelación (Banday et al., 2016).

Por otro lado el uso de taurina a una dosis de 40 mM muestra buenos resultados para proteger la calidad del semen independientemente si se usa en semen fresco (Zhang et al., 2021) o criopreservado. Por ello, se considera como un buen antioxidante en la conservación de semen para optimizar los métodos de congelación (Lone et al., 2021). Halo et al. (2023), reportaron que la taurina se considera un aditivo útil para los diluyentes de semen, ya que mejoran el movimiento de los espermatozoides durante su conservación a 5 °C. Además, de que no afecta negativamente la supervivencia de los espermatozoides ni aumenta el daño por oxidación, por lo que representan una alternativa segura para la conservación y el transporte de dosis de inseminación. La taurina como antioxidante protege el acrosoma proporcionándole una capa extra de glucosa permitiendo su capacitación sin que afecte la viabilidad de los espermatozoides de los cambios externos, manteniéndolo viable para la fertilización de óvulos.

Conclusión

Bajo las condiciones en las que se ha realizado la presente investigación y de acuerdo con los resultados obtenidos concluimos que la taurina adicionada al semen fresco diluido protege la membrana espermática y alarga la vida útil de los espermatozoides hasta por 4 horas de reposo a una temperatura de 37° C.

Referencias

AL-Jaryan, I. L., AL-Thuwaini, T. M., Merzah, L. H., y Alkhammas, A. H. (2023). Reproductive physiology and advanced technologies in sheep reproduction. *Reviews in Agricultural Science*, *11*, 171-180.

Banday, M. N., Lone, F. A., Rasool, F., Rashid, M., y Shikari, A. (2017). Use of antioxidants reduce lipid peroxidation and improve quality of crossbred ram sperm during its cryopreservation. *Cryobiology*. *74*: 25-30. https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2016.12.008

Bucak, M. N., y Tekin, N. (2007). Protective effect of taurine, glutathione and trehalose on the liquid storage of ram semen. *Small Ruminant Research*, *73* (1-3), 103-108. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.12.001

Cely, L. D., Jaramillo, C. X., & Fonseca, M. J. (2021). Efecto de dos diluyentes sobre la tasa de preñez por inseminación artificial laparoscopica en ovinos. *Revista Veterinaria*, *32*(2), 221. https://doi.org/10.30972/vet.3225747

Fu, T., Chen, M., Pan, Y., Wang, X., Bai, X., Pan, M., Ma, B., y Peng, S. (2026). Dietary Taurine Supplementation Improves Sperm Quality and Modulates Seminal Plasma Metabolism in Heat-Stressed Dairy Goat Bucks. *Animals*, *16*(7), 1086–1086. https://doi.org/10.3390/ani16071086

Halo, M., Tirpák, F., Slanina, T., Tokárová, K., Massányi, M., Dianová, L., Mlyneková, E., Greń, A., Halo, M., y Massányi, P. (2023). A Combination of Taurine and Caffeine in Stallion Semen Extender Positively Affects the Spermatozoa Parameters. *Cells*, *12*(2), 320. https://doi.org/10.3390/cells12020320

Lone, F. A., Naikoo, M., Shah, S. M., Darzi, S. A., y Farooq, J. (2021). Effect of idebenone, resveratrol and taurine on the sperm quality and lipid peroxidation of cryopreserved crossbred ram semen. *Cryoletters*, *42*(3), 146-153. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33970992/

Morris, S., y Montossi, F. (2026). Overview of sheep production systems. In *Advances in sheep welfare* (pp. 23-42). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-14048-8.00001-9.

Salimi, A., Eslami, M., & Farrokhi-Ardabili, F. (2023). Influence of *trans*-ferulic acid on the quality of ram semen upon cold preservation. *Veterinary Medicine and Science*, 9, 1369-1378. https://doi.org/10.1002/vms3.1117

Sohail, T., Tharwat, M., Shaukat, A., Nassar, N., Chen, F., Sun, X., Alshanbari, F. A., y Li, Y. (2026). Liquid Storage and Cryopreservation of Ram Semen: Storage-Associated Damage and the Role of Non-Enzymatic Antioxidants. Veterinary sciences, 13(8), 818. https://doi.org/10.3390/vetsci13080818

Spanner, E. A., De Graaf, S. P., y Rickard, J. P. (2024). Factors affecting the success of laparoscopic artificial insemination in sheep. Animal Reproduction Science, 264, 107453.

World Health Organization. (2021). *WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen*. World Health Organization.

Zhang, L., Wang, Y., Sohail, T., Kang, Y., Niu, H., Sun, X., Ji, D., & Li, Y. (2021). Effects of Taurine on Sperm Quality during Room Temperature Storage in Hu Sheep. Animals, 11(9), 2725. https://doi.org/10.3390/ani11092725

Zhu, Z., Li, W., Yang, Q., Zhao, H., Zhang, W., Adetunji, A. O., ... y Min, L. (2024). Pyrroloquinoline quinone improves ram sperm quality through its antioxidative ability during storage at 4° C. *Antioxidants*, *13*(1), 104. https://doi.org/10.3390/ antiox13010104

EFECTO DE LA COMPLEMENTACIÓN CON FOSFOLIPIDOS Y MINERALES SOBRE EL TAMAÑO DE LOS FOLICULOS EN OVEJAS DORPER SINCRONIZADAS AL ESTRO

Luis David Sánchez-Serrano[1], Ana Isabel Aguilar Mejía[2], Fernando Arellano-Rodriguez[3], Alan Sebastián Alarado-Espino[3], Guadalupe Calderón Leyva[3], Sebastián Haro-Lavin[4], Cayetano Navarrete-Molina[2] Oscar Ángel García[2]

[1]Programa Medicina Veterinaria Zootecnia UAAAN UL [2]Departamento de Ciencias Medico Veterinarias, UAAAN UL. [3]Departamento de Producción Animal, UAAAN UL. [4]Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria -UAAAN UL. *Autor para correspondencia: angelgarciao@hotmail.com

Introducción

En la especie ovina (*Ovis aries*), la eficiencia reproductiva está ligada a la tasa ovulatoria y al número de folículos viables durante el ciclo estral (Uribe-Velásquez et al., 2010; Viñoles, 2011). El desarrollo folicular antral se caracteriza por un patrón dinámico estructurado en ondas, mediante el cual grupos de folículos son reclutados sincrónicamente en respuesta a incrementos transitorios en las concentraciones de la hormona folículo estimulante (FSH) (Uribe-Velásquez et al., 2009, 2010; Viñoles, 2011). Durante cada onda folicular, con respecto al cohorte de folículos transita por fases bien definidas de crecimiento, por consiguiente, selección y dominancia o atresia (Uribe-Velásquez et al., 2009, 2010). En las ovejas, se presentan generalmente entre dos y cuatro ondas de desarrollo folicular por ciclo interovulatorio (Uribe-Velásquez et al., 2010; Viñoles, 2011), donde la maduración final y supervivencia del folículo preovulatorio depende del cambio de dependencia trófica de FSH hacia la hormona luteinizante (LH) (Viñoles, 2011).

A diferencia de otras especies rumiantes, el fenómeno de dominancia folicular en la oveja muestra cierta flexibilidad, lo que permite la presencia de co-dominancia y el reclutamiento exitoso de múltiples folículos ovulatorios bajo condiciones metabólicas o farmacológicas propicias (Uribe-Velásquez et al., 2009; Viñoles, 2011). Asimismo, la población y distribución de los folículos (pequeños, medianos y grandes) presenta variaciones asociadas a factores endocrinos, la época del año o el estatus luteal (Gómez Brunet et al., 1995; Uribe-Velásquez et al., 2010). La foliculogénesis es un proceso altamente sensible a la modulación nutricional y metabólica, donde la disponibilidad de sustratos energéticos y minerales actúa directamente sobre el microambiente folicular o modificando la sensibilidad de las células gonadales a las gonadotropinas (Viñoles, 2011).

En razas ovinas de aptitud cárnica y deslanadas, como la raza Dorper, la maximización de la tasa y población folicular representa una estrategia clave para mejorar los parámetros de prolificidad y respuesta reproductiva. Sin embargo, los mecanismos específicos mediante los cuales la suplementación combinada de fosfolípidos y minerales altera la dinámica folicular (población folicular total, tasa de crecimiento y reclutamiento) en este genotipo requieren una mayor caracterización científica. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la complementación de fosfolípidos y minerales sobre la tasa y dinámica folicular en ovejas de la raza Dorper.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en la posta ovina de la Universidad Agraria Autónoma Antonio Narro, Unidad Laguna, durante los meses de agosto-septiembre de 2026. El área de estudio se encuentra a una altitud 1120 msnm, con una precipitación media anual de 230 mm y con temperatura promedio de 24 °C, máxima de 41 °C en mayo y junio, y mínima de -1 °C en diciembre y enero (CONAGUA, 2015).

Durante el periodo experimental, las ovejas fueron alimentadas dos veces al día (800 y 1800 h) con heno de alfalfa (22% PC y 1.5% E M), en base a sus requerimientos nutricionales (NRC, 2007). Las hembras tuvieron agua limpia y sales minerales a libre acceso y un periodo de adaptación de 5 días previos al periodo experimental.

Se utilizaron 20 hembras ovinas, las cuales fueron asignadas completamente al azar a uno de dos tratamientos: 1), hembras (Tratado) que se le administraron 40g de un producto comercial a base de minerales enriquecidos con fosfolípidos (Zeogain Potentia ®) que contenía Dióxido de silicio (SiO2) al 66%, Óxido de Aluminio (Al_2O_3) al 8 %, óxido de magnesio (MgO) al 0.2 %, óxido de calcio (CaO) al 4 % y óxido de sodio (Na_2O) al 2 %], además de fosfolípidos (extracto etéreo al 4.14 %) más 100 g de concentrado comercial (20% PC) y, 2), hembras (Control) se les administró 100 g de concentrado comercial (20%PC). Ambos tratamientos fueron administrados por vía oral.

Variables evaluadas. La dinámica folicular se determinó a los 14 días del periodo experimental y consistió en la exploración e identificación de los folículos en cada ovario, mediante el uso de ultrasonografía (Chison, ECO3) en tiempo real, para lo cual se utilizó un transductor lineal de 2.5 a 7.5 MHz y posteriormente se clasificaron en base a su tamaño.

Análisis estadístico. Los datos fueron analizados utilizando el procedimiento Modelo Lineal General (GLM). Las medias obtenidas de los tamaños de los folículos fueron comparadas usando una ANOVA. Todos los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico SAS® OnDemand for Academics. Las diferencias fueron consideradas significativas a un valor de $P \leq 0.05$.

Resultados y discusión

Los resultados de la evaluación de la dinámica folicular, realizada mediante ecografía transrectal al día 14 de la suplementación nutricional, permitió cuantificar la población folicular antral presente en ambos grupos de ovejas Dorper. En términos de población folicular total, las ovejas del grupo control presentaron un promedio de 6.9±0.6 folículos y grupo tratamiento presentaron un promedio de 7.0±0.5 folículos totales por animal.

Es probable, que los resultados encontrados en este estudio se deban a que las ovejas utilizadas este estudio no sufrían de un desbalance de ácidos grasos. En efecto, estudios encontrados por Homa et al. (1992), en ganado bovino mostraron que un tercio del total de los ácidos grasos eran mayor en los folículos pequeños (1 a 3 mm) en comparación con los folículos grandes (>7 mm). Sin embargo, no mostraron diferencias estadísticas. Además, resultados observados en cabras muestran un porcentaje significativamente mayor de precursores de ácidos grasos en cabras prepúberes que en cabras adultas. Sin embargo, no hubo diferencias entre los tamaños de los folículos en ninguna edad de las hembras. Lo anterior, es similar a los resultados encontrados en nuestro estudio que no se encontró diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 1. Medias (±EEM) para el número de folículos de diferentes tamaños en ovejas de raza Dorper tratadas por 14 días con fosfolípidos y minerales.

Folículos	Control (n=10)	Tratamiento (n=10)
Pequeños (<3 mm)	3.3 ± 0.7[a]	3.3 ± 0.9[a]
Medianos (4-5 mm)	2.5 ± 0.6[a]	3.1 ± 0.7[a]
Grandes (>6 mm)	0.7 ± 0.2[a]	0.6 ± 0.3[a]
Total de folículos (n)	6.8 ± 0.6[a]	7.0 ± 0.5[a]

[a,b] Literales con superíndice diferente difieren a P<0.05

Conclusión

La complementación con minerales enriquecidos con fosfolípidos y en la dieta tiene un efecto positivo sobre la dinámica folicular en ovejas Dorper. El tratamiento estimuló una mayor tasa de desarrollo de folículos pequeños (<3) y medianos (4-5), lo que se tradujo en un incremento del promedio total de folículos antrales por hembra en comparación con la dieta base. Estos resultados preliminares indican que esta estrategia nutricional mejora el microambiente ovárico, creando condiciones favorables para optimizar la respuesta a los programas de sincronización de estro. Dentro de las limitaciones de este estudio, se sugiere que en futuras investigaciones se sugiere medir el estado metabólico de las hembras, como las concentraciones de colesterol, triglicéridos, glucosa e insulina que están relacionados con la actividad ovárica.

Refrencias

Gómez Brunet, A., López Sebastián, A., González de Bulnes, A., Santiago Moreno, J., García López, M., & Cabellos, B. (1995). Población folicular y crecimiento del folículo preovulatorio durante la fase folicular en ovejas Manchegas: Influencia de la época del año. *Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animales*, *10*, 365–367.

Homa, S. T., & Brown, C. A. (1992). Changes in linoleic acid during follicular development and inhibition of spontaneous breakdown of germinal vesicles in cumulus-free bovine oocytes. *Reproduction*, *94*(1), 153-160.

Uribe-Velásquez, L. F., Correa-Orozco, A., & Osorio, J. H. (2009). Características del crecimiento folicular ovárico durante el ciclo estral en ovejas. *Biosalud*, *8*(1), 117–131.

Uribe-Velásquez, L. F., Oba, E., Lenz Souza, M. I., Vélez-Marín, M., & Correa-Orozco, A. (2010). Desarrollo folicular en ovejas durante el ciclo estral natural e inducido con prostaglandinas. *Revista Científica, FCV-LUZ*, *20*(4), 417–421.

Viñoles, C. (2011). Regulación de la foliculogénesis y la tasa ovulatoria en la oveja. *Spermova*, *1*(1), 92–94.

USO DE LOS FOSFOLÍPIDOS Y MINERALES PARA MEJORAR LA TASA EMBRIONARIA DE CABRAS SINCRONIZADAS AL ESTRO

Azucena De Los Santos-Gutiérrez[4], Ana Isabel Aguilar-Mejía[2], Alan Sebastián Alvarado-Espino[2], Fernando Arellano-Rodriguez[3], Oscar Ángel-García[*1]

[1]Departamento de Ciencias Medico Veterinarias, UAAAN UL [2]Programa de Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria-UAAAN UL [3]Departamento de Producción Animal. [4]Medicina Veterinaria Zootecnia, UAAAN UL. [*]Autor para correspondencia: angelgarciao@hotmail.com

Introducción

La producción de cabras es una actividad agrícola vital que ha contribuido significativamente al desarrollo humano, especialmente en ecosistemas marginales, áridos y semiáridos, así como en comunidades rurales que enfrentan pobreza. Las cabras muestran una adaptabilidad notable en diversas zonas agroecológicas, gracias a su capacidad para resistir sequías y climas extremos, combinada con características deseables como alta prolificidad, tasas de crecimiento rápidas y una utilización eficiente de recursos vegetales de baja calidad (Meza-Herrera et al., 2024; Navarrete-Molina et al., 2024). Las funciones reproductivas son muy exigentes, tanto en calidad como en cantidad de nutrientes; de esta manera, el estado nutricional es un modulador muy importante de la reproducción en cabras (Blache et al., 2008).

El estado nutricional y el balance mineral representan factores determinantes en la modulación de la eficiencia productiva y reproductiva en los pequeños rumiantes. Diversos estudios han demostrado que la implementación de estrategias de suplementación, ya sea mediante el aporte estratégico de energía, proteína o macrominerales y microminerales, ejerce un efecto positivo en el desempeño zootécnico general (Vázquez-Armijo, 2011). El uso de vitaminas y minerales ha surgido como una estrategia prometedora de suplementación para mejorar la productividad animal y el rendimiento reproductivo, dado su papel como cofactores enzimáticos en múltiples vías metabólicas (Mayasula et al., 2021).

La eficiencia reproductiva en pequeños rumiantes como la cabra está condicionada por la supervivencia del embrión durante las primeras fases de la gestación, un periodo crítico donde ocurren altas tasas de mortalidad embrionaria temprana. Para contrarrestar estas pérdidas, la nutrición lipídica ha surgido como una estrategia clave; los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) de la familia omega-3 (n-3), constituyentes fundamentales de los fosfolípidos de membrana, actúan como precursores metabólicos y moléculas de señalización esenciales para la foliculogénesis y la competencia de desarrollo del ovocito (Fabjanowska et al., 2023).

Materiales y métodos

Todos los métodos y manejo de las unidades experimentales utilizadas en este estudio fueron en estricto acuerdo con los lineamientos para el uso ético, cuidado y bienestar de animales en investigación a nivel internacional (FASS, 2010) y nivel nacional (NAM, 2002).

El estudio se realizó durante los meses de mayo a julio del 2026, en una unidad de producción caprina ubicada en Villa Juárez, Lerdo, Durango, México. Se utilizaron cabras multirraciales manejadas bajo un sistema semi-intesivo. Para evaluar el efecto de la suplementación con minerales enriquecidos con fosfolípidos sobre la respuesta reproductiva, los animales fueron considerados en dos grupos experimentales: grupo Control y grupo Zeogain.

El grupo Control (n=14) recibió 100 g de concentrado comercial con 14 % de proteína por animal, mientras que el grupo tratado (n=14) recibió diariamente 100 g del mismo concentrado adicionados con 30 g de fosfolípidos con minerales (Zeogain Potentia®) por animal. La suplementación se realizó durante 42 días.

Variables evaluadas. La tasa embrionaria se determinó a los 28 días posteriores a la introducción de las hembras con el macho y consistió en la exploración e identificación de las vesículas y número de embriones, mediante el uso de ultrasonografía (Chison, ECO3) en tiempo real, para lo cual se utilizó un transductor lineal de 2.5 a 7.5 MHz. La tasa embrionaria se calculó contando el número de embriones entre el total de hembras con al menos una vesícula embrionaria

Resultados y discusión

La tasa embrionaria fue similar para ambos grupos (P<0.05). En las cabras suplementadas con 30 g de minerales enriquecidos con fosfolípidos (Zeogain Potentia®) se obtuvo una tasa embrionaria de 1.6, mientras comparado con el 1.4 del grupo control. El porcentaje de hembras con embrión fue del 57% para el grupo tratado comparado con el 85% del grupo control, por lo tanto, se observó una diferencia de 28 puntos porcentuales entre ambos grupos, con una mayor proporción de hembras que presentaron vesícula embrionaria en el grupo control.

Cuadro 1. Respuesta reproductiva de cabras complementadas con 30 g de minerales enriquecidos con fosfolípidos (Tratado) y cabras sin complementar (Control) por 42 días.

Variable	Tratado (n=14)	Control (n=14)
Hembras con embrión (%)	57(8/14)[a]	85 (12/14)[a]
Total de embriones (n)	13±0.1[a]	17±0.1[a]
Tasa embrionaria (n)	1.7±0.1[a]	1.4±0.1[a]

La menor tasa embrionaria observada en el grupo suplementado indica que, bajo las condiciones del presente estudio, la incorporación de Zeogain Potentia® al concentrado no favoreció un aumento en la respuesta embrionaria.

Conclusiones

La suplementación con 30 g diarios de Zeogain Potentia® adicionados al concentrado no incrementó la tasa embrionaria en las cabras evaluadas, registrándose una mayor respuesta en el grupo control (85.7 %) respecto al grupo suplementado con Zeogain Potentia® (57.1 %). Esta diferencia puede estar relacionada con las condiciones nutricionales, ambientales y de manejo durante el periodo experimental. Por ello, la dosis, el consumo efectivo del suplemento y las condiciones de manejo deben considerarse al evaluar su efecto sobre la respuesta embrionaria en cabras.

Referencias

Blache, D., Maloney, S.K., Revell, D.K. (2008). Use and limitations of alternative feed resources to sustain and improve reproductive performance in sheep and goats. Animal Feed Science and Technology. 147:140-157.

Fabjanowska, J., Kowalczuk-Vasilev, E., Klebaniuk, R., Milewski, S., Gümüş, H. (2023). N-3 polyunsaturated fatty acids as a nutritional support of the reproductive and immune system of cattle - A review. Animals, 13(22).

Federation of Animal Sciences Societies (FASS) (2010) Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Research and Teaching. 3rd edn. Available at: https://www.adsa.org/Portals/_default/SiteContent/docs/AgGuide3rd/Ag_Guide_3rd_ed.pdf.

Mayasula, V. K., Arunachalam, A., Babatunde, S. A., Naidu, S. J., Sellappana, S., Krishnan, B. B., ... & Bhatta, R. (2021). Trace minerals for improved performance: a review of Zn and Cu supplementation effects on male reproduction in goats. *Tropical animal health and production*, *53*(5), 491.

Meza-Herrera, C.A., Navarrete-Molina, C., Macias-Cruz, EE. UU., Arellano-Rodríguez, G., De Santiago-Miramontes, A., Sariñana-Navarrete, M.A., Marin-Tinoco, Rhode Island., Perez-Marín, C. (2024) Sistemas de producción de cabras lecheras: un análisis exhaustivo para replantear su diversidad global. *Animales*. *14*, 3717.

National Academy of Medicine (NAM) (2002) Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. 1st edn. Mexico: National Academy of Medicine-Mexico and Association for Assessment and Accreditation of Laboratory Animal Care International.

Navarrete-Molina, C., Meza-Herrera, C.A.; De Santiago-Miramontes, A., Valenzuela-Núñez, L.M., Marin-Tinoco, Rhode Island., Soto-Cárdenas, M.A., Sariñana-Navarrete, M.A. (2024). Producción de cabras lecheras: importancia socioeconómica, ambiental y cultural a lo largo del tiempo (1970–2022) y posibles escenarios (2050). *13*, 177.

Vázquez-Armijo, J. F., Rojo, R., López, D., Tinoco, J. L., González, A., Pescador, N., Domínguez Vara, I. A. (2011). Trace elements in sheep and goats reproduction: A review. *Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14*(1), 1–13.

EFECTO DE LOS AMINOÁCIDOS ESENCIALES SOBRE EL PESO VIVO Y CONDICIÓN CORPORAL DE CORDEROS DORPER

Fátima Denisse Estrada Gómez[3], Ana Isabel Aguilar Mejía[2], Sebastián Haro Lavín[2], Xóchitl Guadalupe Castañeda Martínez[3], Luis David Sánchez Serrano[3], Leonardo García Múñoz[3], *Óscar Ángel García[1]

[1]Departamento de Ciencias Médico Veterinarias, UAAAN UL [2]Programa de Postgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria, UAAAN UL [3]Medicina Veterinaria Zootecnista, UAAAN UL * Autor de correspondencia: angelgarcia@hotmail.com

Introducción

En la producción animal ovina se requieren estrategias nutricionales que favorezcan su crecimiento; ya que, en esta etapa, el requerimiento de los coderos es muy importante, principalmente de proteína y aminoácidos, debido a que influyen directamente en la formación de tejido muscular, esto podemos notarlo en variables como el peso vivo y su condición corporal (Grassi et al., 2024).

El peso vivo es una de las principales variables que nos ayudan a evaluar el crecimiento de los corderos, ya que permite determinar la evolución del desarrollo corporal durante un periodo determinado, observando los cambios que ocurren y nos permiten calcular otras variables como la ganancia diaria de peso, y así valorar la respuesta de los animales a diferentes tratamientos nutricionales (Yue et al., 2025).

La raza Dorper es caracterizada por el potencial que tiene para la producción de carne, por su excelente crecimiento y desarrollo muscular; esto se demostró en un estudio realizado con corderos Dorper, Tan y Hu, en el cual, se observó que hay una mayor concentración de aminoácidos en el tejido muscular de la raza Dorper respecto de las otras razas, lo que nos indica la relación de las características genéticas del animal con el metabolismo de nutrientes y la formación del tejido muscular (Zhang et al., 2020).

Además de que la raza Dorper tiene un crecimiento favorable para la producción ovina, también tiene buena adaptación a distintos sistemas productivos, por lo tanto, el crecimiento de los corderos está determinado por un equilibrio e interacción entre factores nutricionales, genéticos y ambientales; es por esto, que se deben considerar las características propias de la raza al evaluar estrategias de alimentación, ya que, se ha observado que aunque los ovinos Dorper presentan características favorables de crecimiento y desarrollo, el peso y la velocidad de ganancia pueden variar de acuerdo a las condiciones de manejo y alimentación (Wanjala et al., 2023).

Sin embargo, dentro de los aminoácidos, los esenciales se deben de obtener mediante la dieta debido a que el organismo no los sintetiza en cantidades suficientes para cubrir los requerimientos, y, en los rumiantes es más complejo debido a que la disponibilidad depende de la proteína microbiana sintetizada en el rumen y de la fracción de proteína que sobrevive a la degradación en ruminal y llega al intestino; por lo que, es importante la utilización de aminoácidos en la dieta para obtener un buen crecimiento y composición corporal (Grassi et al., 2024).

De acuerdo a la evidencia experimental, se indica que un equilibrio de aminoácidos puede modificar la respuesta productiva en los corderos. Luo et al. (2025) evaluaron corderos alimentados con una dieta baja en proteína y suplementados con lisina y metionina, observando que el bajo contenido de proteína en la dieta disminuyó la ganancia diaria, mientras que la utilización de los aminoácidos permitió la recuperación parcialmente de esta respuesta.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en la posta ovina de las instalaciones de la Universidad Agraria Autónoma Antonio Narro (UAAAN) Unidad Laguna, ubicada en periférico Raúl López Sánchez, Valle Verde, 27054 Torreón, Coahuila.

Los animales se dividieron en 2 grupos, el grupo control y el grupo experimental, manejados en dos corrales adyacentes y controlados durante 72 días, de los cuales fueron 7 días de acondicionamiento. Se utilizaron 15 corderos de aproximadamente 2 meses de edad, recién destetados. En el grupo control se asignaron 4 hembras y 3 machos con un PV grupal inicial de 12.34kg, y, en el grupo experimental se asignaron 4 hembras y 4 machos con un PV grupal inicial de 12.35kg.

Se administró la misma dieta para ambos grupos y agua *ad libitum*, basada en forraje seco y concentrado proteico, usando una proporción de 4% y después modificado al 6% respecto del PV, del total de alimento, la cantidad de concentrado proteico fue de 200g diario durante todo el periodo experimental, mientras que el de forraje seco fue variando conforme variaba el PV de cada grupo, de manera que ambos sumaran el total requerido del PV. Al grupo experimental se le administró un tratamiento de suplementación a base de aminoácidos esenciales, el producto utilizado fue MULTIFORT PLUS, la dosis aplicada fue de 5mL por vía intramuscular cada 14 días, siendo un total de 5 aplicaciones.

Desde el día 0 se realizaron pesajes, y se realizaron las medidas zoometricas, hasta el día 70; es decir, 14 días después de la última aplicación del tratamiento.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos mostraron comportamiento similar en el peso vivo de los corderos y condición corporal de ambos grupos. Aunque se observaron variaciones entre las medidas de ambos grupos, estas fueron de magnitud reducida. De manera similar, la condición corporal presentó valores próximos entre tratamientos, sin observarse diferencias marcadas al finalizar el periodo experimental.

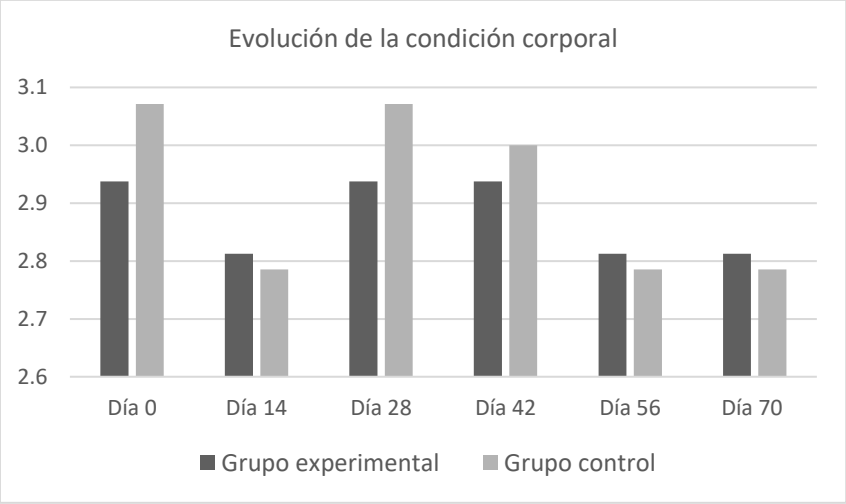


Figura 1. Evolución de la condición corporal de ambos grupos, durante los 6 pesajes del periodo experimental.

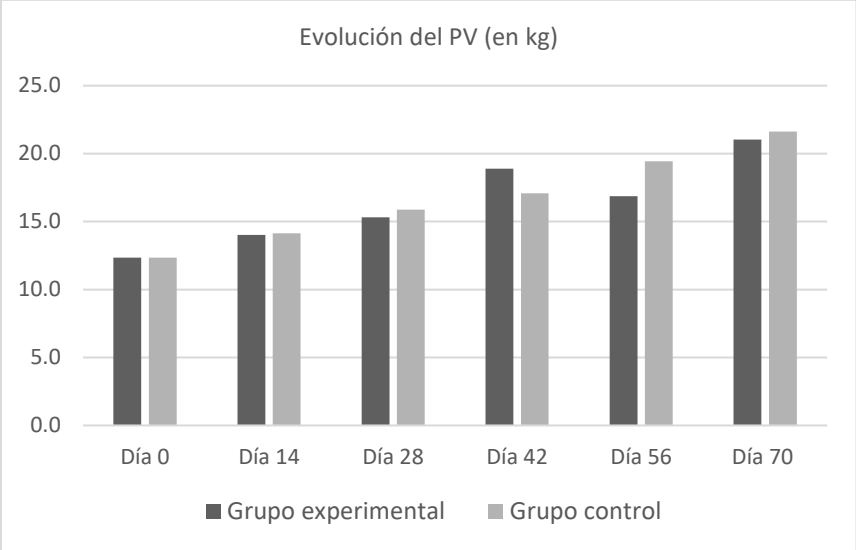


Figura 2. Evolución del peso vivo de ambos grupos, durante los 6 pesajes del periodo experimental.

Conclusión

Bajo las condiciones en las que se realizó el presente estudio, la suplementación con aminoácidos no produjo un efecto diferencial marcado sobre el peso vivo y la condición corporal de los corderos Dorper en comparación con el grupo control. Los resultados obtenidos fueron similares entre ambos tratamientos, por lo que, dentro del periodo y las condiciones evaluadas, no se observó una respuesta productiva evidente atribuible a la suplementación.

Referencias

Grassi, G., Di Gregorio,P., Capasso, G., Rando, A., & Perna, A. M. (2024). Effect of dietary supplementation whit rumen-protected amino acids, lysine and methionine, on the performance of Comisana ewes and on the growth of their lambs. *Animal Science Journal,* 95(1).

Luo, Z., Ou, H., Tan, Z., & Jiao, J. (2025). Rumen protected methionine and lysine supplementation to the low protein diet improves animal growth through modulating colonic microbiome in lambs. Journal of Animal Science and Biotechnology, 16, Article 46.

Wanjala, G., Kichamu, N., Cziszter, L.T., Astuti, P.K., & Kusza, S. (2023). An on-station analisys of factors affecting growth traits of pure Red Maasai and Dorper sheep breeds under an extensive production system. *Animals*, 13 (2).

Yue, Y., Lin J., Lv, G., Liu, B., Deng, X., Li, Y., Li, X., & Chen, K. (2025). Effects of replacing soybean meal with cottonseed meal in amino acid balanced diets on growth performance, apparent digestibility, ruminal fermentation, and microbial diversity in fattening Dorper x Hu crossbred sheep. *Frontiers in Veterinary Sciencie,* 12.

Zhang, C., Zhang, H., Liu, M., Zhao, X., & Luo, H. (2020). Effect of breed on the volatile compound precursors and odor profile attributes of lamb meat. *Foods,* 9(9).

EFECTO DE LA ADMINISTRACIÓN DE UN PRECURSOR GLUCONEOGÉNICO SOBRE LOS NIVELES DE GLUCOSA Y CUERPOS CETÓNICOS EN CABRAS GESTANTES

Oscar Angel-García[1]*, Ma. Guadalupe Calderón-Leyva[2], Gerardo Arellano-Rodríguez[2], Alan Sebastián Alvarado-Espino[2], Fernando Arellano-Rodríguez[2], Cayetano Navarrete-Molina[2].

[1]Departamento de Ciencias Medico Veterinarias, UAAAN UL. [2]Departamento de Producción Animal, UAAAN UL. [3]Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria -UAAAN UL. *Autor para correspondencia: angelgarciao@hotmail.com

Introducción

El balance energético negativo (BEN) es un trastorno metabólico que ocurre cuando los requerimientos energéticos de un animal superan la energía disponible a través de la dieta, especialmente durante periodos críticos como la gestación avanzada y al inicio de la lactancia (Doré et al., 2015). En rumiantes, el BEN provoca movilización de reservas de grasa corporal, lo que altera significativamente el metabolismo de carbohidratos y lípidos, favoreciendo la producción de cuerpos cetónicos como fuente de energía alternativa.

En cabras lecheras, el BEN está estrechamente relacionado con la toxemia de gestación, un trastorno metabólico que se presenta en las últimas semanas de gestación debido a la insuficiente ingesta de energía y al elevado consumo de glucosa por parte del feto (Echeverría et al., 2024). Esta condición se caracteriza por la elevación de ácidos grasos no esterificados (NEFA) y de β-hidroxibutirato (BHBA) en sangre, indicando que el organismo utiliza reservas lipídicas para cubrir el déficit energético (Doré et al., 2015; Uztimür y Ünal, 2024).

En las últimas décadas el uso de los aditivos como precursores de energía ha sido el propilenglicol (PG), el propionato de calcio (PCa), así como, la adición de propionato de sodio (PNa) (Ferraro et al. 2016), lo anterior, debido a su potencial gluconeogénico que permiten contrarrestar los efectos del BEN y disminuir los riesgos de enfermedades metabólicas como la cetosis e hígado graso (Mikula et al., 2020).

El PG ha sido utilizado en vacas con alta producción lechera al inicio de la lactancia, para disminuir los niveles de BHBA y ácidos grasos libres en sangre, y aumentar el ácido propiónico, la glucosa y la insulina (Ferraro et al. 2016; Mikula et al., 2020; Zhang et al., 2022). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la administración de un precursor gluconeogénico sobre los niveles de glucosa y cuerpos cetónicos en cabras gestantes bajo condiciones de pastoreo.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio y manejo de los animales. El experimento se realizó en el ejido Nuevo León (Latitud 25° 43´ 5” N y Longitud 103° 17´ 39” O), Mpio. de Francisco I. Madero, Coahuila, durante los meses de septiembre a noviembre de 2024. El área de estudio se encuentra a una altitud 1114 msnm, con una precipitación media anual de 230 mm y con temperatura promedio de 24 °C, máxima de 41 °C en mayo y junio, y mínima de -1 °C en diciembre y enero (CONAGUA, 2023).

Todos los animales son pastoreados de 10:00 am a 6:00 pm. caminando aproximadamente 4 a 5 km diarios desde sus corrales de resguardo hasta la zona donde encuentren alimento disponible, principalmente de ramoneo de diferentes especies arbustivas y ocasionalmente en residuos de cultivos de maíz, sorgo. Todos los animales fueron aretados para su identificación. Además, fueron desparasitados (Doramectina 200 µg por kg más 1 mg/kg de PV de fipronil) y vitaminados (A D y E). Las hembras tuvieron agua limpia y sales minerales a libre acceso y un periodo de adaptación de 5 días previos al periodo experimental.

Tratamientos de las hembras. Se seleccionaron 13 cabras multíparas adultas multirraciales (de 2 a 4 años de edad), homogéneas en cuanto a peso vivo (PV; 57.0 ± 3.0 kg) y condición corporal (CC; 2.9 ± 0.1 unidades) según Walken-Brown *et al*. (1993).

Las cabras se asignaron bajo un diseño completamente al azar y fueron divididas en 2 grupos: un primer grupo (Tratado; n=7) recibió 2 mL por cada 10 kg de PV (propionato de sodio al 11.2 % y propanodiol al 4%) de un precursor gluconeogénico que contenía 127.3 y 101.8 MCal/Kg de energía metabolizable (EM)energía neta (EN), mientras que el segundo grupo (Control; n=6) recibió 2 mL de una solución salina fisiológica. Ambos tratamientos fueron administrados vía oral durante 28 días preparto.

Variables a evaluadas

Niveles de glucosa y cuerpos cetónicos*.* Para determinar los niveles de glucosa (mg/L) y cuerpos cetónicos (mmoL/dL) se realizó una prueba de monitoreó *in situ* durante la mañana (7:00 am), utilizando un glucómetro (Freestyle Optium Neo®), y que consistió en colocar una gota de sangre de manera directa por venopunción yugular (10 µl) en una tira reactiva que funciona mediante absorción por capilaridad y su posterior lectura rápida (5 segundos). Todos los análisis de metabolitos se realizaron cada 7 días durante 28 días del periodo experimental.

Análisis estadístico. Los datos fueron analizados utilizando el procedimiento Modelo Lineal General (GLM). Las medias obtenidas glucosa y cuerpos cetónicos fueron comparadas usando una ANOVA y si se encontraran diferencias fueron comparadas por medio de una prueba de t- student. Todos los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico SAS® OnDemand for Academics. Las diferencias fueron consideradas significativas a un valor de $P \leq 0.05$.

Resultados y discusión

Los resultados se muestran en el Cuadro 1, No se encontró diferencias para las concentraciones de glucosa sanguínea y cuerpos cetónicos, mostrando una media general promedio de 53.0±2.1 para glucosa y de 0.42±0.1 para cuerpos cetónicos para ambos grupos. Estos resultados son contarios a los encontrados por Hamzaoui et al. (2020), en cabras suplementadas con un precursor de energía (propilenglicol), mostrando que las cabras tratadas tuvieron mayores concentraciones de glucosa en sangre. Sin embargo, estos resultados son similares a los encontrados en ganado lechero donde la administración de propilengicol redujo los niveles de glucosa y cuerpos cetónicos al inicio de la lactancia (Doré et al., 2015; Uztimür y Ünal, 2024. Respecto a las concentraciones de cuerpos cetónicos encontrado en este estudio, son similares a los encontrados por Hamzaoui et al. (2020), donde la suplementación con propilenglicol redujo la concentración de cuerpos cetónicos, mostrando así que los precursores de glucosa influyen sobre el metabolismo bioenergético de las cabras. Cabe mencionar, que si consideramos a las cabras como un modelo biológico y comparándolo con otros animales se comportan de manera similar. En efecto en vacas lecheras tratadas con un precursor de glucosa mostraron una reducción del 47% en la incidencia de problemas de salud y una incidencia menos de cetosis subclínica mostrando así el mismo efecto que se ha encontrado en cabras.

Cuadro 1. Medias (±EEM) para concentración de glucosa y cuerpos cetónicos en cabras complementadas con un precursor gluconeogénico (Tratado) y cabras sin complementar (Control) durante los 28 días preparto.

	Grupos			Valores de *P*		
Variables	Tratado	Control	EEM	T	Día	TxDía
Glucosa (mg/dL)	52.61	53.26	2.1	0.829	<0.01	0.14
Cuerpos cetónicos (mmol/L)	0.43	0.41	0.02	0.69	0.003	0.907

Es probable que estos resultados se deban a que las cabras utilizadas en este estudio no se encontraban con déficit de energía. En efecto, el BEN es un trastorno metabólico que ocurre cuando los requerimientos de energía de un animal superan la energía disponible a través de la dieta, especialmente durante periodos críticos, como sucede en el último tercio de la gestación y al inicio de la lactancia (Doré et al., 2015), lo que provoca movilización de reservas de grasa corporal, lo que altera significativamente el metabolismo de carbohidratos y lípidos, favoreciendo la producción de cuerpos cetónicos como fuente de energía alternativa.

Respecto a las concentraciones de glucosa encontradas en este estudio se encontró dentro de los niveles basales (53.0±2.1), cabe mencionar que existe la sugerencia de que la concentración de glucosa en sanguínea como índice del estado metabólico aún sigue siendo cuestionable (LeBlanc et al 2010). En efecto, en el ganado lechero se ha reportado que la infusión en abomaso de una solución de propionato de sodio equivalente a 1.68 mol/día no alteró el consumo de materia seca. Sin embargo, se ha demostrado que los niveles de glucosa plasmática *in vivo* aumentaron a los 30 y 60 min, y permanecieron elevados durante 120 y 180 min. tras la administración oral de propilenglicol (Ferraro et al., 2016). En este mismo sentido, resultados encontrados por Gomez-Ceruti et al. (2025), en ovejas multíparas suplementadas pre- y post-parto con propilenglicol, observaron una disminución en los efectos negativos de una deficiencia nutricional, aumentando los niveles de propionato en el rumen, siendo el principal precursor para la síntesis de glucosa en el hígado, además de disminuir la lipolisis, así como los niveles de cuerpos cetónicos.

Conclusiones

La administración oral de (2 mL/10 kg de PV) de un precursor gluconeogénico durante 28 días en el último tercio de la gestación de cabras en pastoreo, no tuvo efecto sobre las concentraciones sanguíneas de glucosa (53.0±2.1) y cuerpos cetónicos (0.42±0.1). Lo anterior, probablemente se deba a que las cabras utilizadas en este estudio no tuvieron déficit de energía, por lo que no incrementaron las concentraciones de glucosa o cuerpos cetónicos en sangre que son un indicador del estatus del balance energético en rumiantes. Cabe mencionar, que lo anterior puede explicar la ausencia de un efecto sobre las variables evaluadas.

Referencias

Doré, V., Dubuc, J., Bélanger, A. M., & Buczinski, S. (2015). Definition of prepartum hyperketonemia in dairy goats. Journal of Dairy Science, 98(7), 4535-4543.

Echeverría, T., Núñez, M. F., Vásquez, S., & Casierra, Á. (2024). Balance energético negativo (cetosis) en rumiantes camélidos sudamericanos: Revisión bibliográfica. *Reciena*, *4*(1), 33-44.

Ferraro, S. M., Mendoza, G. D., Miranda, L. A., & Gutiérrez, C. G. (2016). In vitro ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses combined with forages and their effect on glucose and insulin blood plasma concentrations after an oral drench in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, *213*, 74-80.

Gómez-Ceruti, M., Correa, L. M., Leiva-Calderón, D., Catenacci-Aguilera, G., & Marín, M. P. (2025). Efeito da suplementação pré-parto de curto prazo com propilenoglicol e propionato de cálcio nos parâmetros metabólicos e no desempenho dos cordeiros e ovelhas multíparas com baixa condição corporal.

Hamzaoui, S., Caja, G., Such, X., Albanell, E., & Salama, A. A. (2020). Milk production and energetic metabolism of heat-stressed dairy goats supplemented with propylene glycol. *Animals*, *10*(12), 2449.

Mikuła, R., Pruszyńska-Oszmałek, E., Kołodziejski, P. A., & Nowak, W. (2020). Propylene glycol and maize grain supplementation improve fertility parameters in dairy cows. *Animals*, *10*(11), 2147.

Uztimür, M., & Ünal, C. N. (2024). Evaluation of pregnancy toxemia in goats: Metabolic profile, hormonal findings, and redox balance. *Small Ruminant Research*, *241*, 107385.

Zhang, F., Zhao, Y., Wang, Y., Wang, H., Guo, Y., & Xiong, B. (2022). Effects of calcium propionate on milk performance and serum metabolome of dairy cows in early lactation. Animal Feed Science and Technology, 283, 115185.

ANÁLISIS PRELIMINAR DEL PAISAJE EN CUADRANTES CON MADRIGUERAS ACTIVAS DE *Gopherus flavomarginatus* EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA DE MAPIMÍ

Rafael Carrillo Flores[1], José Gamaliel Castañeda Gaytán[2]* Jaime Eliberio Hernández Martínez[3]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Carretera Gómez Palacio-Chihuahua Km 40, Bermejillo, Mapimí, Durango, México. [2]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas. Av. Universidad s/n. Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Dgo. México. [3]Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Reserva de la Biósfera de Mapimí. Av. Juárez y Galeana s/n, 2° Piso, Local 309, Palacio Federal, Torreón, Coahuila. *Autor de correspondencia: gamalielcg@gmail.com

Introducción

La estructura espacial del paisaje constituye un componente relevante para comprender la presencia y distribución de los organismos y los procesos ecológicos en ecosistemas áridos. *Gopherus flavomarginatus* es una especie endémica del Bolsón de Mapimí y se encuentra catalogada en la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2010 como una especie en Peligro de Extinción (CONANP, 2006; DOF, 2019), en Peligro Crítico por la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2023; Kiester et. al. 2018) y se encuentra incluida en el Apéndice I de la CITES. En la Reserva de la Biósfera de Mapimí, las madrigueras representan un elemento fundamental de su ecología, al proporcionar refugio frente a condiciones ambientales extremas. Estudios previos han relacionado su distribución con características de vegetación, suelo, topografía y microhábitat; sin embargo, es necesario evaluar si la composición y configuración del paisaje explican la variación en la abundancia de madrigueras activas entre colonias.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en 28 cuadrantes con madrigueras de *G. flavomarginatus* dentro de la Reserva de la Biósfera de Mapimí, localizada en el Desierto Chihuahuense. Para cada cuadrante se contó con la información de densidad de madrigueras activas y se caracterizó la estructura del paisaje mediante métricas derivadas de cartografía de cobertura vegetal utilizando una capa raster con clasificación supervisada del paisaje con 3 clases (matorral, sin vegetación y pastizal) elaborado por Espinoza (2026) con una resolución de 3 metros. Las mediciones de métricas del paisaje se obtuvieron mediante el complemento LecoS (Landscape Ecology Statistics) de QGIS. Se analizaron 16 métricas relacionadas con composición y configuración: porcentaje de matorral, suelo sin vegetación y pastizal; número y densidad de parches; densidad de bordes y distancia euclidiana al vecino más cercano. La normalidad se evaluó mediante Shapiro-Wilk. Debido a que la mayoría de las variables no presentó distribución normal, se empleó la correlación de Spearman. Posteriormente se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) con rotación Varimax para sintetizar los principales gradientes de estructura del paisaje.

Resultados y discusión

La densidad de madrigueras presentó distribución compatible con normalidad (Shapiro-Wilk, $p = 0.170$); sin embargo, la mayoría de las métricas de paisaje no cumplió este supuesto, por lo que se utilizaron correlaciones de Spearman. Ninguna de las 16 métricas evaluadas mostró una asociación significativa con la densidad de madrigueras activas ($p > 0.05$). Los coeficientes más elevados fueron para número de parches de matorral ($r_s = 0.250$), número de parches sin vegetación ($r_s = 0.245$), densidad de parches de matorral ($r_s = 0.235$) y densidad de bordes de suelo sin vegetación ($r_s = 0.225$), pero ninguno alcanzó significancia estadística.

El análisis de correlaciones entre las propias métricas evidenció una elevada redundancia. El número total de parches presentó correlaciones fuertes con número de parches de matorral (r_s = 0.930), porcentaje de suelo sin vegetación (r_s = 0.911) y densidad de bordes de suelo sin vegetación (r_s = 0.904), mientras que el porcentaje de matorral se correlacionó negativamente con densidad de parches de matorral (r_s = −0.921). Este patrón indica que las métricas no representan dimensiones independientes del paisaje, sino diferentes expresiones de gradientes espaciales compartidos.

El PCA permitió sintetizar la información en cuatro componentes con autovalores superiores a uno, que explicaron conjuntamente 83.06 % de la variación total: componente 1, 47.72 %; componente 2, 17.73 %; componente 3, 10.46 %; y componente 4, 7.14 %. El primer componente estuvo asociado principalmente con el número total de parches (0.799), porcentaje de suelo sin vegetación (0.897), número de parches de matorral (0.866), densidad de bordes de suelo sin vegetación (0.783) y densidad de parches de matorral (0.830), con una carga negativa para el porcentaje de matorral (−0.797). Se interpreta como un gradiente de apertura y fragmentación del paisaje. El segundo componente estuvo definido principalmente por el número de parches de pastizal (0.872) y su densidad (0.889), por lo que representa un gradiente de configuración del pastizal. El tercer componente estuvo asociado con el número de parches (0.813) y densidad de parches de suelo sin vegetación (0.879), mientras que el cuarto estuvo dominado por el porcentaje de pastizal (0.962) y la densidad de bordes de esta cobertura (0.822).

La ausencia de asociaciones significativas entre las métricas y la densidad de madrigueras no implica que la estructura del paisaje carezca de importancia ecológica. Más bien, sugiere que las métricas evaluadas a la escala espacial utilizada no explican por sí solas la variación observada en la densidad de madrigueras. Esta interpretación es consistente con antecedentes realizados en Mapimí, donde la presencia y ocupación de madrigueras se ha relacionado con variables de microhábitat, particularmente cobertura vegetal y temperatura del sustrato y con características edáficas y topográficas de los sitios de construcción de madrigueras (Becerra-López et al., 2014, 2017). Asimismo, estudios de distribución y abundancia de la especie han mostrado que la heterogeneidad ambiental y la configuración del hábitat deben considerarse conjuntamente para identificar áreas relevantes para su conservación (Ureña-Aranda et al., 2015).

Desde la perspectiva de la ecología del paisaje, estos resultados también resaltan la importancia de considerar la escala espacial y la redundancia entre métricas. Las métricas de paisaje pueden ser sensibles tanto al grano como a la extensión espacial del análisis, y diferentes índices pueden representar componentes altamente correlacionados de una misma estructura espacial (Cushman et al., 2008; Frazier & Kedron, 2017). Por ello, el PCA constituye en este avance una herramienta exploratoria para identificar gradientes de paisaje, pero la interpretación de sus componentes deberá complementarse con una selección parsimoniosa de métricas y con análisis a diferentes escalas espaciales.

Conclusiones

Las colonias de *Gopherus flavomarginatus* evaluadas presentan una marcada heterogeneidad en la composición y configuración del paisaje, principalmente relacionada con gradientes de fragmentación, apertura, estructura del pastizal y distribución de áreas sin vegetación. Las 16 métricas analizadas no mostraron asociaciones significativas con la densidad de madrigueras activas. Por tanto, a la escala evaluada, la estructura general del paisaje no explica directamente la variación en la densidad de madrigueras. Los resultados orientan las siguientes etapas hacia la evaluación de variables edáficas, topográficas, de microhábitat y de selección de hábitat a diferentes escalas espaciales.

Referencias

Becerra-López, J. L., García-De la Peña, C., Romero-Méndez, U., & Ramírez-Bautista, A. (2017). Plant cover effect on Bolson tortoise (*Gopherus flavomarginatus* Legler 1959, Testudinidae) burrow use. *Nature Conservation, 17*, 57–69. https://doi.org/10.3897/natureconservation.17.11582

Becerra-López, J. L., Romero-Méndez, U., Anadón-Herrera, J. D., & García-De la Peña, C. (2014). Modelo de nicho potencial de las madrigueras de Gopherus flavomarginatus en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Revista Mexicana de Biodiversidad, 85(2), 523–531. https://doi.org/10.7550/rmb.33287

CONANP. (2006). Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biósfera de Mapimí. 1a edición: marzo de 2006 Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. ISBN: 968-817-762-8. 180 pp.

Cushman, S. A., McGarigal, K., & Neel, M. C. (2008). Parsimony in landscape metrics: Strength, universality, and consistency. Ecological Indicators, 8(5), 691–703. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.12.002

DOF. (2019). Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Diario Oficial de la Federación 14 de noviembre del 2019, Edición Matutina. Disponible en : https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019

Espinoza-Pichardo, J. (2006). Distribución y conectividad espacial del pastizal como recurso estratégico para la tortuga del bolsón (Gopherus flavomarginatus) dentro de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Tesis de Maestría. Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas. 54 pp.

Frazier, A. E., & Kedron, P. (2017). Landscape metrics: Past progress and future directions. *Current Landscape Ecology Reports, 2*, 63–72. https://doi.org/10.1007/s40823-017-0026-0

Hesselbarth, M. H. K., Sciaini, M., With, K. A., Wiegand, K., & Nowosad, J. (2019). Landscapemetrics: an open-source R tool to calculate landscape metrics. *Ecography, 42*(10), 1648–1657. https://doi.org/10.1111/ecog.04617

IUCN. (2023). *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2023-1*. Disponible en: https://www.iucnredlist.org/search?query=Gopherus%20flavomarginatus&searchType=species .

Kiester, A.R., Palomo-Ramos, R., Ríos-Arana, J. & Goode, E.V. 2018. Gopherus flavomarginatus. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T9402A112660985. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T9402A112660985.en

Turner, M. G. (2005). Landscape ecology: What is the state of the science? *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 36*, 319–344. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.102003.152614

Ureña-Aranda, C. A., Rojas-Soto, O., Martínez-Meyer, E., Yáñez-Arenas, C., Landgrave Ramírez, R., & Espinosa de los Monteros, A. (2015). Using range-wide abundance modeling to identify key conservation areas for the micro-endemic Bolson tortoise (*Gopherus flavomarginatus*). *PLoS ONE, 10*(6), e0131452. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131452

AGAVES MEZCALEROS DE TAMAULIPAS: DIVERSIDAD, MANEJO Y POTENCIAL PARA SU APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE

Cristian A. Olvera-Domínguez[1]*, Anastacio Espejel-García[1], Ariadna I. Barrera-Rodríguez[3], Blanca. E. Hernández-Rodríguez[1], Verenice Torres-Salas[1], Oscar Esquivel-Arriaga[2]

[1]Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo. México - Texcoco km 38.5, Chapingo, México. [2]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Km 40 Carr. Gómez Palacio-Chihuahua, Bermejillo, Mapimí, Durango, México. [3]Departamento de Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. México-Texcoco km 38.5, Chapingo, México. *Autor de correspondencia al25520322@chapingo.mx

Introducción

En las zonas áridas y semiáridas de México, las especies del género *Agave* forman parte importante del paisaje por su capacidad para desarrollarse en condiciones de baja disponibilidad de agua y por su valor económico (García-Moya et al. 2011), particularmente en la elaboración de diversos productos, entre ellos, el mezcal. Sin embargo, la producción nacional se encuentra fuertemente concentrada tanto territorialmente como en especies utilizadas. De los 6.91 millones de litros de mezcal producidos en 2025, con riqueza de 45 % Alc. Vol., Oaxaca aportó el 89.47 %, mientras que Tamaulipas representó apenas el 0.14 %. Esta concentración también se observa en la materia prima, ya que el agave espadín (*A. angustifolia*) fue la materia prima del 84.53 % de la producción, mientras que los ensambles representaron el 6.23 % y otras 31 variedades solo aportaron el 2.08 % (COMERCAM, 2026). Frente a este escenario Tamaulipas destaca por poseer con una diversidad de agaves adaptados a ambientes áridos, semiáridos y de montaña. Entre las especies utilizadas con la producción de mezcal se encuentran *A. americana*, *A. gentryi*, *A. montana* y diversas poblaciones de agaváceas conocidas localmente como amoles. Destaca además *A. montium-sancticaroli*, conocida regionalmente como jarcia, especie endémica de Tamaulipas y con antecedentes de aprovechamiento tradicional para la elaboración de mezcal (García-Mendoza et al., 2007; Treviño-Carreón et al., 2024). Esta diversidad representa una oportunidad para ampliar y diferenciar la producción regional; sin embargo, no todas las especies pueden aprovecharse de la misma manera. Su disponibilidad en campo, velocidad de crecimiento, tiempo para alcanzar la madurez y formas de reproducción presentan diferencias importantes que deben considerarse antes de incrementar su aprovechamiento (Jacques-Hernández et al., 2007). Resulta fundamental conocer esta diversidad para plantear estrategias de aprovechamiento y manejo acordes con las condiciones de estos ecosistemas áridos y semiáridos. Por ello, el objetivo de este trabajo fue caracterizar la diversidad de agaves empleados en la elaboración de mezcal en territorios ubicados dentro de la Denominación de Origen Protegida (D.O.P) en Tamaulipas, documentar sus principales formas de manejo y analizar su potencial para contribuir a un abastecimiento sostenible de materia prima.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en localidades mezcaleras de San Carlos, San Nicolás, Miquihuana y Jaumave, Tamaulipas, municipios incluidos en la Denominación de Origen Mezcal y representativos de un gradiente ambiental y altitudinal con condiciones áridas, semiáridas y templado-secas, donde se presentan matorral desértico rosetófilo, matorral submontano y bosques de montaña. Se empleó un enfoque descriptivo basado en recorridos de campo, observación directa y seguimiento de unidades de producción iniciado en 2024, complementado con entrevistas a seis actores clave vinculados con el aprovechamiento del agave y la elaboración de mezcal, realizadas entre enero y julio de 2026. Esta combinación de observación e interacción con productores ha sido utilizada para documentar procedencia de la materia prima, formas de aprovechamiento, técnicas de extracción, manejo y disponibilidad del recurso en agaves mezcaleros (Delgado-Lemus et al., 2014; Benítez-García et al., 2024).

En cada sitio se registraron identidad taxonómica y nombres locales, hábitat, condición de manejo (silvestre, manejada o cultivada), disponibilidad observada o reportada, formas de reproducción y propagación, criterios de madurez, prácticas de cosecha y uso en mezcales monovarietales o ensambles. Variables semejantes han sido empleadas para caracterizar agaves destinados a la elaboración artesanal de mezcal (Martínez-Jiménez et al., 2019; Delgado-Lemus et al., 2014). Como apoyo para evaluar la madurez, se midieron sólidos solubles mediante °Brix con refractómetro portátil al momento de seleccionar las plantas. La refractometría ha sido utilizada en agaves como una técnica rápida para estimar sólidos solubles y apoyar la evaluación del contenido de azúcares y del estado de madurez de la materia prima (Fragoso-Gadea et al., 2021).

El potencial de aprovechamiento se analizó considerando de forma conjunta el uso productivo actual, la disponibilidad observada o reportada, las formas de abastecimiento, reproducción, propagación, establecimiento y manejo. La información se organizó por especie y municipio y se analizó mediante estadística descriptiva y categorización cualitativa. Este tipo de integración de información ecológica, productiva y de manejo ha sido utilizado para evaluar disponibilidad, aprovechamiento y alternativas de manejo de agaves mezcaleros (Delgado-Lemus et al., 2014; Martínez-Jiménez et al., 2019). La caracterización se limitó a los agaves vinculados con la producción de mezcal en las localidades estudiadas y no buscó realizar un inventario florístico estatal.

Resultados y discusión

Las entrevistas permitieron caracterizar a los actores directamente vinculados con el aprovechamiento del agave y la elaboración de mezcal. De los seis entrevistados, cinco pertenecían a unidades o grupos con actividad productiva vigente durante el seguimiento y uno a una unidad que posteriormente dejó de operar. Participaron productores independientes, maestros mezcaleros y representantes de organizaciones ejidales; dos de ellos representaban grupos de aproximadamente 18–21 productores. Se observaron distintos niveles de participación dentro del sistema: algunos actores combinaban el aprovechamiento o establecimiento de agaves con la elaboración de mezcal, mientras que otros se concentraban principalmente en transformar materia prima procedente de poblaciones silvestres. En conjunto, coexistieron formas individuales, familiares y colectivas de organización para el abastecimiento y procesamiento del agave.

La distribución de los agaves utilizados para producir mezcal estuvo estrechamente relacionada con las condiciones ambientales y altitudinales de cada región. En San Carlos y San Nicolás se documentó el aprovechamiento de *Agave americana*, distintos agaves conocidos localmente como amoles y *A. montium-sancticaroli* (jarcia), especie de distribución restringida en Tamaulipas y con antecedentes de uso mezcalero (García-Mendoza et al., 2007; Treviño-Carreón et al., 2024).

En Miquihuana se registraron *A. gentryi* y *A. montana*, asociadas con ambientes montañosos de mayor altitud. Esta diferenciación muestra que el abastecimiento regional de materia prima proviene de ambientes que van desde zonas de matorral hasta comunidades vegetales de montaña (Jacques-Hernández et al., 2007; Treviño-Carreón et al., 2024) **(Cuadro 1).**

Cuadro 1. Distribución, aprovechamiento y características de los agaves documentados para la producción de mezcal en Tamaulipas

Especie	Nombre regional	Región	Ambiente / condición	Aprovechamiento	Característica relevante para su potencial
Agave montana	Maguey chino	Miquihuana	Ambientes montañosos >2,000 m s. n. m.; tolerante a bajas temperaturas	Mezcal monovarietal	Especie adaptada a condiciones de alta montaña que amplía la diversidad de materias primas regionales
A. montium-sancticaroli	Jarcía	San Carlos	Sierras del centro de Tamaulipas; distribución restringida	Individual y en ensambles	Endemismo regional con potencial para diferenciación del mezcal; su disponibilidad requiere considerar propagación y establecimiento
A. americana	Maguey cenizo	San Cacarlos y Altiplano Tamaulipeco	Amplio intervalo de condiciones ambientales; poblaciones silvestres y plantas manejadas	Individual y en ensambles	Disponibilidad regional y posibilidades de propagación y establecimiento
A. gentryi	Maguey verde	Miquihuana	Ambientes montañosos y bajas temperaturas	Mezcal monovarietal	Especie de montaña con posibilidades de manejo y propagación
A. funkiana, A. lophantha	Amole/ Lechuguilla	laderas y zonas serranas.	Laderas y ambientes serranos	Principalmente en ensambles	Recurso complementario empleado regionalmente en combinación con agaves de mayor porte

Fuente: Elaboración propia con información obtenida mediante recorridos de campo y entrevas a productores, complementada con García-Mendoza et al. (2007), Jacques-Hernández et al. (2007) y Treviño-Carreón et al. (2024).

El abastecimiento depende en buena medida de poblaciones silvestres presentes en agostaderos, laderas serranas y terrenos ejidales o de uso común. Sin embargo, durante las entrevistas y recorridos también se identificaron prácticas de manejo y establecimiento. En San Carlos se observaron agaves conservados o plantados en linderos, cercos y bordes de parcelas, además de colecta de semillas, producción de plantas en almácigos y trasplante de hijuelos. Estas prácticas complementan la recolección silvestre y amplían las opciones de abastecimiento.

La selección de las plantas se basó principalmente en la experiencia de los productores y en señales visibles de madurez, como el desarrollo de la planta y el capado previo del quiote, apoyadas durante el seguimiento con mediciones de sólidos solubles (°Brix). No obstante, las diferencias biológicas entre especies requieren estrategias de manejo específicas. En *A. gentryi*, González-Delgado et al. (2026) reportaron diferencias en la estructura poblacional entre sitios con y sin aprovechamiento y una alta demanda de individuos juveniles, por lo que resulta importante considerar las etapas fenológicas.

En *A. montium-sancticaroli* se ha documentado la producción de dos a ocho hijuelos estoloníferos por planta, y se ha propuesto su propagación mediante semillas e hijuelos como alternativa para favorecer su establecimiento y disminuir la dependencia de poblaciones silvestres (García-Mendoza et al., 2007).

En contraste, *A. montana* presenta reproducción principalmente por semilla, por lo que el mantenimiento de individuos que alcancen la floración adquiere especial importancia para favorecer su regeneración. En conjunto, estas diferencias muestran que las estrategias de aprovechamiento, propagación y establecimiento deben ajustarse a las características reproductivas de cada especie.

Perspectivas para el aprovechamiento productivo sostenible. En las regiones áridas y semiáridas estudiadas, las prácticas de propagación y establecimiento reportadas por los productores muestran que los agaves pueden incorporarse en parcelas, linderos y otras áreas productivas. El establecimiento de especies actualmente aprovechadas, como *A. americana*, *A. montium-sancticaroli* y *A. gentryi*, podría ampliar las fuentes de abastecimiento, reducir la dependencia de poblaciones silvestres y representar una alternativa de diversificación productiva en zonas con limitada disponibilidad de agua. Sin embargo, su establecimiento debe considerar las condiciones del terreno y evitar la eliminación de la vegetación natural. En plantaciones de *Agave* sobre laderas se ha documentado que el monocultivo, el suelo descubierto y las hileras paralelas a la pendiente pueden aumentar el riesgo de erosión, por lo que se han propuesto sistemas agroforestales que integren maguey, vegetación nativa y prácticas de restauración productiva (Rodríguez-Hernández et al., 2024). En Tamaulipas, este enfoque podría explorarse mediante agaves en linderos, bordes de parcelas o sistemas diversificados, aunque sus efectos sobre erosión, conservación del suelo, supervivencia y disponibilidad de agua deberán evaluarse bajo las condiciones locales.

El manejo debe ajustarse a las características de cada especie. En *A. montium-sancticaroli*, su distribución restringida hace especialmente importante fortalecer las estrategias de propagación y establecimiento (García-Mendoza et al., 2007). En especies donde la reproducción por semilla tiene un papel importante, como *A. montana*, es necesario conservar individuos que alcancen la floración y produzcan semillas; mientras que en aquellas con mayor propagación vegetativa, el manejo y trasplante de hijuelos puede contribuir al establecimiento de nuevas plantas.

En conjunto, el potencial de los agaves tamaulipecos para la producción de mezcal depende de combinar el aprovechamiento responsable de las poblaciones silvestres con estrategias de propagación, establecimiento y manejo adaptadas a cada especie. Este enfoque puede contribuir a conservar la diversidad regional y, al mismo tiempo, fortalecer y dar mayor estabilidad al abastecimiento de materia prima para la producción de mezcal en Tamaulipas.

Conclusiones

La diversidad de agaves documentada en Tamaulipas representa una oportunidad para diferenciar y fortalecer la producción regional de mezcal en un contexto nacional dominado por pocas especies. Las diferencias observadas entre San Carlos, San Nicolás y Miquihuana muestran que el aprovechamiento depende de la disponibilidad de agaves adaptados a condiciones ambientales contrastantes, desde zonas semiáridas hasta ambientes de montaña.

Aunque una parte importante de la materia prima aún proviene de poblaciones silvestres, las entrevistas y recorridos de campo permitieron identificar prácticas locales de colecta de semillas, producción de plantas, manejo y trasplante de hijuelos, así como el establecimiento de agaves en linderos y otras áreas productivas. Estas prácticas pueden complementar la recolección silvestre y ampliar las fuentes de abastecimiento.

El fortalecimiento de la producción de mezcal dependerá de aplicar estrategias de manejo acordes con la disponibilidad, desarrollo y formas de reproducción de cada especie. En este sentido, impulsar la propagación y el establecimiento de agaves puede ayudar a reducir la presión sobre las poblaciones silvestres, conservar la diversidad de recursos utilizados y favorecer un abastecimiento más estable de materia prima para la producción regional de mezcal.

Referencias

Benítez-García, E., Jaramillo-Villanueva, J. L., Vargas-López, S., & Bustamante-González, Á. (2024). Mezcal artesanal en Puebla: Actores y saberes locales. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo, 21*(3), 330–347. https://doi.org/10.22231/asyd.v21i3.1605

Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal. (2026). *Informe estadístico 2026*. COMERCAM.

Delgado-Lemus, A., Casas, A., & Téllez, O. (2014). Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacán Valley, Mexico: Bases for sustainable use of non-timber forest products. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 10*, 63. https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-63.

Fragoso-Gadea, T., Gutiérrez, A., Coronado, M. L., Terrazas, T., Ramos-Clamont, G., Vázquez-Moreno, L., Álvarez-Bajo, O., & Esqueda, M. (2021). Poblaciones silvestres de *Agave angustifolia* (Asparagaceae) de Sonora, México: Variación morfológica y contenido de azúcares. *Acta Botanica Mexicana, 128*, e1889. https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1889.

García-Mendoza, A., Jacques-Hernández, C., & Salazar-Bravo, A. (2007). Una nueva especie de *Agave*, subgénero *Littaea* (Agavaceae) de Tamaulipas, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas, 1*(1), 79–84.

García-Moya, E., Romero-Manzanares, A., & Nobel, P. S. (2011). Highlights for *Agave* productivity. *GCB Bioenergy, 3*(1), 4–14, https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01078.x.

González-Delgado, M., Manzanares-Miranda, N., Sánchez-Castillo, L. R. M., Rocha-Domínguez, L., Salas-Cruz, L., & Gámez-Rodríguez, S. A. (2026). Estructura poblacional de *Agave gentryi* B. Ullrich al sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 17*(1), e3950.

Jacques-Hernández, C., Herrera-Pérez, O., & Ramírez de León, J. A. (2007). El maguey mezcalero y la agroindustria del mezcal en Tamaulipas. En P. Colunga-GarcíaMarín, A. Larqué-Saavedra, L. E. Eguiarte, & D. Zizumbo-Villarreal (Eds.), *En lo ancestral hay futuro: Del tequila, los mezcales y otros agaves* (pp. 287–317). CICY-CONACYT-CONABIO-INE.

Martínez-Jiménez, R., Ruiz-Vega, J., Caballero-Caballero, M., Silva-Rivera, M. E., & Montes-Bernabé, J. L. (2019). Agaves silvestres y cultivados empleados en la elaboración de mezcal en Sola de Vega, Oaxaca, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems, 22*, 477–485.

Rodríguez-Hernández, R., Castellanos-Bolaños, J. F., Contreras-Hinojosa, J. R., Ruiz-Ríos, T. N., & García-Sibaja, M. (2024). Valor cultural de especies arbóreas con potencial para restaurar sistemas agroforestales con *Agave* en Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 15*(85), 4–26. https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i85.1473.

Treviño-Carreón, J., Zúñiga-Estrada, L., Terán-Treviño, S. A., Sánchez-González, A., & Jacques-Hernández, C. (2024). Agaváceas. En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Ed.), *La biodiversidad en Tamaulipas. Estudio de Estado* (Vol. 2, pp. 139–148). CONABIO.

CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA DE BACTERIAS ASOCIADAS A NÓDULOS DE *Phaseolus vulgaris* L.

Raúl Eduardo Lugo-Palacios[1], Selenne Yuridia Márquez-Guerrero[2], José Luis García-Hernández[3], Aaron David Lugo-Palacios[4], Pablo Precidado-Rangel[2], Rubén Palacio-Rodríguez[5*]

[1] Programa de Posgrado de Doctorado en Ciencias de Agua y Suelo, Tecnológico Nacional de México –Campus Instituto Tecnológico de Torreón. Antigua Carretera Torreón-San Pedro, km 7.5, CP. 27170. Torreón, Coahuila, México. [2] Instituto Tecnológico de Torreón, Tecnológico Nacional de México, Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, Ejido Ana, Torreón, Coahuila, CP 27170, México. [3] Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, Carretera Gómez Palacio–Tlahualilo km 32, Venecia, CP 35170, Durango, México. [4] Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango 35111, México. [5] Laboratorio de Ecología Microbiana, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad s/n, Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, CP 35010, México. *Autor de correspondencia: biol.palacio@hotmail.com

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) es un cultivo de interés agronómico y de creciente relevancia debido a su alto consumo en México (Morales-Soto & Lamz-Piedra, 2020). Asimismo, existe un interés gubernamental por fortalecer la producción nacional y contribuir a la soberanía alimentaria del país. En este contexto, las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) representan una alternativa de interés, debido a los diversos mecanismos mediante los cuales pueden favorecer el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Ortega-Esparza et al., 2026). El uso de estos microorganismos puede contribuir al desarrollo de estrategias biotecnológicas orientadas a una producción agrícola más eficiente y sostenible (Yadav et al., 2024). Las bacterias del género *Rhizobium* se consideran microorganismos importantes asociados a *P. vulgaris*, por su capacidad para establecer una relación simbiótica con las plantas leguminosas. Este género se caracteriza por presentar diversos mecanismos que favorecen el crecimiento vegetal, entre los que destaca la fijación biológica de nitrógeno. También se ha documentado su capacidad para solubilizar fosfatos y producir sideróforos (Rocha et al., 2023). La caracterización de bacterias asociadas a *P. vulgaris* permite identificar aislados con características funcionales de interés agrícola, los cuales posteriormente pueden evaluarse mediante ensayos bajo condiciones controladas y en planta. La determinación de rasgos relacionados con la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fosfatos y la producción de sideróforos constituye una primera aproximación para evaluar su potencial como microorganismos promotores del crecimiento vegetal. El objetivo de este trabajo fue realizar la caracterización bioquímica de bacterias del género *Rhizobium* aisladas de nódulos de *Phaseolus vulgaris L.*

Materiales y métodos

El estudio se realizó de octubre de 2025 a agosto de 2026 en el Laboratorio de Ecología Microbiana de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), ubicado en las coordenadas 25° 35' 13'' N, 103° 30' 04'' O.

La caracterización bioquímica de los aislados se realizó mediante pruebas en los medios NFB, Pikovskaya y CAS, con el fin de evaluar su capacidad para la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fosfatos y la producción de sideróforos, respectivamente.

La capacidad para fijar nitrógeno se evaluó en medio NFB ajustado a pH 5.5, de acuerdo con la metodología descrita por Baldani et al. (2014). Los aislados bacterianos se inocularon e incubaron a 32 °C durante 48 h. Debido a la ausencia de una fuente combinada de nitrógeno en el medio, la presencia de crecimiento bacteriano se consideró una respuesta positiva indicativa de capacidad potencial para la fijación biológica de nitrógeno.

La capacidad de solubilización de fosfatos se evaluó en medio Pikovskaya, de acuerdo con la metodología propuesta por Yadav et al. (2024). Se realizaron cuatro inoculaciones de cada aislado por caja de Petri, consideradas como repeticiones, y las placas se incubaron a 32 °C durante 48 h. La respuesta positiva se determinó por la formación de un halo transparente alrededor del crecimiento bacteriano.

La producción de sideróforos se evaluó en agar Chrome Azurol S (CAS), preparado a partir del complejo CAS-Fe-HDTMA e incorporado a agar nutritivo, de acuerdo con la metodología propuesta por Yadav et al. (2024). Se realizaron cuatro inoculaciones independientes por aislado, utilizando 5 µL de una suspensión bacteriana proveniente de cultivos de 48 h. Las placas se incubaron a 32 °C durante 120 h. La producción de sideróforos se consideró positiva cuando se observó un cambio de coloración alrededor del crecimiento bacteriano. El índice de producción de sideróforos (IPS) se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$IPS = \frac{Dc + Dh}{Dc}$$

Donde: Dc corresponde al diámetro de la colonia y Dh al diámetro del halo de reacción.

Resultados y discusión

La caracterización bioquímica realizada indicó respuestas positivas en ambas cepas bacterianas para las características evaluadas (Cuadro 1). Sin embargo, no todos los aislados bacterianos asociados a *P. vulgaris* presentan características relacionadas con la promoción del crecimiento vegetal. Tapia-García et al. (2020) reportaron que, de 257 cepas aisladas, únicamente el 17.1 % presentó al menos una característica asociada a la promoción del crecimiento vegetal. Esta variabilidad puede estar relacionada con las condiciones ambientales y de manejo agronómico, ya que estos factores pueden influir en la actividad de las comunidades microbianas asociadas al cultivo (Ortega-Esparza et al., 2026).

Cuadro 1. Caracterización bioquímica de bacterias asociadas a *Phaseolus vulgaris* L.

ID	Nombre científico	Fijación de N	Solubilización de P	Producción de sideróforos IPS
LBF3	*Rhizobium sp.*	+	+	2.12
NFBF3.1	*Agrobacterium pusense*	+	+	2.22

Simbología (+) = respuesta positiva; IPS = índice de producción de sideróforos.

La capacidad para fijar nitrógeno atmosférico de las cepas bacterianas se evaluó en medio libre de nitrógeno (NFB), en el cual se realizó un estriado por agotamiento (Figura 1). Ambas cepas, NFBF3.1 y LBF3, presentaron crecimiento en el medio, por lo que se consideró un resultado positivo. En contraste, El Attar *et al.* (2019) mencionan que no todas las cepas del género *Rhizobium* son capaces de nodular, ya que solo el 40 % de sus aislados presentó eficiencia simbiótica. Kawaka y Muoma (2020) atribuyen a parámetros del suelo como pH, N, Al y CO un efecto negativo sobre la población de bacterias capaces de nodular.



a) b)

Figura 1. Crecimiento de los aislados bacterianos en medio libre de nitrógeno (NFB). a) NFBF3.1; b) LBF3.

La solubilización de fosfatos se evaluó en medio Pikovskaya, en el cual se observaron zonas de halo transparentes. Ambas cepas mostraron una respuesta positiva, siendo más evidente en la cepa NFBF3.1 (Figura 2). Las bacterias solubilizadoras de fósforo tienden a colonizar con éxito la raíz y los nódulos del frijol (Kiprotich *et al.*, 2023). El Attar *et al.* (2019) documentaron la capacidad de las bacterias del género Rhizobium para solubilizar fosfatos.



a) b)

Figura 2. Solubilización de fosfatos en medio Pikovskaya por los aislados bacterianos. a) NFBF3.1; b) LBF3.

En el medio CAS, ambas cepas presentaron producción de sideróforos mediante la formación de un halo de reacción alrededor del crecimiento bacteriano (Figura 3). El aislado NFBF3.1 presentó un mayor índice de producción de sideróforos (IPS = 2.22) en comparación con LBF3 (IPS = 2.12) (Cuadro 1). Rocha *et al.* (2023) demostraron que las bacterias aisladas de nódulos tienen mayor capacidad que las aisladas de suelo o raíz. Mowafy *et al.* (2022) probaron sus aislados en macetas y demostraron que el efecto se potencializa cuando se utilizan en consorcios; este aumento puede atribuirse a la producción de sideróforos, ya que hacen disponible el hierro, elemento esencial para la formación de nódulos.



a) b)

Figura 3. Producción de sideróforos en medio CAS por los aislados bacterianos. a) NFBF3.1; b) LBF3.

Conclusiones

La caracterización bioquímica de bacterias del género *Rhizobium* aisladas de nódulos de *Phaseolus vulgaris L.* mostró respuestas positivas para la fijación de nitrógeno, la solubilización de fosfatos y la producción de sideróforos. Estos resultados evidenciaron el potencial promotor del crecimiento vegetal de las dos cepas estudiadas (NFBF3.1 y LBF3). Se recomienda, en estudios posteriores, realizar ensayos de inoculación en planta para evaluar la efectividad de dichas cepas.

Referencias

Baldani, J. I., Reis, V. M., Videira, S. S., Boddey, L. H., & Baldani, V. L. D. (2014). The art of isolating nitrogen-fixing bacteria from non-leguminous plants using N-free semi-solid media: A practical guide for microbiologists. *Plant and Soil*, *384*(1–2), 413–431.https://doi.org/10.1007/s11104-014-2186-6

El Attar, I., Taha, K., El Bekkay, B., El Khadir, M., Alami, I. T., & Aurag, J. (2019). Screening of stress tolerant bacterial strains possessing interesting multi-plant growth promoting traits isolated from root nodules of *Phaseolus vulgaris* L. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *20*, 101225. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101225

Kawaka, F., & Muoma, J. (2020). Distribution and phenotypic characteristics of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) nodulating bacteria in diverse soils. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, *70*(7), 564–571. https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1807595

Kiprotich, K., Muoma, J., Omayio, D. O., Ndombi, T. S., & Wekesa, C. (2023). Molecular characterization and mineralizing potential of phosphorus solubilizing bacteria colonizing common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizosphere in Western Kenya. *International Journal of Microbiology*, *2023*, 6668097. https://doi.org/10.1155/2023/6668097

Morales-Soto, A., & Lamz-Piedra, A. (2020). Métodos de mejora genética en el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) frente al virus del mosaico dorado amarillo del frijol (BGYMV). *Cultivos Tropicales*, *41*(4), e10.

Mowafy, A. M., Agha, M. S., Haroun, S. A., Abbas, M. A., & Elbalkini, M. (2022). Insights in nodule-inhabiting plant growth promoting bacteria and their ability to stimulate *Vicia faba* growth. *Journal of Applied Microbiology and Biotechnology Research*, *9*(1), 51–64. https://doi.org/10.1080/2314808X.2021.2019418

Ortega-Esparza, C. J., Nava-Reyna, E., Jacobo-Salcedo, M. del R., Antunez-Ocampo, O. M., García-De la Peña, C., Trejo-Calzada, R., & Pedroza-Sandoval, A. (2026). Functional stability of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) nodule microbiome in semi-arid regions. *Diversity*, *18*(6), 374. https://doi.org/10.3390/d18060374

Rocha, R., Lopes, T., Fidalgo, C., Alves, A., Cardoso, P., & Figueira, E. (2023). Bacteria associated with the roots of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at different development stages: Diversity and plant growth promotion. *Microorganisms*, *11*(1), 57. https://doi.org/10.3390/microorganisms11010057

Tapia-García, E. Y., Hernández-Trejo, V., Guevara-Luna, J., Rojas-Rojas, F. U., Arroyo-Herrera, I., Meza-Radilla, G., Vásquez-Murrieta, M. S., & Estrada-de Los Santos, P. (2020). Plant growth-promoting bacteria isolated from wild legume nodules and nodules of *Phaseolus vulgaris* L. trap plants in central and southern Mexico. *Microbiological Research*, *239*, 126522. https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126522

Yadav, N. S., Sakshi, I., & Gaur, R. K. (2024). Biochemical characterization of bacteria isolated from rhizosphere soils of sugarcane grown in Uttar Pradesh. *Research Journal of Biotechnology*, *19*(3), 70–75. https://doi.org/10.25303/1903rjbt070075

TESORO DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE DURANGO: APORTE EN EL CONOCIMIENTO DE PLANTAS MEDICINALES

Odalis Yamilet Ayala Gracia[1]*; Evelyn Hernández Rivera[1]; Valentina Saucedo Delgado[1]; Gisela Muro Pérez[1]; Jaime Sánchez Salas[1]; Eduardo Estrada Castillón[2]; Arturo Mora Olivo[3]; Claudia T. Hornung Leoni[4]; Luis Manuel Valenzuela Núñez[1] y Raúl López García[5].

[1]Herbario Jorge Arturo Alba Avila (HJAA-FCB) y Laboratorio de Botánica, Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad S/N Fracc. Filadelfia C.P. 35015, Núcleo Universitario Gómez Palacio, Dgo. México. [2]Herbario CFNL-Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional 85 Km. 145, Linares, Nuevo León. C.P. 67700. México. [3]Herbario UAT – Universidad Autónoma de Tamaulipas, Matamoros SN, Zona Centro Ciudad Victoria, Tamaulipas, C.P. 87000. México. [4]Herbario HGOM UAEH-Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad del Conocimiento. Km 4.5 Carretera Pachuca-Tulancingo, Mineral de La Reforma, Hidalgo. Código Postal 42184. México. [5]Herbario UAZ- Unidad Académica de Agronomía - Universidad Autónoma de Zacatecas. Km 15.5 Carretera Zacatecas-Guadalajara, Cieneguillas, Zacatecas, C.P. 98170 , México. *Autor para Correspondencia: odalisag47@gmail.com

Introducción

Hace más de 10,000 años los grupos indígenas establecieron una conexión intrínseca con su entorno y en particular con las plantas. Para México, la importancia medicinal de las plantas está estrechamente relacionada con nuestra cultura por lo que este conocimiento es milenario y ha sido heredado de generación en generación gracias a las tradiciones propias de cada grupo indígena. Se considera que el conocimiento de estas especies se obtuvo a partir de distinguir entre aquellas que servían como alimento y aquellas que tenían algún efecto en su organismo y en base a estos criterios las diferenciaron y seleccionaron (Santillan, 2012). Los mercados hoy en día son el sitio principal donde se pueden encontrar plantas medicinales y a partir de ahí es importante seguir la huella de cada una de estas especies (Hernández-X. et al., 1983) que brindan un aporte medicinal para hacer registros de plantas nativas en zonas de interés (Landeros et al., 2018). En nuestro país el uso de plantas es común en medida que una parte de ellas es comercializada tanto a nivel nacional como internacional (Bye y Linares, 1983; Hersch-Martinez, 1996; Hersch- Martinez y Fierro, 2001). Considerando el registro previo de plantas comercializadas en los mercados de la Comarca Lagunera de Durango y Coahuila (Landeros et al., 2018), se estableció como objetivo realizar una recopilación bibliográfica y registros en bases de datos de especies de la Región Semiárida de Durango (RSD) (Sánchez et al., 2014) con el fin de elaborar una obra que registra las especies utilizadas con fines medicinales.

Materiales y métodos

Revisión bibliográfica. Se recabó información proveniente de libros, páginas web y bases de datos que aportaran información de plantas con uso medicinal particularmente de la RSD (Fig. 1). Dentro de las fuentes evaluadas se encuentra Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana (http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx) por ser una base de datos que recaba información unicamente sobre el uso de plantas medicinales y eFloraMex (https://efloramex.ib.unam.mx) que cuenta con más de 26,500 especies registradas para nuestro país. Como refuerzo, se consultó la base de datos Maximino: Base de datos de plantas útiles de México (https://www.maximinom.org/web/) ya que el uso medicinal es una de sus categorías de tipo de uso. Finalmente se consultó la base de datos Global Biodiversity Information Facility (GBIF - https://www.gbif.org/es/) debido a que proporciona datos específicos de ubicación geográfica de las especies en consulta.

En cuanto a literatura especializada con relación a la RSD se consultaron libros sobre flora, vegetación o diversidad que tomaran en cuenta el aspecto medicinal de las especies como el de Gonzalez-Elizondo et al., 2007; CONABIO y SRNyMA, 2017; Sánchez-Salas et al., 2025 en Valenzuela-Núñez, 2025. Así mismo se consultaron registros de plantas medicinales en los mercados municipales para la Comarca Lagunera de Durango y Coahuila ya que son el centro del conocimiento de plantas con uso medicinal dentro de la RSD (Landeros-Cuevas et al., 2018).

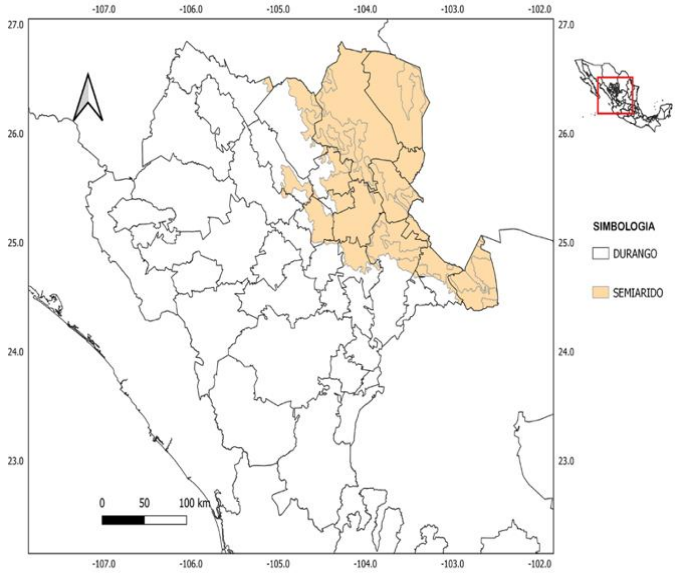


Figura 1. Región semiarida de Durango formada por 16 municipios donde se registraron especies con uso medicinal y otro tipo de usos. Mapa elaborado por Hernández Rivera, E (2025).

Validación de registros en bases de datos. Se comenzó con el registro de la base de datos pertenecientes a plantas comercializadas en los mercados municipales de Coahuila y Durango y los registros de observaciones de plantas medicinales de 2018 a la fecha. Cada planta debía contener registro dentro de los 16 municipios de la RSD para su validación. Posteriormente, se consultó en páginas web, libros y bases de datos para corroborar que cada especie tuviera un registro dentro de los 16 municipios para validar el registro y constituir una base de datos con uso medicinal para la zona.

***Producto final*.** Las especies que se identificaron con algún tipo de uso medicinal fueron documentadas para la elaboración de una obra ilustrada de la zona con el fin de ser un primer registro de dichas especies. Dentro de la información contenida en el documento se encuentra: nombre científico de la especie, nombre común, distribución, categoría de riesgo de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la lista roja de la IUCN y usos medicinales.

Resultados y discusión

El resultado principal fue una obra ilustrada donde se registraron un total de 35 especies agrupadas en 22 familias con algún tipo de uso medicinal dentro de los municipios que conforman la RSD. Las familias CACTACEAE y ASTERACEAE fueron las que reportaron mayor número de usos, mientras que la familias SELLAGINELACEAE y ZYGOPHYLLACEAE reportaron un solo uso. De igual forma se consideró la revisión de cada especie para determinar si se encuentran enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 o en la Red List- IUCN.

En total solo una especie se encuentra catalogada como sujeta a protección especial (*Peiniocereus greggi*) según la NOM-059-SEMARNAT-2010 y 13 especies listadas en la Red List- IUCN. Cabe mencionar que las obras especializadas no habían tomado en cuenta a la RSD a excepción del trabajo realizado por Landeros (2018); por lo que el registro y la elaboración de esta obra son la primera evidencia del aporte en el conocimiento y uso de plantas medicinales de la zona. De forma complementaria se contempla la búsqueda total de plantas medicinales registradas para formar la colección de referencia para que quede a disposición de la sociedad a través del Herbario JAAA (https://herbanwmex.net/portal/collections/misc/ collprofiles.php?collid=397).

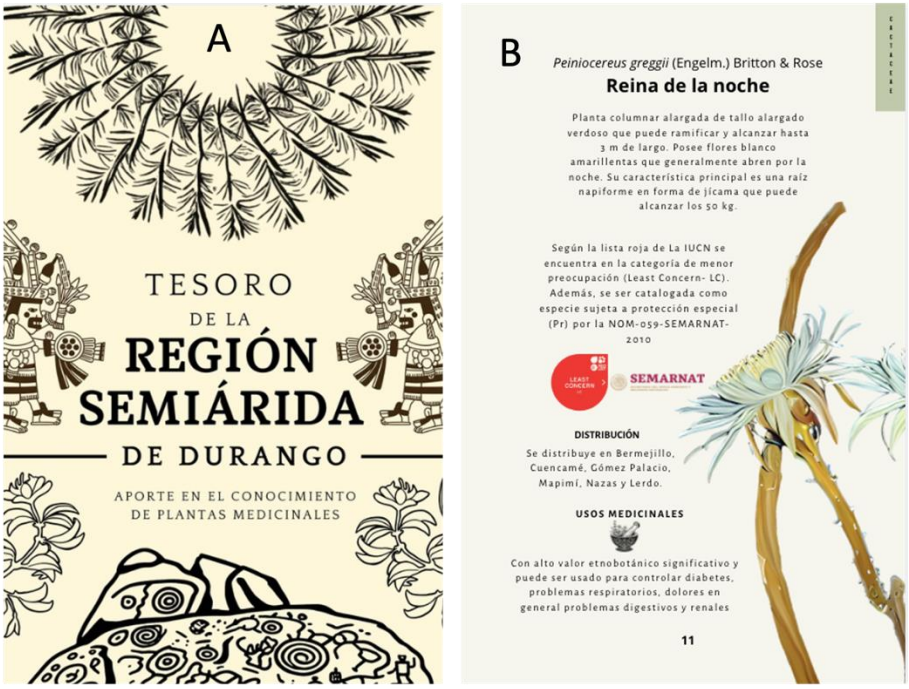


Figura 2. Muestra del contenido de la obra relacionada con el uso de plantas medicinales en la RSD, donde A) portada de la obra y B) contenido de una ficha ilustrativa.

Conclusiones

Contar con la colección de referencia es de gran relevancia para que quede asentado el aporte en el conocimiento de plantas medicinales. Estel conocimiento, es el parte aguas para seguir resaltando la importancia de la region sobre el aporte en el conocimiento de las plantas con uso medicinal.

Referencias

Aguilar, A., Camacho, J. R., Chino, S., Jacquez, P., & López, M. E. (1996). *Plantas medicinales del Herbario IMSS.* Instituto Mexicano del Seguro Social.

Bye, R. & Linares, M.E. (1987). *Usos pasados y presentes de algunas plantas medicinales encontradas en los mercados mexicanos*. América indígena, 47: 200-230 pp.

Flores-Camargo, F. G. & Sánchez-Dirzo, M. G. (2022). *Maximino: Base de datos de plantas útiles de México*. www.maximinom.org. Accedida en Marzo, 2022.

González-Elizondo, S.M., González-Elizondo, M., Márquez-Linares, M.A. (2007) *Vegetación y Ecorregiones de Durango*. Plaza y Valdés. Durango, México. 219 pp.

Hernández-X. E., Vargas, A., Gómez, T., Montes, J. Y Brauer, F. (1983). *Consideraciones etnobotánicas de los mercados en México*. Revista de geografía agrícola 4: 13-28.

Hersch-Martínez, P. (1996). *Destino común: los recolectores y su flora medicinal. El comercio de flora medicinal silvestre desde el suroccidente poblano*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, DF. 262 pp.

Hersch-Martínez, P. y Fierro, A. (2001). *El comercio de plantas medicinales. Algunos rasgos significativos en el centro de México.* En: Rendón-Aguilar B., Rebollar- Domínguez S., Caballero-Nieto J. Y Martínez-Alfaro M.A. eds. *Plantas, cultura y sociedad. Estudio sobre la relación entre seres humanos y plantas en los albores del siglo XXI*, pp. 53-75, Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, Secretaría del medio Ambiente y Recursos Naturales, México, DF. 317 pp.

IUCN (2025). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2025-2. URL: https://www.iucnredlist.org. Fecha de consulta: 14 de noviembre de 2025.

Landeros-Cuevas, J.L.; Martin-Ramírez, A.; Alba-Avila, J.A.† y Aguilar-Contreras, A. (2018). *Plantas medicinales de los mercados municipales en la Comarca Laginera de Durango y Coahuila, México*; Árido-Ciencia 2018 Vol. 3 (1): 3-11.

NOM (2010) Norma Oficial Mexicana NOM-059- SEMARNAT-2010. Protección Ambiental- Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres - Categorías de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de Especies en Riesgo. Diario Oficial de la Federación. 2a Sección, 30 de diciembre de 2010. México. URL: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/134778/35._NORMA_OFICIAL_MEXICANA_NOM-059-SEMARNAT-2010.pdf . Fecha de consulta: 14 de noviembre de 2025.

Sánchez, J., Estrada-Castillón, E., Arias-Montes, S., Muro-Pérez, G., García-Aranda, M., y García-Morales, I. (2014). *Diversidad cactoflorística de la zona árida y semiárida de Durango, México*. Interciencia, 39: 794-802 pp.

Sánchez-Salas, J., Estrada-Castillón, E., Muro-Pérez, G., Hornung-Leoni, C. T., García-Aranda, M. A., & Valenzuela-Núñez, L. M. (2025). La medicina tradicional: recurso invaluable. En L. M. Valenzuela-Núñez (Coord.), *Recursos bióticos de la Sierra del Astillero* (Vol. 1, pp. 87–94). Universidad Juárez del Estado de Durango.

Santillán, M. (2012*). El uso tradicional de las plantas medicinales, un aporte para la ciencia*. Obtenido de Ciencia UNAM: http://ciencia.unam.mx/leer/97/El_uso_tradicional_de_las_plantas_medicinales_un_aporte_para_la_ciencia

Secretariat Universitetsparken. (2025). Global Biodiversity Information Facility (GBIF). URL: https://www.gbif.org. Fecha de consulta: 14 de noviembre 2025.

Universidad Nacional Autónoma de México. 2025. Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. URL: http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx. Fecha de consulta: 14 de noviembre de 2025.

COLEÓPTEROS ASOCIADOS A MEZQUITE *Prosopis juliflora* (Sw.) DC Coville. DEL AREA DE BERMEJILLO, DGO. MÉXICO

Fabián García-González*

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Gómez Palacio-Ciudad Juárez, Bermejillo, 35230 km 40, Durango. *Autor de correspondencia: fgarciag@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Los matorrales son predominantes en este desierto y cubren aproximadamente el 55% de su superficie. Las especies vegetales más comunes en las zonas más secas son gobernadora *Larrea tridentata* (Moç. & Seseé ex DC.) Coville, hojasén *Flourensia cernua* DC., lechuguilla *Agave lechuguilla* Torr. y candelilla *Euphorbia antisyphilitica* Zucc., yucas *Yucca* spp, sotol *Dasylirion wheeleri* S. Watson ex Rothr., mezquite *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., acacias *Acacia* spp. y orégano *Lippia* spp (Zavala-Hurtado y Jiménez, 2020).

En relación a la fauna nativa de las zonas áridas, los estudios se han enfocado a grupos como aves y reptiles sin embargo los estudios relativos a insectos en las especies vegetales nativas son muy escasos. Este grupo de organismos tienen una gran importancia como polinizadores y como plagas de las especies vegetales ya que estas especies como cualquier planta son susceptibles al ataque de insectos y pueden afectar de manera significativa su desarrollo y dañar de manera importante sus frutos. Los estudios de plantas de zonas áridas con insectos se han enfocado al uso de extractos para el control de microorganismos patógenos sin embargo, estudios sobre insectos plaga y de sus enemigos naturales de estas especies vegetales son limitados. Algunos de estos son los siguientes:

En el árido Chaco de Argentina *Prosopis flexuosa* es el principal recurso de los habitantes rurales sin embargo el cerambicido *Torneutes pallidipennis* es el principal insecto dañino de esta especie forestal. Se utilizaron métodos dendrocronológicos para evaluar el efecto de *T. pallidipennis* sobre el crecimiento radial de los árboles. Los resultados indican que los ciclos biológicos de este barrenador afectan el crecimiento y desarrollo normal de los árboles, además de los efectos "mecánicos" propuestos anteriormente además se presenta una reducción del crecimiento de las ramas con la infestación de este cerambicido (Ferro et al. 2013).

Khider et al., (2011) reportan dos especies de coleópteros los cuales se encontraron alimentándose de semillas de mezquite en Sudan *Alagarobius prosopis* (Brucidae) y *Steraspis speciosa* (Family: Buprestidae). Realizaron pruebas de germinación de semillas infestadas con *A. prosopis* en comparación con las no infestadas resultando en un 8 y 42% de germinación entre las infestadas y no infestadas, respectivamente.

Zachariades et al., (2011) indican que el programa de control biológico de especies de *Prosopis* en Sudáfrica llego a una etapa en la que consideran que los agentes *Algarobius prosopis* (LeConte) y *Neltumius arizonensis* (Schaeffer) (ambos Coleóptera: Chrysomelidae: Bruchinae) son inadecuados. No obstante, identifican otros agentes potenciales entre los cuales incluyen nueve especies de Coleoptera, cuatro de palomillas y una de mosca agalladora, reportan que un picudo de hocico recto, *Coelocephalapion gandolfoi* Kissinger (Coleóptera: Brentidae: Apioninae), el cual sus larvas atacan semillas entre las vainas, se considera especialmente prometedor.

El objetivo del presente estudio es contribuir al conocimiento de insectos coleópteros asociados a especies vegetales de las zonas áridas, en particular del mezquite .

Materiales y métodos

Fase de Campo. Durante el periodo del 29 de junio al 15 de diciembre de 2023 se realizaron 25 colectas de insectos asociados a *Prosopis juliflora* en un área de 2,500 m^2 del Centro de Aprendizaje e Intercambio de Saberes (CAIS) ubicado en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo ubicada en Bermejillo, Dgo., en las coordenadas 25.896316 N, -103.591838 O, a una altitud de 1120 metros sobre el nivel del mar. La frecuencia de las colectas fue semanal y se realizaron con trampas amarillas con agua jabonosa (pan traps) colocando cinco trampas distribuidas de manera aleatoria en el área en cada fecha de colecta. El material obtenido de las trampas se pasó a un cedazo con organza fina, se enjuago con agua natural y se pasó a un recipiente de 250 ml con alcohol al 70% debidamente etiquetado para su posterior limpieza, montaje e identificación.

Fase de Laboratorio. De cada muestra de los insectos colectados, se realizó la separación de los grupos morfológicos, en particular del orden Coleóptera para realizar su montaje y posteriormente se realizó su identificación en base sus características morfológicas con base a la información de Triplehorn and Johnson (2005), Dominguez (1989), Johnson (1983) y Navarrete-Heredia et al., (2026).

Resultados y discusión

De las 25 fechas de muestreo, se colectaron 549 ejemplares del orden Coleóptera, de los cuales se identificaron 18 familias taxonómicas (Figura 1), resaltando la familia Bruchidae con 368 ejemplares de los 280 colectados, representando un 67.03%. En contraste con Anthicidae y Meloidae de las cuales se obtuvo solo un ejemplar de cada familia, Otras familias con más de 10 ejemplares colectados fueron Staphylinidae, Chrysomelidae, Buprestidae, Curculionidae, Coccinellidae y Sphaeridae con 51, 38, 22, 12 ,11 y 11 ejemplares, respectivamente.

En relación al número de ejemplares por fecha de colecta (Figura 2), la mayor cantidad se presentó el 1 de septiembre y 11 de agosto con 67 y 65 ejemplares, respectivamente, sin embargo entre estas fechas se presentó una disminución de los ejemplares en dos fechas de colecta posiblemente atribuida a un efecto de algún cambio climático sobre el mezquite que afecto su desarrollo y producción de vainas. En general se puede inferir que las poblaciones de coleópteros se empiezan a incrementar a partir del mes de junio con sus poblaciones más altas durante agosto y empiezan a descender a partir del mes de octubre.

Respecto a Bruchidae de la cual se obtuvo la mayor cantidad de ejemplares, su dinámica poblacional fue muy similar a la de todo el orden Coleóptera con poblaciones más altas durante agosto y con otro incremento el 14 de octubre. De esta familia se realizó la identificación de a nivel de especies las cuales fueron *Algarobius prosopis* (Le Conte), *Algarobius bottimeri* Kingsolver y *Neltumius arizonensis* Schaeffer de la cual la especie con mayor número de ejemplares fue *A. Prosopis* con 346 ejemplares. En México Godinez-Cortes y Romero-Napoles (2021) examinaron 1,805 ejemplares de escarabajos de semillas (Coleópteros: Chrysomelidae: Bruchinae) de México que se encuentran en el Museo Nacional de Historia Natural (USNM) de Washington, DC., quienes reportan siete especies vegetales hospedantes de este grupo de escarabajos como nuevos registros entre estas a *Prosopis articulata* S. Watson (mezquite amargo**,** mezquite huaha **o** guatrá**)** para *Algarobius prosopis* (LeConte).

Con relación a la diversidad de familias encontradas en el presente estudio se considera que es alta en comparación con el estudio realizado por Cuellar-Rodríguez et al., (2017) quienes identificaron las familias Anthicidae, Cantaridae, Carabidae, Chrysomelidae, Cucujidae, Curculionidae, Elateridae, Histeridae, Nitidulidae, Scarabidae, Staphylinidae y Tenebrionidae, realizando la colecta de insectos por el mismo método del este estudio, de las cuales Cantaridae, Carabidae, Elateridae, Histeridae no se encontraron en la presente investigación.

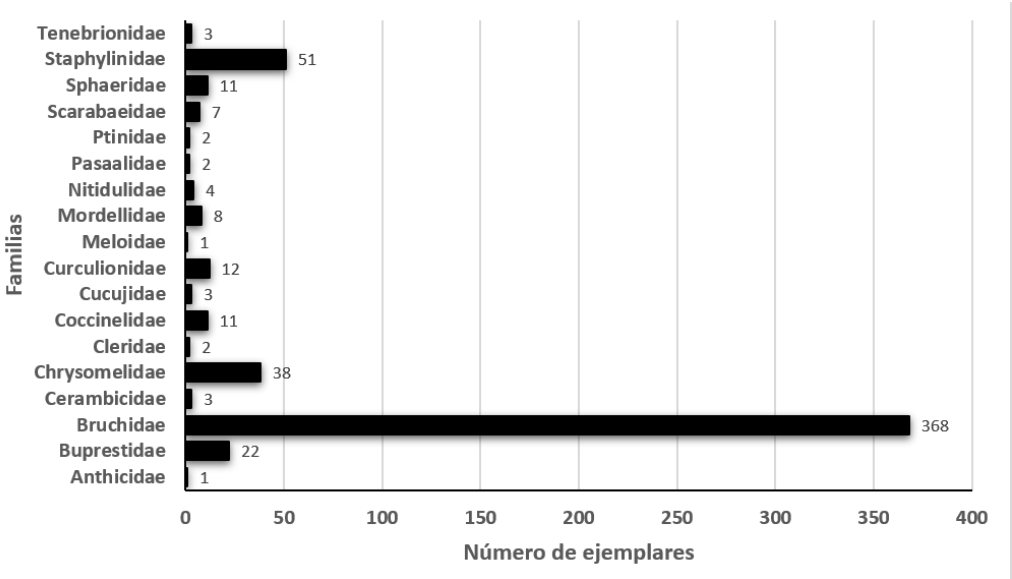


Figura 1. Familias de Coleóptera asociadas a *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., en Bermejillo, Dgo. 2023.

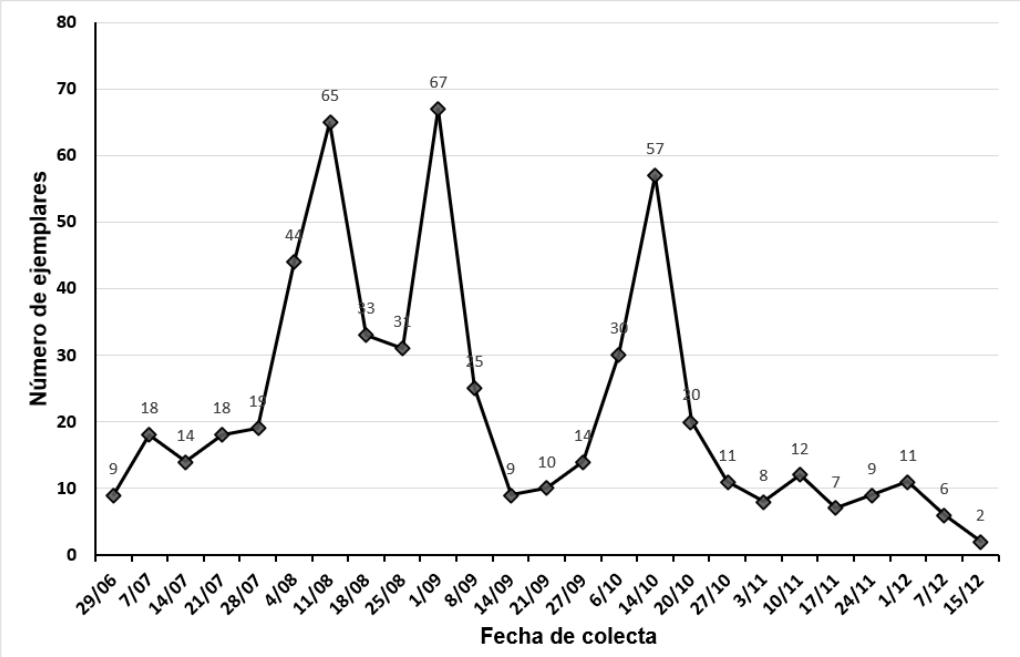


Figura 2. Dinámica poblacional de Coleópteros asociados a *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., en Bermejillo, Dgo. 2023.

Conclusiones

El presente estudio presenta una importante diversidad de coleópteros asociados a *P. juliflora*

Aunque la identificación preliminar de los ejemplares colectados fue a nivel familia, se estima que al menos se pueden identificar unas 20 especies.

Bruchidae fue la familia más abundante, la cual está estrechamente asociada a las vainas del mezquite las cuales son severamente dañadas.

La especie de Bruchidae más abundante fue *Algarobius prosopis* (Le Conte),

Se sugiere la realización de un estudio a nivel regional que contemple colectas semanales durante un año para generar un conocimiento más completo de la diversidad de insectos en *P. juliflora* en particular de coleópteros y establecer posibles relaciones con variables climáticas.

Referencias

Cuellar-Rodriguez, G., Jurado, E. & Flores, J. (2017). Beetle diversity in fragmented thornscrub and isolated trees. Brazilian Journal of Biology. 77(1): 92-96. DOI: 10.1590/1519-6984.10615

Dominguez R.R. (1989). Taxonomía. Protura a Coleoptera. Claves y Diagnosis. Volumen 2. Departamento de Parasitología Agricola. Universidad Autónoma Chapingo. 274-453 p.

Ferrero, M.E., Coirini, R.O. and Díaz, M.P. (2013). The effect of wood-boring beetles on the radial growth of Prosopis flexuosa DC. in the arid Chaco of Argentina. Journal of Arid Environments. 88: 141-146. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.07.004

Godinez-Cortes, S. & Romero-Napoles, J. (2021). Distributional data and new records of seed beetles (Coleoptera: Chrysomeiidae: Bruchinae) from Mexico deposited in the National Museum of Natural History (USNM). Coleopterists Bulletin. 75(4): 707-722 DOI: 10.1649/0010-065X-75.4.707

Johnson C. D. (1983). Manual sobre insectos que infestan la semilla de *Prosopis*: Ecoloqía, Control e Identificación de Insectos del Nuevo Mundo que Infestan la Semilla de Prosopis (Leguminosae). ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA y LA ALIMENTACION Roma, Italia. 35 p.

Khider, M. M., Abjar, Z. A. & Eltigani, A. (2011). Studies on Ecology and Biology of Some Insect Pests of the Mesquite Trees, Prosopis juliflora in Sudan. Egyptian Journal of Biological Pest Control. 21(2): 353-359

Navarrete-Heredia J.L., Arriaga-Varela E., Gimmelm L., Newton A.F., Pollock D.A, Leschen R.A.B., Aquino-Romero M., Arce-Pérez R., Chandler D.S., Cifuentes-Ruiz P., Corona-López A.M., Cerón-Gómez R., Delgado L., Deloya C., Domínguez-León D.E., Escalona H.E., Fikáček M., González-Ramírez M., Halffter G., Háva J., Herrera-Navarro A., Jiménez-Ferbans L., López-Caro J.B., López-Pérez S., Martínez-Luque E.O., Mcelrath T.C., Mchugh J.V., Moctezuma V., Mora-Aguilar E.F., Morrone J.J., Nestor-Arriola J.I., Ordóñez-Reséndiz M.M., Pérez-Flores O., Pérez-Hernández C.X., Powell G.S., Ramírez-Hernández R.D., Ramírez-Ponce A., Rifkind J., Rivas-Amante A.S., Rodríguez-Mirón G.M., Ruta R., Ruzzier E., Schnepp K.E., Seidel M., Simon-Pražák J., Szawaryn K., Tomaszewska W., Vega-Badillo V., Zahradník P. & Zaragoza-Caballero S. (2026). Coleoptera of Mexico: a summary of families and account of the number of recorded species. Zootaxa 5858 (1): 001–111. https://doi.org/10.11646/zootaxa.5858.1.1

Triplehorn C. A. & Johnson N.F. (2005). Borror and Delong's Introduction to the Study of Insects. Seventh Edition. THOMSON BROOKS/COLE. Belmont, CA USA. 864 p. ISBN 0-03-096835-6

Villarreal-Quintanilla J. A., Bartolomé-Hernández J. A., Estrada C. E., Ramírez-Rodríguez H. y Martínez-Amador S. J. (2017). El elemento endémico de la flora vascular del Desierto Chihuahuense. *Acta Botánica Mexicana*, (118), 65-96 DOI: https://doi.org/10.21829/abm118.2017.1201

Zachariades, C., Hoffmann, J. H. & Roberts, A. R. (2011). Biological control of mesquite (Prosopis species) (Fabaceae) in South Africa. African Entomology. 19(2): 402-415 DOI: 10.4001/003.019.0230

CAMBIOS EN LA COBERTURA DE SUELO EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA MARISMAS NACIONALES DURANTE LAS ÚLTIMAS TRES DÉCADAS MEDIANTE TELEDETECCIÓN

Alfonso Gaytán Alarcon[1], Sarahi Sandoval Espinoza[2*], Jonathan G. Escobar Flores[1], Eduardo Sánchez Ortiz[1]

[1]Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR IPN - Durango, Dgo, México, [2]CONAHCYT - Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR, Calle sigma 342, frac. 20 de noviembre II, 34220. Durango, México. * Autor de correspondencia: sarahisandovale@gmail.com

Introducción

Los humedales, ecosistemas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres, son cruciales para la biodiversidad global y los servicios ecosistémicos (Mitsch & Gosselink, 2015; Meng et al., 2017). Entre estos ecosistemas, la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales (RBMN) en Nayarit, México, destaca como uno de los humedales más importantes del país, albergando aproximadamente el 20% de los manglares de México y sirviendo como sitio clave para aves migratorias (Abarca & Cervantes, 1996; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP], 2022). Sin embargo, la RBMN enfrenta múltiples amenazas debido a actividades humanas como: la expansión de desarrollos turísticos, el crecimiento urbano en áreas circundantes y alteraciones hidrológicas por infraestructura y la conversión de hábitats naturales a sistemas ganaderos y agrícolas (CONANP, 2022; Ramos et al., 2021; Ochoa-Gaona et al., 2018). Estas presiones han resultado en la pérdida y fragmentación de hábitats, posiblemente afectando los flujos hidrológicos esenciales para la biodiversidad de la reserva (CONANP, 2022). Este estudio tiene como objetivo analizar los cambios de uso de suelo durante 38 años (1986–2024) en la ANP Marismas Nacionales, Nayarit, México mediante el uso de imágenes satelitales de alta resolución (30 m) de los satélites Landsat 5-TM y 8-OLI.

La teledetección, junto con diversos métodos de clasificación de imágenes digitales, parecen prometedores y más precisos en la cartografía y seguimiento de estos ecosistemas, siendo fundamental para el desarrollo de estrategias de conservación, así como la implementación de medidas adecuadas de protección y restauración.

Materiales y métodos

Área de estudio. El estudio se centra en la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales (RBMN), ubicada en la costa norte del estado de Nayarit, México. Según la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2022), la reserva abarca una extensión de 1787.08 km², limitando al norte con Sinaloa y al oeste con el Océano Pacífico. Se sitúa entre las coordenadas 22°30′N y 21°45′N de latitud norte y 105°15′W y 106°W de longitud oeste, comprendiendo los municipios de Acaponeta, Rosamorada, Santiago Ixcuintla, Tecuala y Tuxpan. El clima predominante es semicálido subhúmedo, con una temperatura media anual entre 30 y 34°C y precipitaciones anuales superiores a 1500 mm. La RBMN se caracteriza por su sistema único de 157 barreras y lagunas paralelas con manglares, además de una diversidad de hábitats que incluyen selva baja caducifolia, marismas, vegetación halófila, selva mediana subperennifolia, palmares y dunas costeras (CONANP, 2022). En términos de biodiversidad, alberga 402 especies de vertebrados y 5 de invertebrados, con 57 especies bajo alguna categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2010). La CONANP considera a Marismas Nacionales como uno de los humedales más importantes del norte de México debido a su alta riqueza de especies, así como a los servicios ambientales que proporciona (CONANP, 2022).

Colección de imágenes. Se utilizaron imágenes de satélite Landsat 5 TM (Thematic Mapper) para el período de 1986 a 2013, y Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) para el período de 2013 a 2024, y se descargaron del portal Earth Explorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (https://earthexplorer.usgs.gov/). Las imágenes corresponden a la ruta 31 y fila 44 del sistema de referencia mundial (WRS-2) empleado por Landsat. Se realizó una depuración de las imágenes de los años anteriormente descritos, y solo se utilizaron imágenes de primavera ya que eran las únicas que contenían 0% de nubes (Richards, 2013; Jimenez-Jimenez, 2023).

Corrección atmosférica. La corrección atmosférica resulta vital para abordar estudios multitemporales debido a que las imágenes pueden contener distorsiones provocadas por la dispersión que genera la misma atmósfera debido a la presencia de aerosoles, gases y vapor de agua. Este efecto implica un aumento de la señal recibida por el sensor a bordo de los satélites que orbitan la Tierra, que tiende a provocar un menor contraste entre coberturas de similar comportamiento radiométrico (Chuvieco, 2019).

Cada una de las imágenes utilizadas se corrigió por medio del modelo de sustracción de objeto oscuro, mismo que se basa en la suposición de que en las imágenes satelitales algunos píxeles se encuentran en completa sombra y la información recibida en los sensores es derivada de la dispersión atmosférica; esta suposición se complementa con el hecho de que pocos objetos en la superficie de la Tierra están en completa oscuridad, por lo cual un valor de reflectancia mínimo es mayor que cero (Congedo, 2021).

Clasificación supervisada. Se realizó una clasificación supervisada debido a su capacidad para distinguir entre los diferentes tipos de vegetación y usos del suelo en un ecosistema complejo como lo es Marismas Nacionales. La clasificación de imágenes consiste en el proceso de asignar píxeles de una imagen a un número finito de clases, con base en los valores espectrales de las diferentes bandas; de esta manera convierte la información captada por los sensores como niveles digitales a una escala categórica fácil de interpretar (Mather & Tso, 2016).

Se definieron seis clases de cobertura de suelo en el área de estudio (manglar, cuerpos de agua, agricultura activa, agricultura inactiva, selva baja caducifolia y pastizal). Se siguió el método propuesto por Anuta, conocido como clasificación de máxima verosimilitud (CMV) (Weismiller et al., 1977), basado en la interpretación del área de estudio y la delimitación sobre la imagen de zonas lo suficientemente representativas de cada una de las clases de interés, conocidas como zonas o áreas de entrenamiento. Por lo que, a partir de zonas de entrenamiento y sus características espectrales de cada una, el algoritmo asigna los píxeles de la imagen a cada clase en función de su similitud (Chuvieco, 2019).

Validación. Para validar cada una de las clasificaciones generadas, se realizó una evaluación por medio de matrices de confusión (Willington, 2013). La matriz contiene información sobre los valores totales, así como porcentajes de precisión general (Pg), precisión del usuario (Pu) (error de comisión) y precisión del productor (Pp) (error de omisión) para cada clase clasificada con base en la comparación de las clasificaciones generadas y los datos de referencia (Ec. 1, 2 y 3) (Escobar-Flores et al., 2018).

Como datos de referencia, se comparó cada clasificación con los polígonos proporcionados por INEGI para la serie 1 a 7 de uso de suelo y vegetación, y en el caso específico del año 2024, se realizó una visita al área de estudio, donde se georreferenció cada una de las clases, así como vuelos con dron a una altitud de 50 m. Donde m = número total de clases, N = número total de píxeles en las clases de referencia, x_{ii} = elementos de la diagonal principal de la matriz de confusión, xΣi = suma de los píxeles de la clase i de referencia y xiΣ = suma de los píxeles clasificados como la clase i.

Precisión general (Pg):

$$\mathrm{Pg} = \frac{\sum_{i=1}^{m} x_{ii}}{N} \qquad \textit{Ec. (1)}$$

Precisión del productor (Pp):

$$\mathrm{Pp} = \frac{x_{ii}}{x_{\Sigma i}} \qquad \textit{Ec. (2)}$$

Precisión del usuario (Pu):

$$\mathrm{Pu} = \frac{x_{ii}}{x_{i\Sigma}} \qquad \textit{Ec. (3)}$$

Resultados y discusión

Los resultados observados en la figura 1 provenientes de las clasificaciones generadas muestran una disminución del 23% en la cobertura de manglar (M) a lo largo del periodo de estudio, lo cual puede estar relacionado con la expansión de actividades agrícolas y ganaderas en la región. En los años iniciales del periodo de estudio, como 1986, se registra la mayor cobertura de manglar, lo cual refleja un ecosistema relativamente estable. Sin embargo, a partir del año 1995 y especialmente entre 2008 y 2024, se evidencia una pérdida progresiva del manglar, coincidiendo con un incremento en las áreas de cultivo activo y pastizales.

Estudios como el de Quintero-Morales et al. (2021) han identificado patrones similares en el área de estudio, donde la presión agrícola ha resultado en una degradación progresiva del manglar. Por otro lado, Ramírez-García et al. (1998) realizaron una clasificación supervisada por el algoritmo CMV en RBMN y determinaron una reducción de la cobertura del manglar de aproximadamente 30% durante el periodo de 1970 a 1993, debido al incremento de la ganadería. Esta tendencia también se ha observado en otras áreas tropicales y subtropicales, donde los manglares son altamente susceptibles a la conversión de tierras y la fragmentación derivado del desarrollo urbano y agrícola (Berlanga-Robles & Ruiz-Luna, 2007; Berlanga-Robles et al., 2019; Valderrama-Landeros et al., 2020).

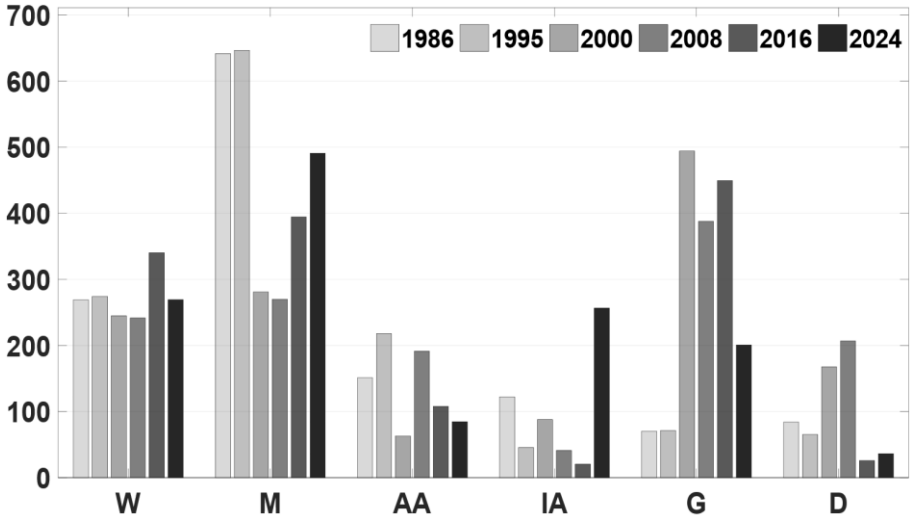


Figura 1. Áreas en km² para todo el periodo de estudio, donde W: Agua; M: Manglar; AA: Agricultura activa; IA: Agricultura inactiva; G: Pastizal; D: Selva baja caducifolia.

Adicionalmente, los cuerpos de agua muestran una tendencia de cambio especialmente posterior al año 2008, la cual podría estar relacionada con la pérdida del manglar, así como cambios hidrológicos locales que alteran los flujos naturales de agua, aumentando el riesgo de inundaciones. Diferentes estudios resaltan que la pérdida de manglares reduce significativamente la capacidad de absorción de agua y mitigación de fenómenos climáticos extremos, generando vulnerabilidad en áreas circundantes susceptibles a inundaciones y erosión (Losada et al., 2018; Gijsman et al., 2021).

Asimismo, se observa un incremento de 295% en las áreas de cultivo activo (AA) durante el periodo de estudio, especialmente entre los años de 1995 y 2016, lo cual puede evidenciar un uso intenso del suelo con fines agrícolas. Por otro lado, las áreas de cultivo inactivo (IA) muestran variaciones, lo cual podría indicar prácticas de rotación o abandono temporal, seguido de su reintegración al uso productivo. De igual manera, las áreas de pastizal (G) aumentaron notoriamente desde el año 2000, con un incremento de 185% para el año 2024, lo cual es consistente con una reducción simultánea en las áreas de vegetación natural, como el manglar y la selva baja caducifolia.

Por otro lado, la selva baja caducifolia (D) mostró una disminución del 56%, con una tendencia de incremento en su cobertura hasta el año 2008, seguida de una disminución notable en el año 2016 y un leve aumento en el año 2024. Este fenómeno podría estar relacionado con ciclos de recuperación parcial en áreas previamente degradadas, aunque la tendencia posterior indica una presión creciente de cambio de uso de suelo hacia áreas agrícolas o ganaderas.

Para validar estos resultados, la precisión general obtenida para cada clasificación generada por año de estudio fue superior al 95%, lo que confirma que el algoritmo de máxima verosimilitud es una herramienta efectiva para el análisis multitemporal de cambios de uso de suelo (Nath et al., 2023).

Conclusiones

A pesar de la importancia ecológica tanto nacional como internacional de Marismas Nacionales y los servicios ecosistémicos que brinda, durante las últimas décadas se ha observado una disminución significativa de los ecosistemas naturales, particularmente del manglar (23% menos) y de la selva baja caducifolia (disminución del 56%). Estos cambios están relacionados con la expansión agrícola y ganadera, reflejada en el aumento del 295% de las áreas de cultivo activo y el 185% de las áreas de pastizales. Estos cambios no solo afectan la biodiversidad local, sino que también alteran la hidrodinámica natural, aumentando el riesgo de inundaciones en las áreas circundantes.

La precisión obtenida en las clasificaciones supervisadas generadas confirma la eficacia de la teledetección para el monitoreo de cambios de uso de suelo en ecosistemas complejos. Durante la visita al área de estudio, se observó un uso intensivo de tierras para la agricultura, predominando cultivos de sorgo, mango y papaya, los cuales demandan un alto consumo de agua. Asimismo, se constató la presencia de ganadería semiestabulada en gran parte del ANP, lo que corrobora los resultados obtenidos en las clasificaciones generadas.

Referencias

Abarca, F. J., & Cervantes, M. (1996). *Manual para el manejo y conservación de los humedales de México*. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Ecología; U.S. Fish and Wildlife Service; Arizona Game and Fish Department; Wetlands International the Americas-Programa México.

Berlanga-Robles, C. A., & Ruiz-Luna, A. (2007). Análisis de las tendencias de cambio del bosque de mangle del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava, México: Una aproximación con el uso de imágenes de satélite Landsat. *Universidad y Ciencia, 23*(1), 29–46.

Berlanga-Robles, C. A., Ruiz-Luna, A., & Nepita Villanueva, M. R. (2019). Seasonal trend analysis (STA) of MODIS vegetation index time series for the mangrove canopy of the Teacapan-Agua Brava lagoon system, Mexico. *GIScience & Remote Sensing, 56*(3), 338–361. https://doi.org/10.1080/15481603.2018.1533679

Chuvieco, E. (2019). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio* (4.ª ed.). Ariel.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2022). *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales Nayarit*.

Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software, 6*(64), 3172. https://doi.org/10.21105/joss.03172

Escobar-Flores, J. G., Lopez-Sanchez, C. A., Sandoval, S., Marquez-Linares, M. A., & Wehenkel, C. (2018). Predicting Pinus monophylla forest cover in the Baja California Desert by remote sensing. *PeerJ, 6*, e4603. https://doi.org/10.7717/peerj.4603

Gijsman, R., Horstman, E. M., van der Wal, D., Friess, D. A., Swales, A., & Wijnberg, K. M. (2021). Nature-Based Engineering: A review on reducing coastal flood risk with mangroves. *Frontiers in Marine Science, 8*, 702412. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.702412

Jiménez-Jiménez, M. L. (2023). *Temperatura superficial de la arena en áreas de anidación de tortugas marinas mediante teledetección* [Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.]. https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/2798

Losada, I. J., Menéndez, P., Espejo, A., Torres, S., Díaz-Simal, P., Abad, S., Beck, M. W., Narayan, S., Trespalacios, D., Pfliegner, K., Mucke, P., & Kirch, L. (2018). *The global value of mangroves for risk reduction* [Technical report]. The Nature Conservancy. https://doi.org/10.7291/V9DV1H2S

Mather, P., & Tso, B. (2016). *Classification methods for remotely sensed data* (2nd ed.). CRC Press.

Meng, W., He, M., Hu, B., Mo, X., Li, H., Liu, B., & Wang, Z. (2017). Status of wetlands in China: A review of extent, degradation, issues and recommendations for improvement. *Ocean & Coastal Management, 146*, 50–59. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.06.003

Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands* (5th ed.). John Wiley & Sons.

Nath, A., Koley, B., Choudhury, T., Saraswati, S., Ray, B. C., Um, J.-S., & Sharma, A. (2023). Assessing coastal land-use and land-cover change dynamics using geospatial techniques. *Sustainability, 15*(9), 7398. https://doi.org/10.3390/su15097398

Ochoa-Gaona, S., Pérez-Hernández, I., Frías-Ángeles, E. D., & Jarquín-Sánchez, A. (2018). Impacto del crecimiento urbano en la cobertura vegetal del municipio de Nacajuca, Tabasco, México. *Polibotánica*, (45), 201–218.

Quintero-Morales, A., Plata-Rocha, W., Olimón-Andalon, V., Monjardín-Armenta, S., & Nemiga-Antonio, X. (2021). Dinámica de cambios de uso de suelo y estimación de CO_2 en manglares de la zona Marismas Nacionales, México. *Ciencias Marinas, 47*(2), 105–125. https://doi.org/10.7773/cm.v47i2.3162

Ramírez-García, P., Lopez-Blanco, J., & Ocaña, D. (1998). Mangrove vegetation assessment in the Santiago River Mouth, Mexico, by means of supervised classification using Landsat TM imagery. *Forest Ecology and Management, 105*(1–3), 217–229. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00289-2

Ramos, A., Ramos, A. J., Núñez, M. A., & Hernández, N. E. (2021). Análisis del cambio de uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 8*(1), e2679.

Richards, J. A. (2013). *Remote sensing digital image analysis: An introduction* (5th ed.). Springer.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental—Especies nativas de México de flora y fauna silvestres—Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio—Lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación.

Valderrama-Landeros, L., Blanco y Correa, M., Flores-Verdugo, F., Álvarez-Sánchez, L. F., & Flores-de-Santiago, F. (2020). Spatiotemporal shoreline dynamics of Marismas Nacionales, Pacific coast of Mexico, based on a remote sensing and GIS mapping approach. *Environmental Monitoring and Assessment, 192*(2), 123. https://doi.org/10.1007/s10661-020-8094-8

Weismiller, R. A., Kristof, S. J., Scholz, D. K., Anuta, P. E., & Momin, S. A. (1977). Change detection in coastal zone environments. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 43*(12), 1533–1539.

Willington, S. (2013). *Remote sensing and GIS for ecological mapping*. Springer.

AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESAMIENTO GEOESPACIAL PARA EL CÁLCULO Y CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ EN SINALOA, MÉXICO

Erick-Daniel Alba Leon[1], Leonardo Alfonso Ramos-Corona[2], Ramón Fernando López-Osorio[1], Lidia Yadira Pérez-Aguilar[1*]

[1]Facultad de Informática Culiacán de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán 8001, México; [2]Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca 50110, México; [*]Autor de correspondencia: lidiaperez@uas.edu.mx.

Introducción

La aridez es una condición climática persistente caracterizada por un déficit entre la precipitación y la evapotranspiración, a diferencia de la sequía, que corresponde a una disminución temporal y anómala de las lluvias (Esparza, 2014; Nations, 2024). Las zonas áridas son relevantes para el balance hidrológico, los servicios ecosistémicos y la productividad agropecuaria, además de ser altamente vulnerables a la variabilidad climática y la degradación de tierras (Abel et al., 2024; Masson-Delmotte et al., 2019; Nations, 2024). Para su evaluación, el Índice de Aridez (IA), definido por la UNEP como la relación entre precipitación y evapotranspiración potencial (P/ETP), constituye una métrica ampliamente utilizada para delimitar y clasificar los diferentes grados de aridez (FAO, 2020; Zomer et al., 2022).

Asimismo, las Tecnologías de Información Geográfica (TIG) y el análisis geoespacial son fundamentales para evaluar la distribución e intensidad de la aridez a diferentes escalas (Longley & Frank Goodchild, 2019; Pérez-Aguilar et al., 2025). Sin embargo, el análisis de series climáticas extensas implica procesar grandes volúmenes de datos ráster multitemporales mediante operaciones repetitivas que demandan tiempo y pueden generar inconsistencias (Arredondo-Vizcarra et al., 2025; Perez-Aguilar et al., 2025). Por ello, este trabajo desarrolla un flujo automatizado para el cálculo y clasificación del IA, orientado al procesamiento eficiente y reproducible de series de precipitación y evapotranspiración potencial, facilitando el análisis y monitoreo espacial de la aridez en Sinaloa.

Materiales y métodos

El área de estudio comprende el estado de Sinaloa, el cual se localiza en el noroeste de México y cuenta con una extensión territorial de 57,365 km² (Figura 1). Presenta un gradiente climático que abarca desde condiciones secas y semiáridas en la llanura costera del Golfo de California hasta climas templados y subhúmedos en la Sierra Madre Occidental. Su importancia como principal estado productor agrícola de riego del país hace de la disponibilidad hídrica un factor estratégico para la sostenibilidad regional (INEGI, 2026).

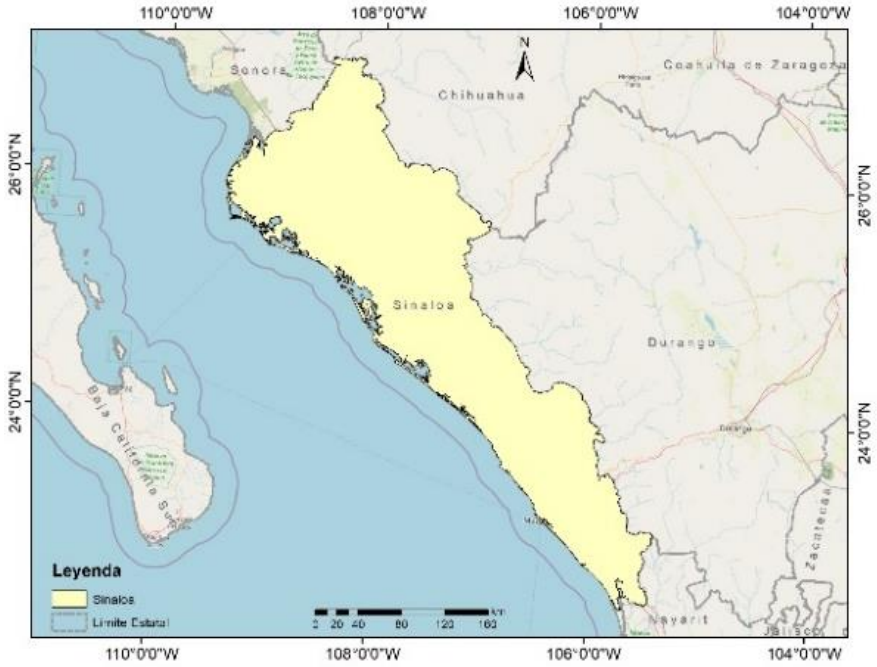


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio: estado de Sinaloa, México.

Los datos utilizados para la estimación del IA durante el periodo de estudio de 2014 al 2024, se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Datos utilizados para el análisis de índice de aridez.

Variable	Resolución Espacial	Unidad / Resolución Temporal	Tipo de dato	Fuente
Precipitación	4km	mm/año	Raster	ClimateEngine
Evapotranspiración	4km	mm/año	Raster	ClimateEngine
División Política Estatal	-	-	Vectorial	CONABIO

El procedimiento metodológico automatizado para la generación del Índice de Aridez (IA) se estructuró mediante un flujo secuencial de geoprocesamiento implementado en PyQGIS (Figura 2). Inicialmente, se definieron las rutas de las series temporales de Precipitación (PPT) y Evapotranspiración Potencial (ETP) correspondientes al periodo 2014–2024, la capa vectorial con los límites territoriales del estado de Sinaloa y las carpetas destinadas al almacenamiento de los productos generados. Posteriormente, mediante un ciclo iterativo, el script procesó automáticamente los datos de cada año, iniciando con la carga de los rásteres de PPT y ETP y la reclasificación de los píxeles con valor cero a NoData, con el propósito de evitar indeterminaciones durante el cálculo del cociente PPT/ETP.

Posteriormente, se realizó el relleno de valores nulos mediante interpolación espacial, seguido de la reproyección al sistema UTM Zona 13N y el remuestreo de la resolución espacial de 4 km a 1 km mediante interpolación cúbica. Una vez homologadas espacialmente, las capas fueron recortadas utilizando los límites territoriales de Sinaloa y se aplicó álgebra de mapas para calcular el IA. Los valores obtenidos para cada año fueron posteriormente clasificados de acuerdo con los rangos establecidos por la UNEP y exportados automáticamente en formato GeoTIFF.

Finalmente, una vez concluido el procesamiento de todos los años, se integró la serie temporal para generar una capa representativa del periodo 2014–2024, sobre la cual se aplicó la clasificación UNEP final, obteniendo así los productos cartográficos utilizados para el análisis espacial de las condiciones de aridez en Sinaloa. El Flujo de trabajo y el código se encuentra disponible en el repositorio https://github.com/Mulberick/indice-aridez-qgis.

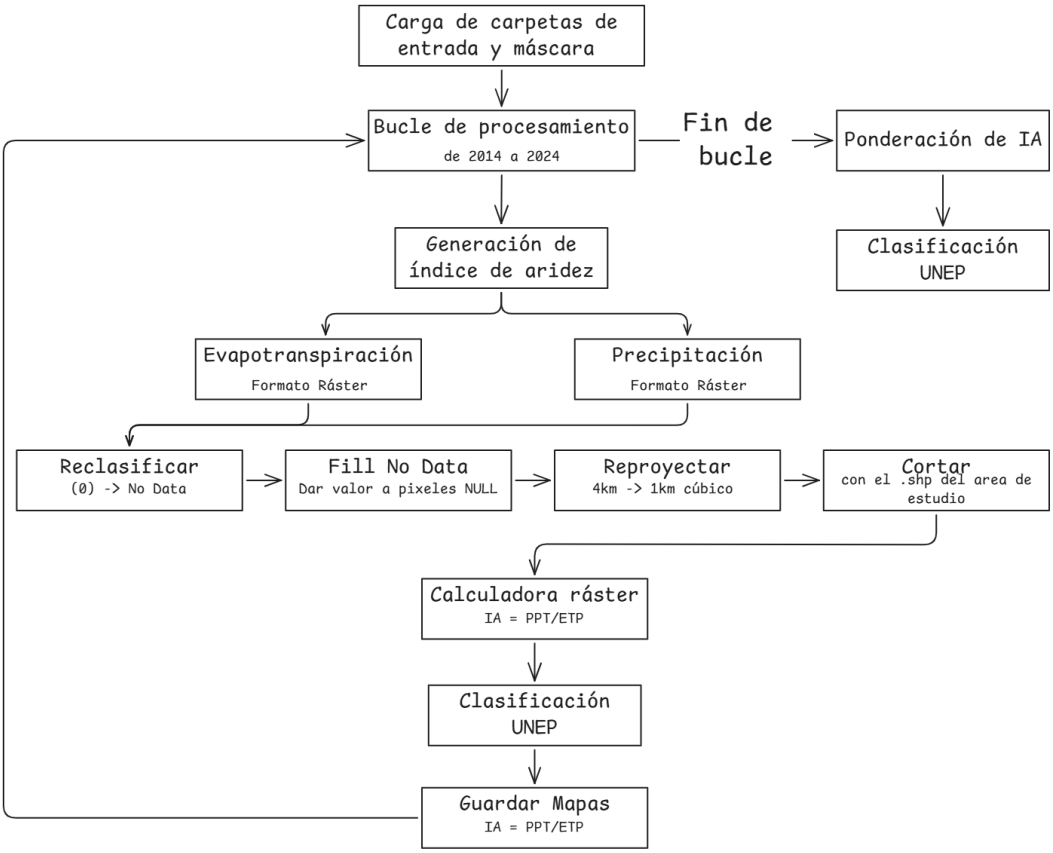


Figura 2. Diagrama de procesamiento de mapas de índice de aridez.

Resultados y discusión

La implementación del flujo de trabajo automatizado en PyQGIS permitió procesar de manera integrada las series de rásteres de PPT y ETP correspondientes al periodo 2014–2024. La automatización redujo la intervención manual en las operaciones repetitivas y permitió aplicar de manera uniforme los mismos criterios de preprocesamiento, cálculo y clasificación a todas las capas, favoreciendo la consistencia espacial y metodológica de los resultados.

Como resultado del procesamiento automatizado se obtuvieron los mapas anuales del IA correspondientes al periodo 2014–2024, así como el mapa integrado representativo de la serie analizada (Figura 3). Estos productos permitieron identificar la distribución espacial y temporal de las diferentes condiciones de aridez presentes en el estado de Sinaloa.

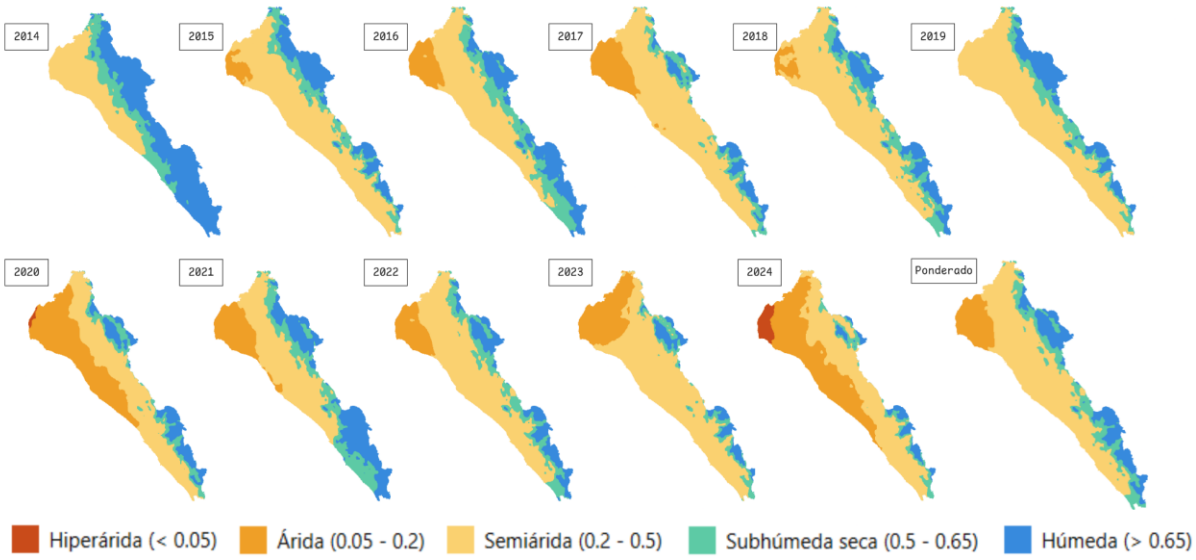


Figura 3. Mapas del Índice de Aridez generados para el periodo 2014–2024 y mapa integrado del periodo.

Por su parte, La clasificación del mapa integrado muestra un claro predominio de las condiciones semiáridas, las cuales abarcan aproximadamente 24,594 km², equivalentes al 42.81 % del área analizada. En segundo lugar, se encuentran las condiciones húmedas, con 21,056 km² (36.65 %), seguidas por las regiones subhúmedas secas, que comprende 11,787 km² (20.52 %). En contraste, las regiones áridas presentan una superficie mínima de aproximadamente 13 km² (0.02 %), mientras que no se identificaron áreas clasificadas como hiperáridas. En conjunto, los resultados evidencian que aproximadamente el 63.35 % del territorio analizado presenta condiciones comprendidas entre áridas, semiáridas y subhúmedas secas, lo que refleja la importancia de las condiciones de déficit de humedad en una proporción considerable del territorio estatal (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación del Índice de Aridez según la UNEP y superficie obtenida para el periodo 2014–2024.

Categoría	Rango de IA	Superficie (km²)	Porcentaje (%)
Hiperárida	< 0.05	0	0
Árida	0.05 - 0.2	13	0.02
Semiárida	0.2 - 0.5	24,594	42.81%
Subhúmeda seca	0.5 - 0.65	11,787	20.52%
Húmeda	> 0.65	21,056	36.65%
Total	-	57450	100%

Conclusión

El presente estudio demuestra la utilidad de la automatización del geoprocesamiento mediante PyQGIS para el cálculo sistemático, reproducible y eficiente del Índice de Aridez a partir de series multitemporales de precipitación y evapotranspiración potencial. El flujo desarrollado permitió integrar las etapas de preprocesamiento, homologación espacial, cálculo, clasificación y generación cartográfica para el periodo 2014–2024, reduciendo la intervención manual y garantizando criterios uniformes durante el procesamiento. Los resultados muestran un predominio de condiciones semiáridas en el territorio de Sinaloa, seguido de las categorías húmeda y subhúmeda seca, evidenciando importantes contrastes espaciales en las condiciones de aridez del estado. En conjunto, la metodología propuesta constituye una herramienta replicable para el monitoreo espacial y temporal de la aridez, con potencial para apoyar la gestión de los recursos hídricos, la planificación agrícola y la evaluación de escenarios asociados con la variabilidad y el cambio climático.

Referencias

Abel, C., Maestre, F. T., Berdugo, M., Tagesson, T., Abdi, A. M., Horion, S., & Fensholt, R. (2024). Vegetation resistance to increasing aridity when crossing thresholds depends on local environmental conditions in global drylands. *Communications Earth & Environment*, *5*(1), 379. https://doi.org/10.1038/s43247-024-01546-w

Arredondo-Vizcarra, N., Pérez-Aguilar, L. Y., Alba-León, E. D., & López-Osorio, R. F. (2025). Development of a Python-Based Computational Algorithm to Calculate the Aridity Index. Case Study: North Pacific Basin. *2025 13th International Conference in Software Engineering Research and Innovation (CONISOFT)*, 29–37. https://doi.org/10.1109/CONISOFT66928.2025.00015

Esparza, M. (2014). La sequía y la escasez de agua en México: Situación actual y perspectivas futuras. *Secuencia*, (89), 193–219. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0186-03482014000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es

FAO. (2020). *Elaboración de un programa mundial sobre agricultura sostenible en zonas áridas en colaboración con el Marco mundial sobre la escasez de agua en la agricultura en un clima cambiante*. FAO Committee on Agriculture (COAG), Roma, Italia. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/nd412es

Longley, P. A., & Frank Goodchild, M. (2019). Geographic Information Science and Systems. In *International Encyclopedia of Human Geography, Second Edition* (pp. 29–36). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102295-5.10557-8

Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.-O., Skea, J., Zhai, P., Roberts, D., Shukla, P. R., & Buendía, E. C. (2019). *Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Intergovernmental Panel on Climate Change. https://digitallibrary.un.org/record/3893424

Nations, U. (2024). *The Global Threat of Drying Lands: Regional and Global Aridity Trends and Future Projections*. United Nations. https://doi.org/10.18356/9789295128163

Pérez-Aguilar, L. Y., López-Osorio, R. F., Zambrano, Y. G., Avila-Aceves, E., Quintero-Morales, M. A., & Alberto, S. (2025). *Analysis of the evolution of the aridity index in Mexico using geographic information technologies*. *35*(7), 68–87. https://doi.org/10.4316/georeview.2025.01.07

Perez-Aguilar, L. Y., Plata-Rocha, W., Monjardin-Armenta, S. A., & López-Osorio, R. F. (2025). Implementation of a web-based system for monitoring and simulation of arid zones in northwestern Mexico. Region of Mexico. *Ecological Modelling*, *501*, 111024. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2025.111024

Zomer, R. J., Xu, J., & Trabucco, A. (2022). Version 3 of the Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database. *Scientific Data*, *9*(1), 409. https://doi.org/10.1038/s41597-022-01493-1

XXII CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS

"Innovación y acción para un medio ambiente sostenible"

Carteles

CORRELACIÓN ENTRE ÍNDICES ESPECTRALES Y EL ESTADO HÍDRICO DEL SUELO CON CULTIVO DE MAÍZ FORRAJERO

Nuria Aide López-Hernández[1*], Eva Aurora Bautista-Calderón[1], Aldo Rafael Martínez-Sifuentes[1], Juan José Vega-Miranda[2], Rubén Palacio-Rodríguez[2].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA) Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango. [2]Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Universidad S/N, Núcleo Universitario, Filadelfia, 35019 Gómez Palacio, Durango, México. *Autor para correspondencia: lopez.nuria@inifap.gob.mx

Introducción

En la Comarca Lagunera, el maíz forrajero constituye un cultivo estratégico para el abastecimiento de la industria de alimentos balanceados destinada a la alimentación del ganado. En este contexto, comprender los factores que condicionan su productividad resulta fundamental, particularmente aquellos relacionados con la disponibilidad y el uso eficiente de los recursos hídricos, debido a las restricciones de agua que caracterizan a la región. Por ello, el desarrollo y aplicación de herramientas que permitan monitorear de manera oportuna el estado hídrico del sistema suelo–cultivo representa una alternativa de creciente interés para optimizar la gestión del riego. La teledetección constituye una herramienta con amplio potencial para el monitoreo de los cultivos, al permitir la adquisición y análisis de información espacial mediante sensores remotos (Wu et al., 2023). Entre sus principales aplicaciones se encuentra el empleo de índices espectrales, derivados de combinaciones matemáticas de diferentes bandas espectrales de las imágenes satelitales. Estos índices permiten resaltar patrones asociados con características biofísicas de la cobertura vegetal y, dependiendo de las regiones espectrales involucradas, pueden proporcionar información indirecta relacionada con la disponibilidad de agua y el contenido de humedad del suelo. Los índices de vegetación, han sido ampliamente utilizados para caracterizar el vigor y la actividad fotosintética de la vegetación; mientras que diversos índices de humedad incorporan principalmente bandas del infrarrojo cercano y del infrarrojo de onda corta, regiones espectrales particularmente sensibles al contenido de agua (Chandrasekar et al., 2024). Sin embargo, la capacidad de los índices ópticos para detectar variaciones en la humedad del suelo puede verse limitada conforme el cultivo alcanza etapas avanzadas de desarrollo, debido al incremento de la cobertura vegetal y de la actividad fotosintética. Bajo estas condiciones, la señal espectral registrada por el sensor está dominada progresivamente por la vegetación, lo que puede reducir la contribución relativa de la superficie del suelo a la respuesta espectral y, en consecuencia, disminuir la sensibilidad de determinados índices frente a cambios en su contenido de humedad (Li et al., 2021) La estimación de la humedad del suelo mediante técnicas de teledetección adquiere especial relevancia en sistemas agrícolas bajo riego, debido a que esta variable constituye un componente fundamental para determinar el momento y la cantidad de agua requerida por el cultivo. Una caracterización adecuada de su dinámica puede contribuir a mejorar la programación del riego, favorecer un uso más eficiente del recurso hídrico y reducir aplicaciones de agua que no se traduzcan en beneficios productivos (Schattman et al., 2023). En este contexto, el objetivo de este trabajo fue analizar la relación entre diferentes índices espectrales derivados de imágenes Sentinel-2 y el contenido de humedad del suelo en un cultivo de maíz forrajero durante una etapa avanzada de desarrollo vegetativo, con el propósito de evaluar el potencial de estos índices como herramientas para la estimación indirecta de la humedad del suelo bajo condiciones de alta cobertura vegetal.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en un predio del municipio Mapimí en el estado de Durango, México (25°57'17.9" latitud N y 103°38'27.1" longitud O, a una altitud de 1,120 msnm), donde se cultivó maíz forrajero en ciclo agrícola de primavera, comprendido entre el 12 de marzo y el 31 de julio de 2026. El diseño de siembra fue con una separación de 10 cm entre plantas y 75 cm entre hileras. El sistema de riego fue por goteo superficial mediante cintilla (TORO®, Aqua-Traxx Azul®, The Toro Company, USA), calibre 6000, diámetro interno de 16 mm (5/8”), gasto de 1.1 L h^{-1} a 8 PSI, con goteros a cada 30 cm. El diseño de riego considera 14 secciones de 300 x 125 m, cada una. La textura del suelo es franca con una densidad aparente de 1.27 g cm^{-3}.

El contenido volumétrico de humedad del suelo (%) se determinó el 25 de junio de 2026 en 15 puntos georreferenciados distribuidos dentro del área de estudio, mientras el cultivo de maíz forrajero se encontraba en desarrollo vegetativo pleno con 75 días después de siembra (DDS). Las mediciones se realizaron a una profundidad de 20 cm utilizando un medidor portátil Hydrosense II (Campbell Scientific Australia Pty. Ltd., Garbutt, QLD, Australia).

Las imágenes satelitales fueron obtenidas del satélite Sentinel-2 A y B con una resolución espacial de 10 y 20 metros. Estas imágenes fueron descargadas en formato GeoTIFF desde la página oficial de Copernicus Open Access Hub de la Agencia Espacial Europea (https://scihub.copernicus.eu/dhus), en proyección UTM/WGS84. Las imágenes utilizadas fueron aquellas que presentaban un porcentaje de nubosidad menor al 30 %. Se utilizó el software libre QGIS versión 3.44.12 Solothurn. El procesamiento de las imágenes satelitales consistió en:

a) Reescalamiento de bandas. Todas las bandas utilizadas fueron convertidas de valores digitales escalados (DN) a reflectancia de superficie mediante la aplicación del factor de escala (SR) establecido para los productos Sentinel-2 Level-2A.
b) Máscara de calidad. La calidad de las imágenes fue controlada mediante la capa de clasificación de escena (Scene Classification Layer, SCL) incluida en el producto Sentinel-2 Level-2A, con el fin de excluir los píxeles clasificados como sombras de nubes, nubes y cirros.
c) Remuestreo de bandas. Las bandas espectrales con resolución espacial original de 20 m (B5, B8A, B11 y B12) fueron remuestreadas a 10 m mediante interpolación bilineal para armonizar la resolución espacial de las bandas utilizadas y garantizar la correspondencia espacial píxel a píxel durante las operaciones ráster.
d) Cálculo y extracción de índices espectrales. A partir de las bandas espectrales procesadas y enmascaradas se calcularon cinco índices de vegetación (NDVI, GNDVI, NDRE, SAVI y OSAVI) y cinco índices relacionados con la humedad (NDMI, LSWI, MSI, GVMI y NMDI). Los valores obtenidos se integraron en una base de datos para su análisis estadístico.

Se realizó un análisis descriptivo de la humedad volumétrica del suelo y de los índices espectrales derivados de Sentinel-2 mediante el cálculo de la media, desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV), valores mínimo y máximo, y rango de variación, con el propósito de caracterizar la variabilidad de los datos previa a los análisis de correlación.

La normalidad de las variables se evaluó mediante la prueba de Shapiro–Wilk (Shapiro and Wilk 1965). Dado que no todas las variables cumplieron el supuesto de normalidad ($p < 0.05$, las relaciones entre la humedad del suelo y los índices espectrales se analizaron mediante el coeficiente de correlación de rangos de Spearman (Spearman 1904). La magnitud de los coeficientes de correlación de Spearman (ρ) fue interpretada considerando los criterios propuestos por Dancey y Reidy (2007), donde valores absolutos de ρ<40, entre 0.40–0.70 y >0.70 se consideran asociaciones muy débiles o débiles, moderadas y fuertes, respectivamente.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1, se muestran los resultados de la caracterización estadística de la humedad del suelo y los índices espectrales. La humedad volumétrica del suelo presentó una media de 13.1 % y una elevada variabilidad espacial, con un coeficiente de variación (CV) de 72.2 % y valores comprendidos entre 3.9 y 33.7 %.

Cuadro 1. Estadística descriptiva de la humedad volumétrica del suelo y de los índices espectrales derivados de imágenes Sentinel-2.

Variable	Media	DE	CV (%)	Mínimo	Máximo	Rango
Humedad volumétrica (%)	13.1	9.462	72.231	3.9	33.7	29.8
NDVI	0.518	0.068	13.097	0.395	0.591	0.196
GNDVI	0.472	0.047	9.866	0.394	0.525	0.131
SAVI	0.493	0.064	12.996	0.379	0.564	0.185
OSAVI	0.507	0.066	13.051	0.388	0.579	0.191
NDRE	0.353	0.063	17.896	0.259	0.436	0.177
NDMI	0.215	0.062	29.014	0.118	0.301	0.183
LSWI	0.229	0.062	27.163	0.136	0.318	0.182
MSI	0.650	0.085	13.147	0.538	0.789	0.251
GVMI	0.260	0.057	21.794	0.172	0.338	0.166
NMDI	0.697	0.011	1.58	0.679	0.714	0.035

DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación.

En contraste, los índices espectrales derivados de Sentinel-2 mostraron una variabilidad considerablemente menor. Los índices de vegetación (NDVI, GNDVI, SAVI, OSAVI y NDRE) presentaron coeficientes de variación entre 9.9 y 17.9 %, mientras que los índices relacionados con el contenido de agua (NDMI, LSWI, MSI y GVMI) registraron valores entre 13.1 y 29.0 %. El NMDI fue el índice con menor variabilidad (CV = 1.6 %), evidenciando una respuesta espectral prácticamente uniforme entre los puntos de muestreo. En términos generales, los índices espectrales presentaron rangos de variación estrechos en comparación con la humedad del suelo. Mientras que esta última mostró una amplitud de 29.8 puntos porcentuales, los rangos de los índices oscilaron entre 0.035 (NMDI) y 0.251 (MSI). Los valores observados para los índices espectrales fueron consistentes con un cultivo de maíz en etapa de desarrollo vegetativo avanzado, previo a la floración.

En particular, los valores de NDVI (0.39–0.59), GNDVI (0.39–0.52) y NDRE (0.26–0.44) indicaron un dosel con elevada cobertura vegetal y actividad fotosintética, mientras que los índices relacionados con el contenido de agua (NDMI, LSWI, GVMI y MSI) no evidenciaron condiciones espectrales compatibles con estrés hídrico severo. La marcada diferencia entre la variabilidad de la humedad del suelo y la reducida variabilidad de los índices espectrales sugiere que los cambios en el contenido de agua del suelo no se tradujeron en diferencias proporcionales en la respuesta espectral del dosel, lo que probablemente contribuyó a las bajas correlaciones y al limitado desempeño predictivo observado posteriormente. Debido a que dos variables no cumplieron el supuesto de normalidad ($p < 0.05$), las relaciones entre la humedad volumétrica del suelo y los índices espectrales se analizaron mediante el coeficiente de correlación de rangos de Spearman (Cuadro 2). En general, los coeficientes de correlación obtenidos fueron bajos, con valores de ρ comprendidos entre -0.104 y 0.254, ninguno de los índices evaluados mostró una asociación estadísticamente significativa con la humedad del suelo ($p > 0.05$).

Cuadro 2. Coeficientes de correlación de Spearman, valores de significancia e intervalos de confianza del 95 % para la relación entre la humedad del suelo y los índices espectrales derivados de Sentinel-2.

Índice	Coeficiente de Spearman (ρ)	p-valor	IC95inferior	IC95superior
NDVI	0.111	0.6945	-0.448	0.657
GNDVI	0.118	0.6757	-0.453	0.655
SAVI	0.064	0.8199	-0.495	0.622
OSAVI	0.071	0.8003	-0.508	0.661
NDRE	-0.021	0.9396	-0.569	0.536
NDMI	0.104	0.7134	-0.462	0.627
LSWI	-0.025	0.9295	-0.552	0.519
MSI	-0.104	0.7134	-0.630	0.460
GVMI	0.104	0.7134	-0.476	0.641
NMDI	0.254	0.3618	-0.356	0.793

El índice NMDI presentó el mayor coeficiente de correlación positiva (ρ = 0.254), seguido de GNDVI (ρ = 0.118), NDVI (ρ = 0.111), NDMI (ρ = 0.104) y GVMI (ρ = 0.104). Sin embargo, estas asociaciones fueron débiles y no significativas (p ≥ 0.3618). Por otro lado, NDRE (ρ = -0.021), LSWI (ρ = -0.025) y MSI (ρ = -0.104) mostraron correlaciones negativas de muy baja magnitud, las cuales tampoco fueron estadísticamente significativas. En conjunto, estos resultados indican que ninguno de los índices espectrales evaluados explicó de manera consistente la variación de la humedad del suelo bajo las condiciones de este estudio.

Conclusiones

Los resultados evidenciaron una alta variabilidad espacial de la humedad del suelo (CV = 72.2 %), que no se correspondió con una variación proporcional en los índices espectrales derivados de Sentinel-2. Ninguno de los índices presentó una correlación significativa con la humedad del suelo (ρ = −0.104 a 0.254; p > 0.05), lo que indica una limitada capacidad de estos indicadores para detectar las variaciones de humedad bajo un dosel de maíz con desarrollo vegetativo avanzado. Estos resultados sugieren que, bajo condiciones de alta cobertura vegetal, la respuesta espectral registrada por Sentinel-2 estuvo probablemente más condicionada por las características del dosel que por las variaciones de humedad del suelo.

Referencias

Chandrasekar, K., Chakraborty, A.., Choudhary, K., Ramana, K.V (2024). Response of crop water indices to soil wetness and vegetation water content. Advances in Space Research, 73(2), 1316 – 1330. https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.11.019

Dancey, C.P., Reidy, J. (2007). Statistics without maths for psychology. London (UK): Pearson Education.

Li, Z.L., Leng, P., Zhou, C., Chen, K.S., Zhou, F.C., Shang, G.F. (2021). Soil moisture retrieval from remote sensing measurements: Current knowledge and directions for the future. Earth-Sci Rev. 218:103673. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103673

Schattman, R.E, Jean, H., Faulkner, J.W., Maden, R., McKeag, L., Nelson, K.C., Grubinger, V,, Burnett, S., Erich, M.S., Ohno, T. (2023). Effects of irrigation scheduling approaches on soil moisture and vegetable production in the Northeastern U.S.A. Agric Water Manag. 287:108428. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108428

Shapiro, S.S., Wilk, M.B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika. 52(3–4):591–611. https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591

Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things. Am J Psychol. 15(1):72–101. https://doi.org/10.2307/1412159

Wu, B., Zhang, M., Zeng, H., Tian, F., Potgieter, A.B., Qin, X., Yan, N., Chang, S., Zhao, Y., Dong, Q., Boken, V., Plotnikov, D., Guo, H., Wu, F., Zhao, H., Deronde, B., Tits, L., Loupian, E. (2023). Challenges and opportunities in remote sensing-based crop monitoring: a review. National Science Review ,10(4), 1-17. https://doi.org/10.1093/nsr/nwac290

DESEMPEÑO DE ÍNDICES DERIVADOS DE SENTINEL-2 PARA ESTIMAR LA HUMEDAD DEL SUELO BAJO CONDICIONES DE DOSEL DESARROLLADO

Nuria Aide López-Hernández[1*], Aldo Rafael Martínez-Sifuentes[1], Eva Aurora Bautista-Calderón[1], Rubén Palacio-Rodríguez[2], Juan José Vega-Miranda[2].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA) Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango. [2]Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Universidad S/N, Núcleo Universitario, Filadelfia, 35019 Gómez Palacio, Durango, México. *Autor para correspondencia: lopez.nuria@inifap.gob.mx

Introducción

La agricultura constituye el principal consumidor de agua dulce a nivel mundial, por lo que mejorar la eficiencia del riego es fundamental para una producción sostenible. En este contexto, el contenido de agua del suelo es una variable clave para definir el momento y la cantidad de riego. En maíz forrajero, una adecuada disponibilidad hídrica favorece el crecimiento, la acumulación de biomasa y la calidad del forraje, mientras que el déficit o exceso de agua puede reducir el rendimiento y la eficiencia en el uso del recurso (Ghosh et al., 2024). Los métodos convencionales, como los reflectómetros en el dominio del tiempo (TDR), proporcionan mediciones precisas, pero de carácter puntual, lo que limita la caracterización de la variabilidad espacial del suelo. Como alternativa, la teledetección permite obtener información espacial y temporal sobre el estado hídrico de los cultivos con amplia cobertura (López-Hernández et al., 2026). Entre las plataformas disponibles, Sentinel-2 destaca por su resolución espacial, frecuencia de revisita y acceso gratuito, además de contar con bandas en las regiones visible, borde rojo, infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR), ampliamente utilizadas para generar índices espectrales con aplicaciones agrícolas. Los índices de vegetación, como NDVI, GNDVI, NDRE, SAVI y OSAVI, permiten caracterizar el vigor y estado fisiológico del cultivo, mientras que NDMI, LSWI, MSI, GVMI y NMDI presentan sensibilidad al contenido de agua y han sido propuestos para evaluar indirectamente la condición hídrica del sistema suelo–planta. No obstante, su capacidad para estimar la humedad del suelo puede verse afectada por el desarrollo del cultivo. En etapas avanzadas del maíz, el cierre del dosel incrementa la contribución espectral de la vegetación y reduce la influencia directa del suelo, lo que puede disminuir la sensibilidad de los índices ópticos ante variaciones en su contenido de agua (Kumar et al., 2025). Por ello, persiste incertidumbre sobre el desempeño de diferentes índices derivados de Sentinel-2 bajo condiciones de dosel desarrollado. En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar y comparar cinco índices de vegetación (NDVI, GNDVI, NDRE, SAVI y OSAVI) y cinco índices de humedad (NDMI, LSWI, MSI, GVMI y NMDI) para estimar la humedad volumétrica del suelo en maíz forrajero bajo dosel desarrollado, utilizando mediciones in situ obtenidas mediante TDR como referencia.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en un predio localizado en Bermejillo, municipio de Mapimí, Durango, México (25°57′17.9″N, 103°38′27.1″O). La región presenta un clima muy seco semicálido, con precipitaciones predominantemente estivales, temperatura media anual de 14–22 °C y precipitación media anual de 200–500 mm [INEGI, 2010]. El suelo es de textura predominantemente franca y presenta una densidad aparente de 1.27 g cm^{-3} en los primeros 0.30 m de profundidad. La superficie experimental fue de 1.78 ha y se estableció con maíz forrajero híbrido. El primer riego se aplicó el 12 de abril de 2026 para favorecer la emergencia. El cultivo se manejó mediante fertirriego por goteo superficial con caudal de 1.01 L h^{-1} por emisor. Los riegos se realizaron semanalmente durante cuatro días consecutivos, con una duración de 8 h d^{-1}. La cosecha se efectuó el 31 de julio de 2026.

El contenido volumétrico de agua del suelo (%) se evaluó el 25 de junio de 2026 en 15 puntos georreferenciados distribuidos en el área experimental, cuando el maíz forrajero se encontraba en plena etapa de desarrollo vegetativo, a los 75 días después de la siembra (DDS). Las determinaciones se realizaron a 20 cm de profundidad mediante un medidor portátil Hydrosense II (Campbell Scientific Australia Pty. Ltd., Garbutt, QLD, Australia).

La imagen multiespectral utilizada en este estudio fue adquirida del satélite Sentinel-2 el 25 de junio de 2026, mediante la plataforma Copernicus Data Space Ecosystem (https://browser.dataspace.copernicus.eu), utilizando el producto Level-2A (reflectancia de superficie), el cual incorpora la corrección atmosférica mediante el procesador Sen2Cor. Como parte del procesamiento de la imagen, las bandas espectrales utilizadas fueron reescaladas de valores digitales a reflectancia de superficie, y las bandas con resolución espacial original de 20 m (B5, B8A, B11 y B12) fueron remuestreadas a 10 m mediante interpolación bilineal. Se utilizó el software libre QGIS versión 3.44.12 Solothurn.

Con los índices espectrales y el contenido de humedad del suelo obtenido mediante TDR, se ajustaron modelos de regresión lineal simple para cada índice espectral, considerando el contenido volumétrico de humedad del suelo como variable dependiente y el índice espectral correspondiente como variable independiente. La relación entre ambas variables fue explorada inicialmente mediante diagramas de dispersión con ajuste de la línea de regresión. La adecuación del modelo lineal fue evaluada mediante una prueba de falta de ajuste (lack-of-fit), comparando el modelo lineal con un modelo cuadrático. Cuando la incorporación del término cuadrático no produjo una mejora significativa del ajuste ($p > 0.05$), se mantuvo el modelo lineal como modelo final (Montgomery et al. 2012). El desempeño de los modelos se evaluó utilizando el coeficiente de determinación (R^2), la raíz del error cuadrático medio (RMSE), el error absoluto medio (MAE) y el error de sesgo medio (MBE), calculados según Willmott y Matsuura (2005). Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software R versión 4.6.0 (R Core Team 2026).

Resultados y discusión

Con el fin de evaluar la capacidad predictiva de los índices espectrales sobre la humedad volumétrica del suelo, se ajustaron modelos de regresión lineal simple entre la humedad del suelo y cada uno de los diez índices derivados de Sentinel-2 (Figura 1). La selección del modelo lineal estuvo sustentada por la inspección visual de las relaciones y la comparación con modelos cuadráticos (Cuadro 1), la cual mostró que la inclusión de un término cuadrático no proporcionó una mejora significativa del ajuste ($p > 0.05$). En todos los casos, las relaciones fueron débiles y no significativas ($p > 0.05$), indicando una escasa capacidad de los índices para explicar la variabilidad espacial de la humedad del suelo observada en la parcela.

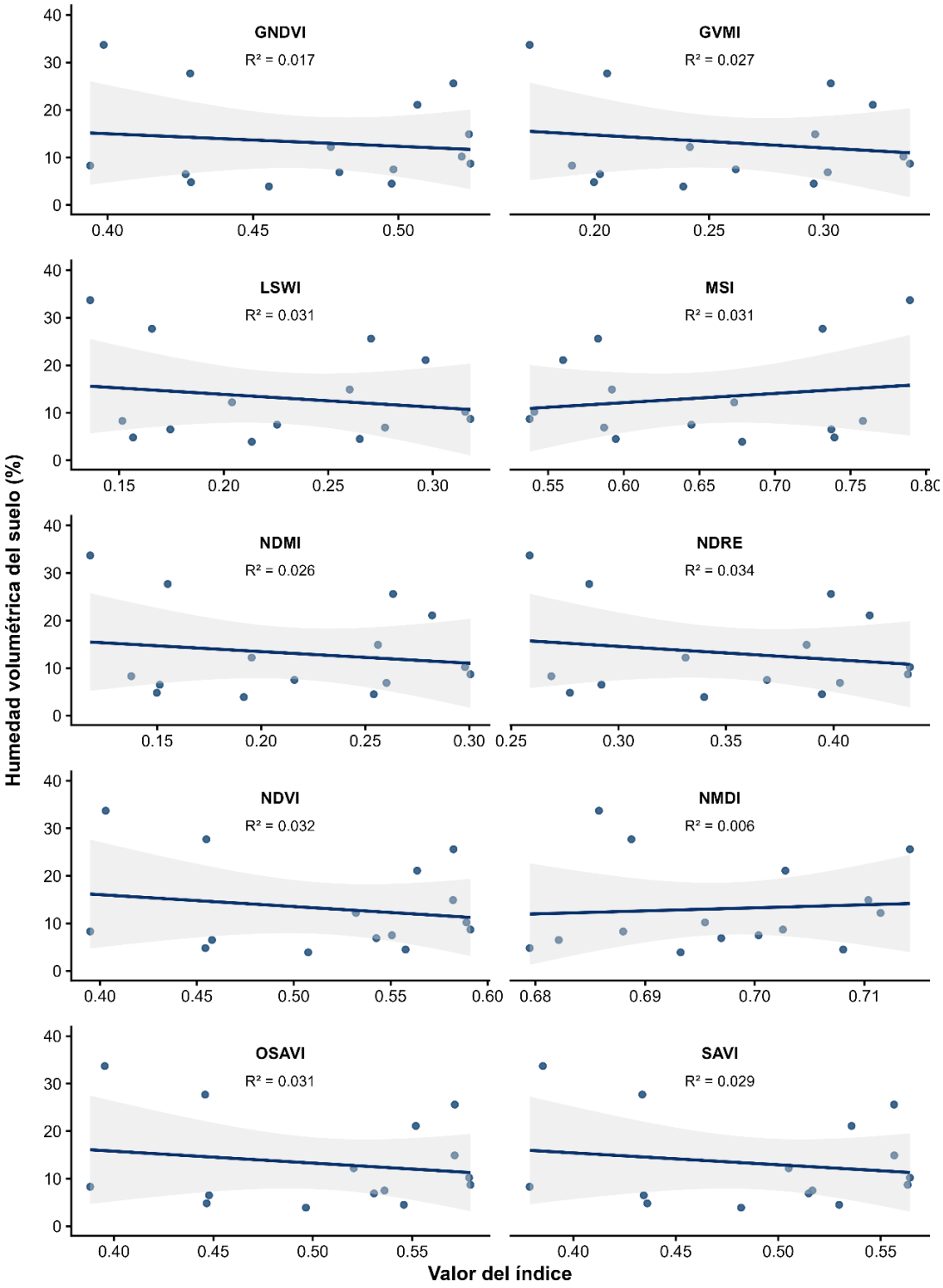


Figura 1. Relaciones lineales entre el contenido volumétrico de agua del suelo (%) y los índices espectrales evaluados. Los puntos representan las observaciones de campo, la línea continua indica la regresión lineal ajustada y el área sombreada representa el intervalo de confianza del 95 %. Se muestran los valores de R^2 para cada modelo de regresión.

Cuadro 1. Comparación con modelos de ajuste.

Índice	p lineal	p cuadrático	Mejora del modelo
NDVI	0.52266476	0.2461	Modelo lineal suficiente
GNDVI	0.64362426	0.1955	Modelo lineal suficiente
SAVI	0.54608491	0.2158	Modelo lineal suficiente
OSAVI	0.53249915	0.2321	Modelo lineal suficiente
NDRE	0.50807983	0.3204	Modelo lineal suficiente
NDMI	0.56567566	0.1985	Modelo lineal suficiente
LSWI	0.52781468	0.2915	Modelo lineal suficiente
MSI	0.53221331	0.1585	Modelo lineal suficiente
GVMI	0.56132455	0.2031	Modelo lineal suficiente
NMDI	0.79266392	0.6518	Modelo lineal suficiente

Los coeficientes de determinación fueron bajos para todos los modelos, con valores de R^2 comprendidos entre 0.006 y 0.034 (Cuadro 2). El mayor valor correspondió al NDRE (R^2=0.034), seguido por NDVI (R^2=0.032), LSWI, MSI y OSAVI (R^2=0.031); sin embargo, estas diferencias fueron mínimas y ninguno de los modelos resultó estadísticamente significativo ($p > 0.05$). De manera consistente, los indicadores de error mostraron un desempeño similar entre todos los modelos. Los valores de RMSE oscilaron entre 8.98 y 9.12 %, mientras que el MAE varió entre 7.54 y 7.73 %, evidenciando que ningún índice proporcionó estimaciones sustancialmente más precisas de la humedad del suelo. La pendiente de las regresiones fue negativa para la mayoría de los índices (NDVI, GNDVI, SAVI, OSAVI, NDRE, NDMI, LSWI y GVMI), lo que sugiere una ligera tendencia a menores valores de humedad conforme aumentó el índice espectral. En contraste, MSI y NMDI presentaron pendientes positivas. No obstante, debido a la baja magnitud de los coeficientes de determinación y a la ausencia de significancia estadística, estas tendencias deben interpretarse únicamente como descriptivas y no como relaciones funcionales entre las variables.

Cuadro 2. Parámetros y métricas de desempeño de los modelos de regresión lineal entre la humedad volumétrica del suelo y los índices espectrales derivados de imágenes Sentinel-2.

Índice	Intercepto	Pendiente	R^2	R^2 Ajustado	RMSE	MAE	p-valor
NDVI	26.051	-25.021	0.032	-0.042	8.993	7.66	0.5227
GNDVI	25.591	-26.463	0.017	-0.059	9.064	7.725	0.6436
SAVI	25.436	-25.031	0.029	-0.046	9.009	7.678	0.5461
OSAVI	25.796	-25.038	0.031	-0.044	9.000	7.668	0.5325
NDRE	22.907	-27.787	0.034	-0.04	8.983	7.605	0.5081
NDMI	18.362	-24.443	0.026	-0.049	9.022	7.661	0.5657
LSWI	19.269	-26.974	0.031	-0.043	8.997	7.615	0.5278
MSI	0.4880	19.408	0.031	-0.044	9.000	7.649	0.5322
GVMI	20.182	-27.226	0.027	-0.048	9.019	7.657	0.5613
NMDI	-31.352	63.748	0.006	-0.071	9.116	7.536	0.7927

R^2: coeficiente de determinación; R^2 ajustado: coeficiente de determinación ajustado; RMSE: raíz del error cuadrático medio (Root Mean Square Error); MAE: error absoluto medio (Mean Absolute Error); p-valor: nivel de significancia estadística asociado a la pendiente del modelo de regresión lineal.

Conclusiones

Los resultados evidenciaron una alta variabilidad espacial de la humedad del suelo (CV = 72.2 %), que no se correspondió con una variación proporcional en los índices espectrales derivados de Sentinel-2. Ninguno de los índices presentó una correlación significativa con la humedad del suelo ($\rho = -0.104$ a 0.254; $p > 0.05$), lo que indica una limitada capacidad de estos indicadores para detectar las variaciones de humedad bajo un dosel de maíz con desarrollo vegetativo avanzado. Estos resultados sugieren que, bajo condiciones de alta cobertura vegetal, la respuesta espectral registrada por Sentinel-2 estuvo probablemente más condicionada por las características del dosel que por las variaciones de humedad del suelo.

Referencias

Ghosh ,A., Kabiraj, M.S., Sarkar, M.A.R., Salim, M., Uddin, F.M.J., Radiah, M.H.R., Paul, S.K. (2024). Differences of maize fodder yield and crop attributes under different irrigation and nutrient management. J Agrofor Environ. 17(1):4–12. https://doi.org/10.55706/jae1702

Kumar, S., Ghosh, S.S., Mandal, D., Bhattacharya, A., Porwal, A., Karthikeyan, L. (2025). Enhancing vegetation monitoring: A proposal for a Sentinel-2 based vegetation health index. Front Remote Sens. 6:1581355. https://doi.org/10.3389/frsen.2025.1581355

López-Hernández, N.A., Rodríguez-Moreno, V.M., Ramírez-Gottfried, R.I., Trucíos-Caciano, R., Inzunza-Ibarra, M.A., Martínez-Sifuentes, A.R. (2026). Sentinel-2 and unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for irrigation scheduling in fodder maize: A comparative remote sensing approach. Plants. 15:2265. https://doi.org/10.3390/plants15152265

Montgomery, D.C., Peck, E.A., Vining, G.G. (2012). Introduction to linear regression analysis. 5th ed. Hoboken (NJ, USA): John Wiley & Sons.

R Core Team. (2026). R: A language and environment for statistical computing. Vienna (Austria): R Foundation for Statistical Computing.

Willmott, C.J., Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. Clim Res. 30:79–82. https://doi.org/10.3354/cr030079

ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CULTIVO DE MAÍZ FORRAJERO EN LA COMARCA LAGUNERA

Nuria Aide López-Hernández[1]*, Aldo Rafael Martínez Sifuentes[1], Ricardo Israel Ramírez Gottfried[2], Lia Azul Ramírez García[3], Odalys Nohemí Navarrete Gaytán[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA) Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango. [2]Unverdidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, Periférico Raúl López Sánchez s/n, Col. Valle Verde, Torreón 27054, México. [3]Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Universidad S/N, Núcleo Universitario, Filadelfia, 35019 Gómez Palacio, Durango, México. *Autor para correspondencia: lopez.nuria@inifap.gob.mx

Introducción

El cambio climático constituye uno de los principales desafíos ambientales y socioeconómicos a escala mundial. Se manifiesta como modificaciones persistentes en los patrones y valores medios de variables climáticas, particularmente la temperatura y la precipitación, así como en la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos. Estos cambios pueden estar asociados tanto con la variabilidad natural del clima como con las actividades antropogénicas que alteran el sistema climático (Yin y Sun, 2018). Para evaluar de manera objetiva las modificaciones en las condiciones climáticas y, particularmente, en los eventos extremos de temperatura y precipitación, el Equipo de Expertos en Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI) desarrolló un conjunto estandarizado de 27 índices climáticos. Estos índices permiten caracterizar cambios en la frecuencia, intensidad y duración de eventos extremos de temperatura y precipitación, y han sido ampliamente utilizados para identificar tendencias y evaluar modificaciones en los patrones climáticos a diferentes escalas espaciales y temporales (Chervenkov y Slavov, 2019). El análisis de estos indicadores resulta particularmente relevante en el norte de México, donde las condiciones climáticas áridas y semiáridas, aunadas a la elevada variabilidad de la precipitación y a la ocurrencia de temperaturas extremas, incrementan la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas ante los efectos del cambio climático. En este contexto, la identificación y cuantificación de tendencias en los índices de extremos climáticos puede proporcionar evidencia objetiva sobre la magnitud y dirección de los cambios observados, además de generar información útil para fortalecer las estrategias de adaptación y mitigación, especialmente en el sector agrícola (López-Hernández, 2025). La Comarca Lagunera constituye una región de particular interés debido a su elevada dependencia de los recursos hídricos y a la importancia de la actividad agrícola, factores que incrementan su exposición y sensibilidad frente a las variaciones climáticas. Por ello, el análisis de tendencias de índices de extremos climáticos representa una herramienta importante para evaluar posibles modificaciones en las condiciones ambientales de la región y contribuir a una mejor planificación de los recursos y de las actividades productivas. En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue analizar las tendencias temporales de tres índices de extremos climáticos del conjunto ETCCDI en la Comarca Lagunera, con la finalidad de identificar posibles cambios asociados con la ocurrencia de eventos climáticos extremos y generar información de utilidad para la toma de decisiones y el diseño de estrategias de adaptación en una región vulnerable al cambio climático.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en la Comarca Lagunera (CL), región localizada en el norte de México y comprendida entre los 24° 22' y 26° 23' de latitud norte y los 102° 22' y 104° 47' de longitud oeste. La CL abarca aproximadamente 31 000 km² y está conformada por 16 municipios pertenecientes a los estados de Coahuila de Zaragoza y Durango.

En Coahuila se incluyen los municipios de Viesca, Torreón, Francisco I. Madero, San Pedro y Matamoros, mientras que en Durango forman parte de la región San Juan de Guadalupe, Cuencamé, General Simón Bolívar, Mapimí, Gómez Palacio, Nazas, Lerdo, Tlahualilo, San Pedro del Gallo, Rodeo y San Luis Cordero. La información meteorológica empleada se obtuvo de la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=coah). Con el propósito de generar una representación espacial de los extremos climáticos para el conjunto de la Comarca Lagunera, las series meteorológicas previamente homogeneizadas fueron transformadas a una estructura espacial regular mediante la función dahgrid del paquete Climatol. Este procedimiento emplea el método de interpolación de distancia inversa ponderada (IDW), permitiendo estimar los valores climáticos en los puntos de una cuadrícula a partir de la información disponible en las estaciones meteorológicas. El análisis se concentró en tres índices de extremos climáticos de los 27 indicadores estandarizados por el Equipo de Expertos en Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI), mismos que se presentan en el Cuadro 1. El cálculo se realizó utilizando las series climáticas homogeneizadas y el software RClimDex (Climdex, 2019; http://etccdi.pacifclimate.org).

Cuadro 1. Índices de cambio climático basados en temperatura.

Índice	Nombre	Definición	Unidad
TNx	Max Tmin	Valor máximo mensual de la temperatura mínima diaria	°C
TXx	Max Tmax	Valor máximo mensual de la temperatura máxima diaria	°C
DTR	Rango de temperatura diurna	Diferencia media mensual entre TX y TN	°C

Resultados y discusión

A pesar de la relevancia del cultivo de maíz forrajero para el desarrollo socioeconómico de la región, no se han realizado estudios que investiguen los impactos de la variabilidad climática en el rendimiento del cultivo en dicha zona. En el presente estudio, evaluamos el clima reciente en el norte de México y analizamos la influencia de las variables climáticas en el rendimiento del maíz. En este sentido, el análisis de eventos extremos mediante índices climáticos ha cobrado una importancia creciente en la agricultura. Los índices climáticos son herramientas esenciales para comprender cómo el cambio climático afecta a diversas regiones del mundo, incluido el norte de México. Estos índices facilitan el monitoreo de fenómenos extremos, tales como olas de calor, sequías, precipitaciones intensas y la calidad del aire, lo cual resulta crucial para la adaptación y la mitigación de los efectos del cambio climático. La investigación y el análisis continuos de estos índices permiten tomar decisiones fundamentadas sobre la gestión de los recursos naturales y el desarrollo de políticas públicas orientadas a mitigar los impactos del cambio climático. Los resultados de los estadísticos Z de la prueba de Mann-Kendall y de la magnitud de la pendiente de Sen para los índices ETCCDI se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Valores Z y pendiente Sen para los índices ETCDDI de la Comarca Lagunera de 1980 a 2020.

Índice ETCCDI	Lerdo		San Pedro		Tlahualilo	
	Valor Z	Pendiente de Sen	Valor Z	Pendiente de Sen	Valor Z	Pendiente de Sen
TNx	4.55 *****	0.07	4.00 *****	0.05	3.13 *****	0.04
TXx	3.38 *****	0.05	1.70	0.03	0.73	0
DTR	0.18	0	−2.61 *****	−0.02	0.48	0.01

Los valores marcados con * corresponden a tendencias significativas al nivel del 5 % ($p < 0.05$).

Los resultados mostraron una tendencia creciente significativa en el índice TNx, correspondiente a los valores máximos de la temperatura mínima, en toda la región CL, con una tasa promedio de 0,05 °C por año ($p < 0,05$). De las tres estaciones, Lerdo registró las temperaturas mínimas más bajas y San Pedro, las más altas. Durante el periodo comprendido entre 1993 y 2020, el valor máximo de la temperatura mínima promedio en San Pedro fue de 26 °C. El índice TXx mostró una tendencia creciente significativa en Lerdo, con una tasa de 0,05 °C por año ($p < 0,05$); por el contrario, en San Pedro y Tlahualilo, dicha tendencia creciente no resultó significativa. Las tendencias crecientes de TNx y TXx podrían indicar un aumento en la intensidad de los eventos cálidos y una disminución en la de los eventos fríos.

En Lerdo, la amplitud térmica diaria (DTR) osciló entre 17,1 °C y 20,2 °C, sin mostrar una tendencia significativa de aumento o disminución ($p < 0,05$). En San Pedro, la DTR presentó una tendencia significativa a la baja a una tasa de 0,02 °C por año ($p < 0,05$), debido a una menor amplitud de calentamiento en las temperaturas máximas (TXx) y mínimas (TNx) extremas, lo que resultó en una reducción de la amplitud térmica diaria; el valor más bajo de este rango se registró en 2015. En Tlahualilo, la amplitud térmica diaria oscila entre 14 °C y 21 °C; además, se observó una disminución drástica en 2010, aunque la tendencia al aumento no resultó significativa ($p < 0.05$).

El análisis de los índices ETCCDI mostró tendencias diferenciadas entre las estaciones meteorológicas de la Comarca Lagunera durante el periodo 1980–2020. Para el índice TNx (Figura 1), correspondiente al valor máximo anual de la temperatura mínima diaria, se identificó una tendencia positiva y estadísticamente significativa en las tres estaciones analizadas. En Lerdo se observó el ajuste lineal más consistente, con un coeficiente de determinación de R^2=0.462 ($p<0.001$), seguido de San Pedro (R^2 =0.317, $p<0.001$) y Tlahualilo (R^2=0.279, $p<0.001$). Este comportamiento indica un incremento sostenido en los valores de las temperaturas mínimas extremas a lo largo del periodo de estudio. La tendencia fue particularmente evidente en Lerdo, donde los valores de TNx pasaron de registros cercanos a 20–21 °C durante los primeros años de la serie a valores superiores a 23 °C hacia el final del periodo.

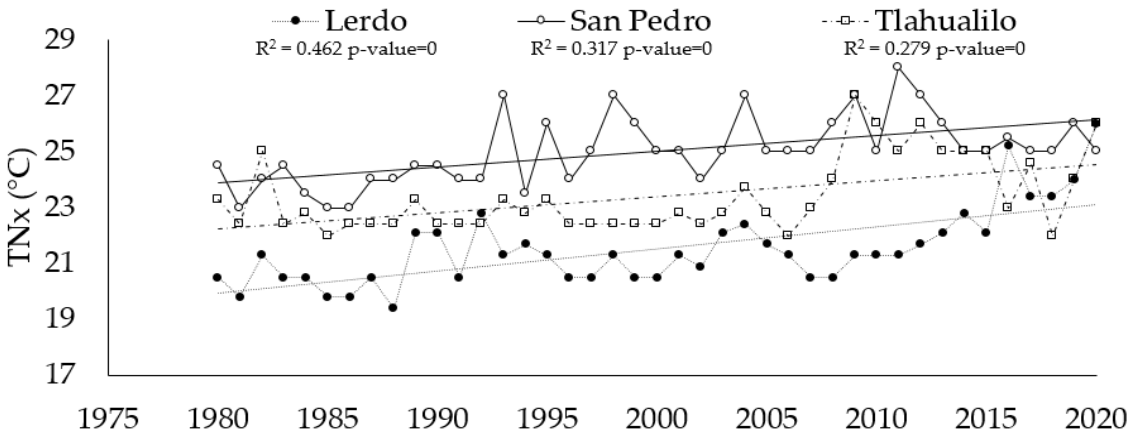


Figura 1. Comportamiento temporal de la temperatura máxima extrema (TNx) en tres localidades de la Comarca Lagunera.

En contraste, el índice TXx, que representa la temperatura máxima diaria más elevada registrada anualmente, presentó un comportamiento menos uniforme entre las estaciones (Figura 2). En Lerdo se detectó una tendencia creciente estadísticamente significativa (R^2=0.238, p=0.001), mientras que en San Pedro (R^2 =0.058, p=0.13) y Tlahualilo (R^2=0.026, p=0.314) las tendencias no fueron estadísticamente significativas. Aunque en las tres estaciones se observan fluctuaciones interanuales importantes, los resultados sugieren que el incremento de los valores extremos de temperatura máxima fue espacialmente heterogéneo. Los valores más elevados de TXx se registraron principalmente durante la segunda mitad del periodo analizado, con eventos particularmente marcados en Lerdo y Tlahualilo.

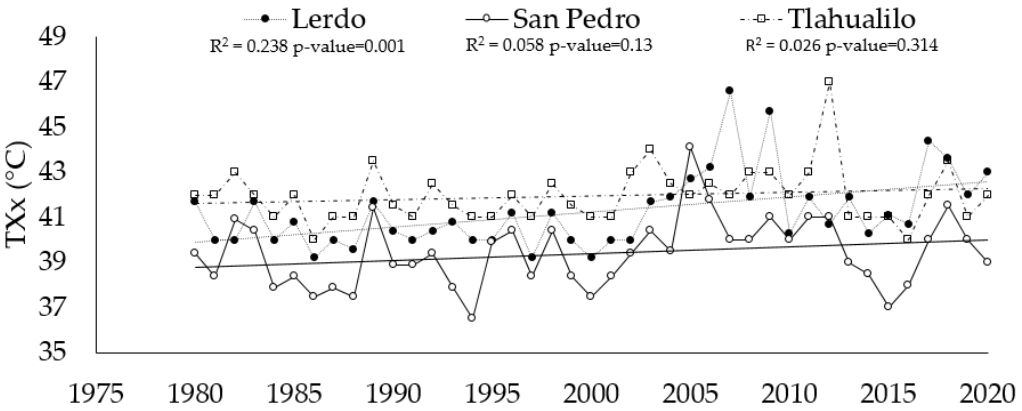


Figura 2. Comportamiento temporal de la temperatura mínima extrema (TXx) en tres localidades de la Comarca Lagunera.

El índice DTR, que expresa la amplitud térmica diurna a partir de la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima, mostró igualmente un comportamiento contrastante entre estaciones (Figura 3). San Pedro presentó una tendencia decreciente estadísticamente significativa (R2 =0.166, p=0.008), mientras que en Lerdo (R 2 =0.001, p=0.866) y Tlahualilo (R 2 =0.0002, p=0.937) no se identificaron tendencias significativas. En San Pedro, la disminución de DTR indica una reducción progresiva de la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas diarias durante el periodo de análisis. Por el contrario, los valores de DTR en Lerdo y Tlahualilo mostraron principalmente variaciones interanuales, sin evidencia estadística de una tendencia temporal definida.

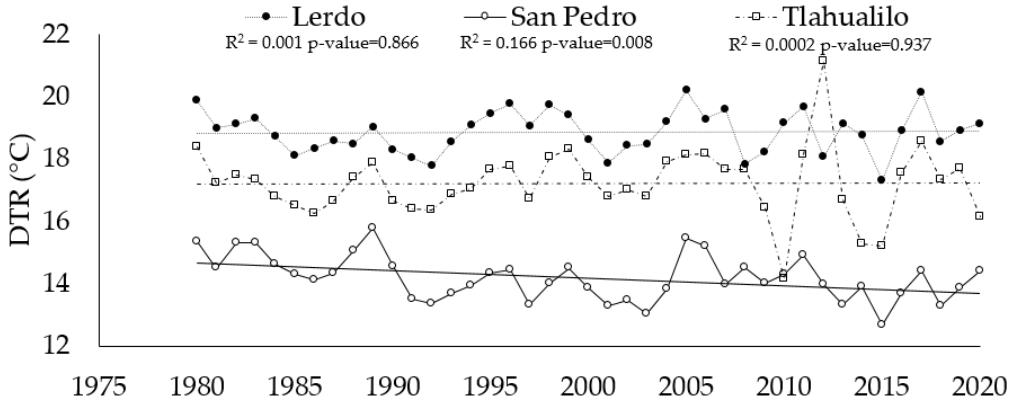


Figura 3. Comportamiento temporal del rango de temperatura diurna (DTR) en tres localidades de la Comarca Lagunera.

Conclusiones

El análisis de los índices ETCCDI evidenció cambios significativos en el comportamiento de los extremos térmicos de la Comarca Lagunera durante 1980–2020. El índice TNx presentó una tendencia creciente y significativa en las tres estaciones, mientras que TXx mostró un incremento significativo únicamente en Lerdo. Por su parte, DTR presentó una disminución significativa en San Pedro. En conjunto, los resultados indican una modificación espacialmente diferenciada del régimen térmico regional, caracterizada principalmente por el incremento de las temperaturas mínimas extremas, lo que evidencia la importancia de fortalecer las estrategias de adaptación climática en la región.

Referencias

Chervenkov, H., Slavov, K. (2019). STARDEX and ETCCDI climate indices based on E-OBS and CARPATCLIM. Part two: ClimData in use. In: Nikolov, G., et al. (eds.) NMA 2018. LNCS, vol. 11189, pp. 368–374. Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-030-10692-8_41

López Hernández, N.A., Martínez Sifuentes, A.R., Halecki, W., Trucíos Caciano, R., Rodríguez

Moreno, V.M. (2025). An Assessment of the Impact of Climate Change on Maize Production in Northern Mexico. Atmosphere, 16, 455. https://doi.org/10.3390/atmos16040455

Yin, H., Sun, Y. (2018). Characteristics of extreme temperature and precipitation in China in 2017 based on ETCCDI índices. Advances in Climate Change Research, 9(4): 218-226.

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DE POZO PARA RIEGO AGRÍCOLA

Nuria Aide López-Hernández[1*], Eva Aurora Bautista-Calderón[1], Cristo Omar Puente-Valenzuela[1], Guillermo Gonzalez-Cervantes[1], Odalys Nohemí Navarrete Gaytán[2], Lia Azul Ramírez García[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA) Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango. [2]Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Universidad S/N, Núcleo Universitario, Filadelfia, 35019 Gómez Palacio, Durango, México. *Autor para correspondencia: lopez.nuria@inifap.gob.mx

Introducción

La calidad del agua de riego constituye un factor determinante para la productividad agrícola y la conservación de las propiedades físicas y químicas del suelo. Su composición iónica puede influir en procesos como la acumulación de sales en la zona radical, la infiltración y permeabilidad del suelo, así como en la toxicidad específica de determinados iones para los cultivos (Sun et al., 2023). Estos efectos adquieren particular relevancia en regiones áridas y semiáridas, donde la baja precipitación limita el lavado natural de las sales y favorece su concentración en el perfil del suelo. La evaluación de la aptitud del agua para riego requiere considerar de manera conjunta parámetros fisicoquímicos e indicadores que permitan identificar diferentes tipos de riesgo, así como las condiciones agroclimáticas y de manejo del sitio (Minhas, 2024). Entre los principales se encuentran la conductividad eléctrica (CE), como indicador del riesgo de salinidad; la relación de adsorción de sodio (RAS), asociada con el riesgo de sodicidad e infiltración; el carbonato de sodio residual (CSR), así como las concentraciones de cloruros, boro y otros elementos que pueden generar efectos tóxicos (Abrol et al., 1988). De acuerdo con las directrices de Ayers y Westcot (1985), la interpretación de estos indicadores debe realizarse considerando las características del suelo, el cultivo, el sistema de riego y las condiciones de drenaje, ya que la respuesta del sistema.

En este contexto, la caracterización fisicoquímica del agua de fuentes subterráneas representa una herramienta importante para identificar restricciones potenciales antes o durante su utilización agrícola. Por ello, el presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar y evaluar la calidad fisicoquímica del agua de un pozo utilizada para riego agrícola, mediante indicadores de salinidad, sodicidad, alcalinidad y toxicidad, con la finalidad de identificar las principales restricciones asociadas con su uso y aportar elementos para su manejo adecuado.

Materiales y métodos

El trabajo de investigación se realizó en un predio ubicado en Bermejillo, municipio de Mapimí, Durango, México (25°57′17.9″N, 103°38′27.1″O). El clima de la región se caracteriza con muy seco semicálido, con temperatura media anual de 14–22 °C y precipitación media anual de 200–500 mm (INEGI, 2010). El suelo es de textura predominantemente franca en los primeros 30 cm. En el sitio de estudio se estableció maíz forrajero con riego por goteo mediante cintilla superficial con un caudal de 1.01 L h^{-1} por emisor. El agua provenía de un pozo ubicado en el mismo predio. El ciclo agrícola abarco del12 de abril al 31 de julio de 2026. El muestreo de agua se realizó directamente en la fuente de abastecimiento, correspondiente a un pozo, con el propósito de determinar sus principales características fisicoquímicas y evaluar su calidad para riego. La muestra fue recolectada el día 13 de julio de 2026 en la descarga del pozo, utilizando un recipiente de polipropileno de 1 L.

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis de Agua y Suelo del CENID-RASPA del INIFAP. Entre las propiedades generales se determinaron el pH y la conductividad eléctrica (CE). Asimismo, se cuantificaron los principales cationes, incluyendo calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^{+}) y potasio (K^{+}), así como los principales aniones: sulfatos (SO_4^{2-}), cloruros (Cl^{-}), bicarbonatos (HCO_3^{-}) y carbonatos (CO_3^{2-}). Adicionalmente, se determinaron las concentraciones de elementos traza de importancia para la calidad del agua, específicamente hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn) y boro (B).

La calidad del agua para riego se evaluó mediante los siguientes indicadores:

a) Riesgo de salinidad. Se evaluó mediante la conductividad eléctrica (CE), y el grado de restricción para uso agrícola, se basó en los criterios establecidos por Ayers y Westcot y las directrices de la FAO.
b) Riesgo de sodicidad. Se determinó mediante la relación de adsorción de sodio (RAS), con concentraciones en $mmol_c\ L^{-1}$, a partir de la siguiente ecuación.

$$RAS=\frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{2+}+Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

c) Carbonato de sodio residual, aplicando la siguiente ecuación.

$$CSR=\left(HCO_3^{-}+CO_3^{-2}\right)-(Ca^{2+}+Mg^{2+}) \quad (2)$$

d) Porcentaje de sodio, mediante la siguiente ecuación.

$$Na\ \%=\frac{Na}{Ca+Mg+Na+K}x100 \quad (3)$$

e) Toxicidad por iones específicos (Na, Cl, B).
f) Alcalinidad y concentración de bicarbonatos.
g) Evaluación de elementos traza.

Resultados y discusión

Los resultados del análisis fisicoquímico del agua de pozo se presentan en el cuadro 1. El agua presentó un pH de 8.117, lo que indica una condición ligeramente alcalina. La conductividad eléctrica fue de 3.935 dS m^{-1}, evidenciando una concentración relativamente elevada de sales solubles. Entre los principales cationes, el calcio presentó la mayor concentración (14.97 $mmol_c\ L^{-1}$), seguido por el magnesio (6.59 $mmol_c\ L^{-1}$), sodio (5.00 $mmol_c\ L^{-1}$) y potasio (0.2512 $mmol_c\ L^{-1}$). En cuanto a los aniones, los sulfatos presentaron la mayor concentración (30.241 $mmol_c\ L^{-1}$), mientras que se determinaron concentraciones de 5.00 $mmol_c\ L^{-1}$ de bicarbonatos y 3.50 $mmol_c\ L^{-1}$ de cloruros; no se detectaron carbonatos. Las concentraciones de elementos traza fueron relativamente bajas, con valores de 0.013, 0.0297, 0.018 y 0.098 mg L^{-1} para Fe, Cu, Mn y Zn, respectivamente, mientras que el boro presentó una concentración de 0.15 mg L^{-1}. Estos resultados constituyen la base para la evaluación posterior de los riesgos de salinidad, sodicidad, toxicidad por iones específicos y presencia de elementos traza asociados con el uso del agua para riego.

Cuadro 1. Características fisicoquímicas del agua de pozo utilizada para riego.

Parámetro	Valor	Unidad
Propiedades generales		
pH	8.117	
Conductividad eléctrica	3.935	dSm^{-1}
Cationes		
Calcio Ca2+	14.97	$mmol_c\ L^{-1}$
Magnesio Mg2+	6.59	$mmol_c\ L^{-1}$
Potasio K+	0.2512	$mmol_c\ L^{-1}$
Sodio Na+	5.0	$mmo_{lc}\ L^{-1}$
Aniones		
Sulfatos	30.241	$mmol_c\ L^{-1}$
Cloruros	3.5	$mmol_c\ L^{-1}$
Bicarbonatos	5	$mmol_c\ L^{-1}$
Carbonatos	0	$mmol_c\ L^{-1}$
Elementos traza		
Hierro	0.013	$mg\ L^{-1}$
Cobre	0.0297	$mg\ L^{-1}$
Manganeso	0.018	$mg\ L^{-1}$
Zinc	0.098	$mg\ L^{-1}$
Boro	0.15	$mg\ L^{-1}$

Los indicadores de calidad calculados para el agua de riego se presentan en el Cuadro 2. La conductividad eléctrica (CE) fue de 3.935 dS m^{-1}, valor que, de acuerdo con los criterios de Ayers y Westcot (1985), corresponde a una restricción severa por salinidad. En contraste, la relación de adsorción de sodio (RAS) presentó un valor de 1.71, por lo que el riesgo asociado con la sodicidad debe interpretarse conjuntamente con la CE, debido a la interacción entre ambos parámetros sobre la infiltración y permeabilidad del suelo. El carbonato de sodio residual (CSR) presentó un valor de −16.56 $mmol_c\ L^{-1}$, lo que indica una condición favorable respecto al posible efecto de bicarbonatos y carbonatos sobre la precipitación de Ca^{2+} y Mg^{2+}. Por su parte, el porcentaje de sodio (Na %) fue de 18.7 %, constituyendo un indicador complementario de la composición catiónica del agua. En cuanto a los iones específicos, las concentraciones de Cl^- y B fueron de 3.50 $mmol_c\ L^{-1}$ y 0.15 mg L^{-1}, respectivamente, mientras que los elementos traza presentaron concentraciones bajas. En conjunto, los resultados indican que la principal restricción del agua para su uso agrícola está asociada con la salinidad, mientras que los indicadores de sodicidad, carbonato de sodio residual y toxicidad por boro no representan, de acuerdo con los criterios empleados, una limitación de la misma magnitud.

Cuadro 2. Indicadores de calidad del agua de riego y grado de restricción

Indicador	Valor	Criterio FAO/Ayers y Westcot	Restricción
CE (dS m^{-1})	3.935	>3.0	Severa
RAS	1.71	evaluar conjuntamente con CE	—
CSR ($mmol_c\ L^{-1}$)	−16.56	negativo	Favorable
Na (%)	18.7	criterio complementario	—
Cl^- ($mmol_c\ L^{-1}$)	3.50	según método de aplicación	—
B ($mg\ L^{-1}$)	0.15	<0.7	Sin restricción
pH	8.117	6.5–8.4 aprox.	Normal/ligeramente alcalino

En conjunto, los resultados indican que el agua presenta una restricción severa asociada principalmente con la salinidad, mientras que los indicadores de sodicidad, carbonato de sodio residual, peligro por magnesio y toxicidad por boro muestran condiciones relativamente favorables. Por lo tanto, el manejo del agua deberá enfocarse principalmente en prevenir la acumulación de sales en la zona radical mediante un adecuado manejo del riego, drenaje y, cuando las condiciones lo permitan, la aplicación de una fracción de lavado. La magnitud del riesgo real dependerá además de la tolerancia del cultivo, las características físicas y químicas del suelo, las condiciones de drenaje y la estrategia de manejo del riego (Ayers y Westcot, 1985).

Conclusiones

El agua de pozo evaluada presentó una restricción severa por salinidad, evidenciada por una conductividad eléctrica de 3.935 dS m^{-1}, constituyendo la principal limitación para su uso agrícola. En contraste, los indicadores de sodicidad mostraron un riesgo relativamente bajo, con un RAS de 1.523 y un CSR de −16.56 $mmol_c$ L^{-1}, mientras que las concentraciones de boro y de los principales elementos traza no representaron restricciones importantes bajo los criterios considerados. En conjunto, el agua puede utilizarse para riego bajo condiciones de manejo adecuadas, particularmente mediante prácticas que reduzcan la acumulación de sales en la zona radical, considerando las características del suelo, el cultivo, el drenaje y los requerimientos de lavado.

Referencias

Abrol, I. P., Yadav, J. S. P., Massoud, F. I. (1988). *Salt-affected soils and their management* (FAO Soils Bulletin 39). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Consultado en línea en agosto de 2026, https://www.fao.org/4/x5871e/x5871e07.htm

Ayers, R.S.; Westcot, D.W. *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 1985

Minhas, P. S. (2024). Agroclimate-centric irrigation water quality guidelines. Irrigation and Drainage. https://doi.org/10.1002/ird.2946

Sun, H.Y.; Zhang, X.J.; Tian, L.; Lou, B.Y.; Liu, T.; Wang, J.T.; Dong, X.L.; Guo, K.; Liu, X.J. Effects of saline water irrigation on soil quality and crop production: A review. Chinese Journal of Eco-Agriculture 2023, 31(3), 354–363. https://doi.org/10.12357/cjea.20220899

ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL EN CUENCAS MEXICANAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MODELO EUROPEO ECMWF DURANTE EL TEMPORAL 2026

Miguel Angel González González[1*], Arturo Corrales Suastegui[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Pabellón, Km. 32.5 Carretera Panamericana Aguascalientes – Zacatecas, C.P. 20670. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. *Autor de correspondencia: gonzalez.miguelangel@inifap.gob.mx

Introducción

La escorrentía superficial es una variable hidrológica fundamental para la gestión de recursos hídricos, la planificación agrícola y la mitigación de desastres asociados a inundaciones y sequías (Balsamo et al., 2009). En un contexto de cambio climático y creciente variabilidad de las precipitaciones, los pronósticos estacionales (con horizontes de 1 a 7 meses) adquieren un papel crucial para la toma de decisiones en sectores vulnerables (Soltani et al., 2025).

México presenta una marcada heterogeneidad climática e hidrológica, determinada por su compleja orografía, su ubicación entre dos océanos y la influencia de fenómenos como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) (Magaña et al., 2003). La temporada de lluvias en el centro y sur del país abarca de mayo a octubre, con máximos en julio-septiembre asociados a la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y al monzón mexicano (Magaña & Quintanar, 1997). Durante los eventos de El Niño, la circulación atmosférica sobre el Pacífico tropical oriental se modifica, desplazando la ZCIT y generando subsidencia en gran parte de México (Magaña et al., 2003).

El año 2026 se caracteriza por el desarrollo de un evento de El Niño de intensidad fuerte a muy fuerte, con anomalías del índice Niño-3.4 proyectadas a superar +2.0 °C durante el trimestre octubre-diciembre (NOAA, 2026; IRI, 2026), configurando un escenario particular para la hidrología mexicana.

El Centro Europeo de Predicciones a Medio Plazo (ECMWF) opera el sistema SEAS5 (Seasonal Forecasting System 5), basado en el IFS, que integra componentes atmosféricos, oceánicos, terrestres y de hielo marino (Stockdale et al., 2018; Johnson et al., 2019). SEAS5 genera pronósticos mensuales con un ensemble de 51 miembros y resolución de ~1°, proporcionando variables como la escorrentía superficial (código GRIB 205), derivada del esquema HTESSEL (Balsamo et al., 2009; Dutra et al., 2010). HTESSEL incorpora una textura edáfica variable, una parametrización de infiltración con capacidad variable y una escorrentía superficial que depende de la orografía de subcuadrícula (van den Hurk & Viterbo, 2003; Balsamo et al., 2009). Estas mejoras han mostrado buena concordancia con observaciones de humedad del suelo y una reducción del sesgo en la predicción de descargas fluviales (Balsamo et al., 2010).

El objetivo de este trabajo es analizar la distribución espacial y la evolución temporal de la escorrentía superficial pronosticada por SEAS5 para México durante julio, agosto, septiembre y octubre de 2026, en tres cuencas representativas (Baja California-Noroeste, Lerma-Santiago y Grijalva-Usumacinta), identificando regiones de mayor riesgo hidrológico y discutiendo los resultados en el marco de la teleconexión ENSO-México y la dinámica del monzón de verano.

Materiales y métodos

Se emplearon pronósticos estacionales del sistema SEAS5 del ECMWF (2025), correspondientes a la inicialización en junio de 2026 para los meses de julio, agosto, septiembre y octubre de 2026 (leads 1 a 4). SEAS5 utiliza el IFS con 91 niveles verticales, resolución de ~111 km y 51 miembros (Johnson et al., 2019). Los datos de escorrentía (runoff) se obtuvieron en formato GRIB y se convirtieron a ráster (GeoTIFF) mediante QGIS (2026), calculando láminas mensuales en mm (a partir de m s^{-1}).

El dominio espacial abarca el territorio continental mexicano (13°N-35°N, 85°W-120°W) y las tres cuencas de estudio: Baja California-Noroeste, Lerma-Santiago y Grijalva-Usumacinta (Figura 1). Los mapas nacionales se procesaron con interpolación *Bilinear*. Los volúmenes de escorrentía se calcularon multiplicando el área de cada cuenca por el promedio zonal de la lámina (herramienta *Calculadora ráster* y herramienta *Estadísticas zonales de la capa ráster* en QGIS).

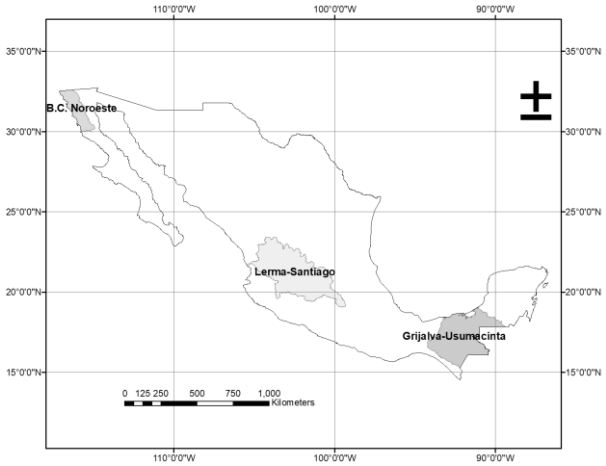


Figura 1. Cuencas hidrológicas en México bajo estudio.

Resultados y discusión

Los mapas mensuales (Figuras 2a–d) revelan una clara evolución espaciotemporal de la escorrentía en México, gobernada por la orografía, el monzón y la teleconexión de El Niño. En julio, se observa un marcado gradiente norte-sur: el norte y Baja California presentan láminas <10 mm; el centro transita hacia 20 mm, con núcleos de 100–125 mm en Puebla, Tlaxcala, Veracruz y Oaxaca por convección e interacción orográfica; el sureste muestra valores de 50–75 mm (máximos de 75–100 mm) por incidencia temprana de la ZCIT. En agosto, se intensifica la vertiente del Pacífico con una banda de 75–125 mm desde el Pacífico central hasta el centro, reflejando el monzón y la convección orográfica (Magaña et al., 2003), amplificada por el jet del Caribe (Amador & Magaña, 2000). El sureste disminuye por subsidencia asociada a El Niño, mientras el norte se mantiene <10 mm. En septiembre, persiste la banda de 100–125 mm y se expanden valores de 50–75 mm hacia el centro por la máxima extensión de la ZCIT (Magaña et al., 1999). El sureste se mantiene moderado (50–100 mm) pero con extremos reducidos por subsidencia; el noroeste (B.C.) muestra un ligero repunte por ciclones o monzón tardíos (Domínguez & Magaña, 2018). En octubre, el norte reduce sus láminas a <25 mm por la retirada del monzón, pero el centro-sur mantiene valores altos (50–100 mm), con núcleos de 75–100 mm en el Pacífico sur y sureste, vinculados a la actividad ciclónica tardía (NOAA, 2026), con implicaciones críticas para presas e inundaciones en Tabasco (Muñoz-Salinas & Castillo, 2015).

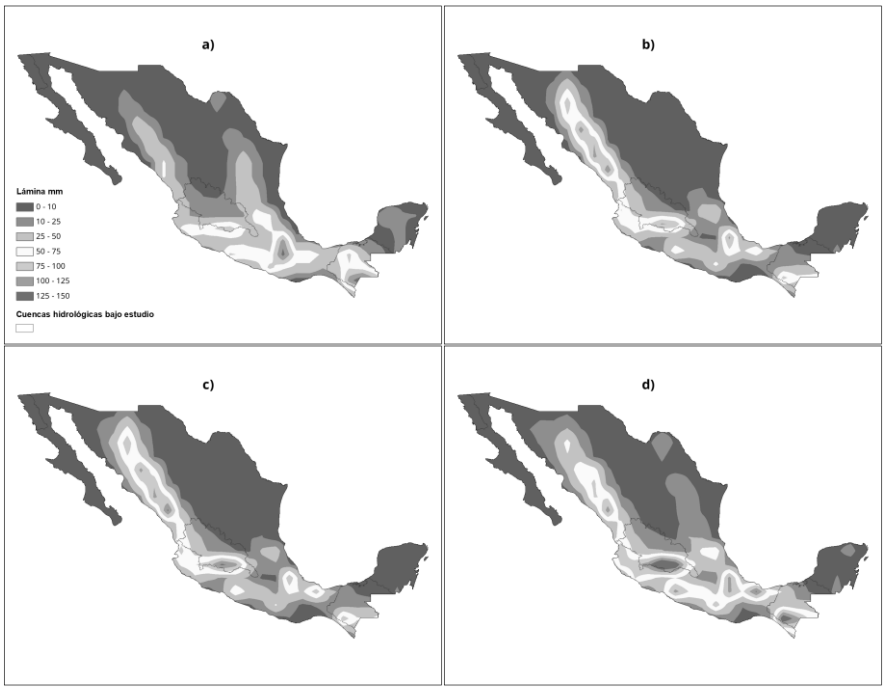


Figura 2. Lámina de escorrentía superficial (mm) en México pronosticada por el ECMWF en julio (a), agosto (b), septiembre (c) y octubre (d) de 2026.

Los Cuadros 1 y 2 cuantifican estas tendencias por cuenca. La cuenca Baja California-Noroeste (28,492 km²) presenta la lámina promedio más baja (2 mm) y un volumen total de 72 Mm³. Los volúmenes mensuales pasan de valores <1 Mm³ en julio-agosto a ~15 Mm³ en septiembre y ~53 Mm³ en octubre, confirmando que el modelo captura eventos extremos de baja frecuencia (ciclones/monzón tardío) con implicaciones para la recarga de acuíferos en zonas áridas. La cuenca Lerma-Santiago (132,916 km²) muestra una lámina promedio de 45 mm y un volumen total de 18,398 Mm³. La evolución mensual (2,714 → 7,284 → 5,091 → 3,309 Mm³) refleja la intensificación del monzón, posiblemente amplificada por El Niño, generando excedentes hídricos aprovechables para riego pero que requieren gestión cuidadosa para evitar desbordamientos.

La cuenca Grijalva-Usumacinta (102,465 km²) presenta una lámina promedio de 53 mm y un volumen total de 16,952 Mm³. Sin embargo, los volúmenes mensuales caen abruptamente de 5,722 Mm³ en julio a 2,890–2,912 Mm³ en agosto-septiembre, recuperándose a 5,428 Mm³ en octubre. Esta caída del ~50% durante el pico del monzón es consistente con la subsidencia anómala por El Niño fuerte sobre el sureste y el Petén (Magaña et al., 2003), lo que implica un doble desafío: estrés hídrico en verano y riesgo de inundaciones en octubre si las lluvias tardías y la actividad ciclónica coinciden con la saturación de suelos y altos niveles de ríos transfronterizos.

Finalmente, si bien SEAS5 ha demostrado habilidad predictiva en el trópico (Johnson et al., 2019), la conversión a escorrentía enfrenta incertidumbres por la parametrización hidrológica, la resolución espacial y la variabilidad del ENSO (Koster et al., 2004; Soltani et al., 2025). El uso de técnicas de corrección de sesgo (quantile mapping) ha demostrado mejorar sustancialmente los pronósticos (Soltani et al., 2025), por lo que se recomienda su aplicación en futuros ejercicios operativos para la gestión de recursos hídricos en el país.

Cuadro 1. Lámina promedio de escorrentía superficial (mm) en cada cuenca hidrológica bajo estudio, pronosticadas por el ECMWF, de julio a octubre de 2026.

Cuenca	Área (km^2)	Lámina promedio (mm)
B.C. Noroeste	28,492	2
Lerma-Santiago	132,916	45
Grijalva-Usumacinta	102,465	53

Cuadro 2. Volumen de escorrentía superficial (millones-m^3) en cada cuenca hidrológica bajo estudio, pronosticadas por el ECMWF, de julio a octubre de 2026.

Cuenca	Área (km^2)	Volumen (Millones m^3)
B.C. Noroeste	28,492	72
Lerma-Santiago	132,916	18,398
Grijalva-Usumacinta	102,465	16,952

Conclusiones

El pronóstico estacional de SEAS5 para julio-octubre de 2026 revela una distribución espacial de la escorrentía marcadamente heterogénea en México, con un pronunciado gradiente norte-sur que refleja la división climática del país.

La evolución temporal muestra: a) julio: inicio activo en el centro-sur; b) agosto: intensificación en el Pacífico central; c) septiembre: consolidación en una banda Pacífico-Golfo; d) octubre: retirada en el norte con persistencia en el centro-sur-sureste.

El contexto de un evento de El Niño fuerte en 2026 parece influir en el patrón de escorrentía, intensificando valores en la vertiente del Pacífico y el sureste, coherente con los mecanismos de teleconexión documentados.

Los resultados subrayan la utilidad operativa de los pronósticos estacionales para la planificación de recursos hídricos, la gestión de riesgos por inundaciones y la adaptación agrícola en México, aunque se recomienda complementarlos con técnicas de corrección de sesgo y reescalamiento para aplicaciones específicas en cuencas.

Referencias

Amador, J. A., & Magaña, V. O. (2000). Dynamics of the low-level jet over the Caribbean Sea and Central America. Atmósfera, 13(2), 101–110.

Balsamo, G., Viterbo, P., Beljaars, A., van den Hurk, B., Hirschi, M., Betts, A. K., & Scipal, K. (2009). A revised hydrology for the ECMWF model: Verification from field site to terrestrial water storage and impact in the Integrated Forecast System. Journal of Hydrometeorology, 10(3), 623–643. https://doi.org/10.1175/2008JHM1068.1.

Balsamo, G., Pappenberger, F., Dutra, E., Viterbo, P., & van den Hurk, B. (2010). A revised land hydrology in the ECMWF model: A step towards daily water flux prediction in a fully-closed water cycle. Hydrological Processes, 24(1), 23–35. https://doi.org/10.1002/hyp.7552.

Domínguez, C., & Magaña, V. (2018). The role of tropical cyclones in precipitation over the tropical and subtropical North America. Frontiers in Earth Science, 6, 312622. https://doi.org/10.3389/feart.2018.00019.

Dutra, E., Balsamo, G., Viterbo, P., Miranda, P. M. A., Beljaars, A., Schär, C., & Elder, K. (2010). New snow scheme in HTESSEL: Description and offline validation. ECMWF Technical Memorandum, 607. https://doi.org/10.21957/98x9mrv1y.

ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). (2025). Seasonal forecasts. ECMWF Official Documentation. https://www.ecmwf.int/en/forecasts/documentation-and-support/seasonal.

IRI (International Research Institute for Climate and Society). (2026). ENSO Forecast: Model-Based Probabilistic ENSO Forecast. CCSR/IRI Technical ENSO Update, July 2026. https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/.

Johnson, S. J., Stockdale, T. N., Ferranti, L., Balmaseda, M. A., Molteni, F., Magnusson, L., ... & Vitart, F. (2019). SEAS5: The new ECMWF seasonal forecast system. Geoscientific Model Development, 12(3), 1087–1117. https://doi.org/10.5194/gmd-12-1087-2019.

Koster, R. D., Dirmeyer, P. A., Guo, Z., Bonan, G., Chan, E., Cox, P., ... & Verseghy, D. (2004). Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation. Science, 305(5687), 1138–1140. https://doi.org/10.1126/science.1100217.

Magaña, V. O., & Quintanar, A. I. (1997). Variabilidad interanual de la precipitación en México y su relación con el ENSO. Atmósfera, 10(2), 119–132.

Magaña, V., Amador, J. A., & Medina, S. (1999). The midsummer drought over Mexico and Central America. Journal of Climate, 12(6), 1577–1588. https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<1577:TMDOMA>2.0.CO;2.

Magaña, V. O., Vázquez, J. L., Pérez, J. L., & Pérez, J. B. (2003). Impact of El Niño on precipitation in Mexico. Geofísica Internacional, 42(3), 313–330. https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2003.42.3.204.

Muñoz-Salinas, E., & Castillo, M. (2015). Streamflow and sediment load assessment from 1950 to 2006 in the Usumacinta and Grijalva Rivers (Southern Mexico) and the influence of ENSO. Catena, 127, 270-278. 10.1016/j.catena.2015.01.007.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2026). Climate Prediction Center: ENSO Diagnostic Discussion. NOAA/CPC, July 2026. https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc.shtml.

QGIS Geographic Information System (Versión 3.40). (2026) [Software de computadora]. Open Source Geospatial Foundation. https://doi.org/10.5281/zenodo.20444851.

Soltani, M., Mahjouri, N., & Mahmoudian, S. A. (2025). A subseasonal-to-seasonal runoff forecasting framework under uncertainty: Application of numerical weather predictions and a Bayesian maximum entropy-based data fusion technique. Journal of Hydroinformatics, 27(10), 1531–1553. https://doi.org/10.2166/hydro.2025.098.

Stockdale, T., Johnson, S., Ferranti, L., Balmaseda, M., & Briceag, S. (2018). ECMWF's new long-range forecasting system SEAS5| ECMWF. Newsletter, (154).

van den Hurk, B. J. J. M., & Viterbo, P. (2003). The Torne-Kalix PILPS 2(e) experiment as testbed for modifications to the ECMWF land surface scheme. Global and Planetary Change, 38(1–2), 87–98. https://doi.org/10.1016/S0921-8181(02)00227-1.

CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO SWAT PARA LA SUBCUENCA DEL RÍO SAYULA, CHIAPAS

Teodoro González Gómez[1], Osías Ruiz Álvarez[2*], Arturo Corrales Suástegui[3], Madai Sánchez Galindo[4] y Daniel Alejandro Gallegos Pérez[5]

[1]Maestría en Gestión de Riesgos y Cambio Climático. Universidad Autónoma de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACh). [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Centro de Chiapas. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Pabellón. [4]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Cotaxtla. [5]Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACh). *Autor de correspondencia: ruiz.osias@

Introducción

La estimación del escurrimiento superficial constituye un elemento fundamental para comprender la respuesta hidrológica de una cuenca y generar información útil para la gestión de los recursos hídricos. Sin embargo, en regiones con topografía accidentada y disponibilidad limitada de registros hidrometeorológicos continuos, la representación de estos procesos puede presentar dificultades. Los modelos hidrológicos constituyen una alternativa para representar la respuesta de una cuenca a partir de sus características físicas y climáticas. Entre ellos, el Soil and Water Assessment Tool (SWAT) permite integrar información topográfica, edáfica, de cobertura del suelo y variables meteorológicas para simular diferentes componentes del ciclo hidrológico (Arnold et al., 2012). No obstante, su aplicación requiere procesos de calibración y validación que permitan determinar si el comportamiento simulado representa adecuadamente las condiciones observadas. La subcuenca del río Sayula, localizada en Chiapas, presenta condiciones de relieve y pendiente que favorecen una respuesta rápida del escurrimiento. A ello se suma la limitada disponibilidad de series meteorológicas completas dentro de la zona, lo que representa un desafío para la modelación hidrológica. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue calibrar y validar el modelo SWAT para la simulación del escurrimiento superficial en la subcuenca del río Sayula, Chiapas.

Materiales y métodos

La subcuenca del río Sayula se localiza en el noroeste de Chiapas y forma parte de la región hidrológica del río Grijalva. Comprende una superficie aproximada de 331.46 km², con elevaciones entre 500 y 2,000 m s.n.m. y relieve predominantemente montañoso (CONAGUA, 2020; INEGI, 2023).

La configuración del modelo SWAT 2012 se realizó mediante ArcSWAT. Como información espacial se utilizó un modelo digital de elevación con resolución de 15 m, así como información de uso y cobertura del suelo y propiedades edáficas (INEGI, 2013; INEGI 2021). La delimitación realizada por el modelo generó 31 microcuencas y 731 unidades de respuesta hidrológica (HRU), definidas a partir de las combinaciones de uso del suelo, tipo de suelo y pendiente.

Ante la limitada continuidad y representatividad espacial de las estaciones meteorológicas disponibles, se utilizaron datos de precipitación de CHIRPS, con resolución espacial de 0.05°. Se seleccionaron 32 puntos de la malla, localizados dentro y en la periferia de la subcuenca, con series diarias correspondientes al periodo 1983–2020.

El modelo se ejecutó considerando una etapa de calentamiento, calibración y validación. Se utilizaron los periodos 2011–2012 para calentamiento, 2011–2016 para calibración y 2017–2020 para validación. Las simulaciones fueron evaluadas a escala mensual mediante la eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE).

La calibración automática se realizó mediante SWAT-CUP utilizando el algoritmo SUFI-2. Se consideraron siete parámetros relacionados con la generación del escurrimiento superficial y el flujo subterráneo: CN2, SOL_AWC, SOL_K, ALPHA_BF, GW_DELAY, GW_REVAP y ESCO. El procedimiento comprendió 2,000 simulaciones para determinar combinaciones paramétricas que mejoraran la correspondencia entre los caudales observados y simulados.

Resultados y discusión

Antes del ajuste de parámetros, el modelo reprodujo de manera general la variación temporal de los caudales observados; sin embargo, presentó dificultades para representar algunos de los valores máximos registrados (Figura 1). Esta condición se reflejó en un NSE de 0.48, indicando la necesidad de realizar una calibración de los parámetros hidrológicos del modelo.

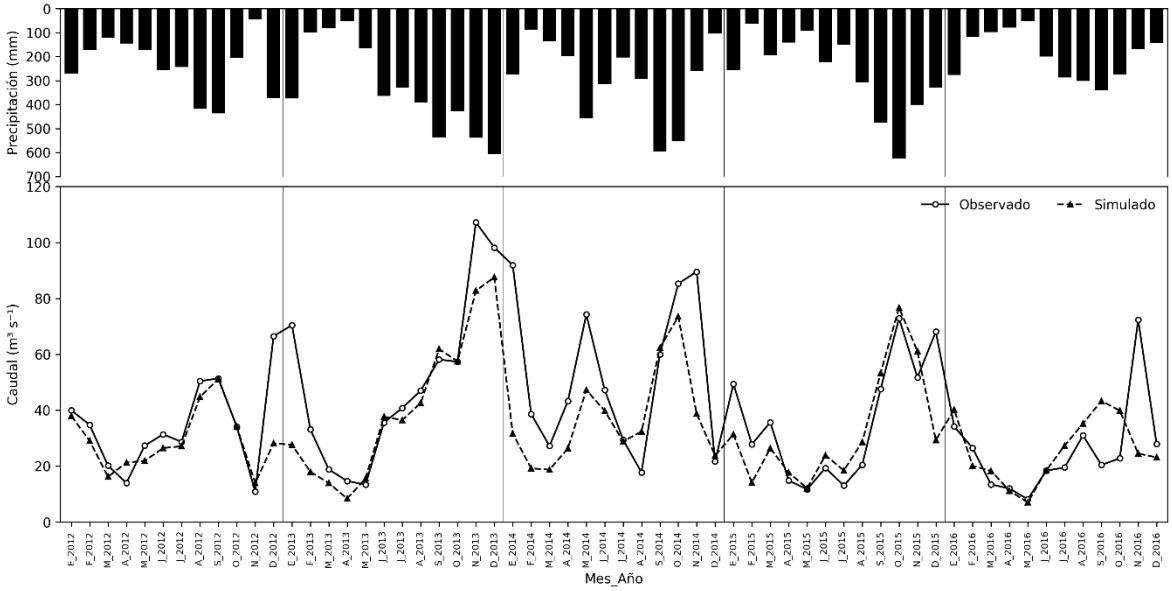


Figura 1. Precipitación y caudales mensuales observados y simulados antes de la calibración del modelo en la subcuenca del río Sayula.

Después de la calibración, se observó una mayor correspondencia entre los caudales simulados y observados. El NSE alcanzó 0.62. A pesar de esta mejora, persistió algo de subestimación en algunos eventos de caudal elevado (Figura 2), lo que evidencia la mayor dificultad del modelo para representar eventos hidrológicos extremos respecto al comportamiento medio del escurrimiento.

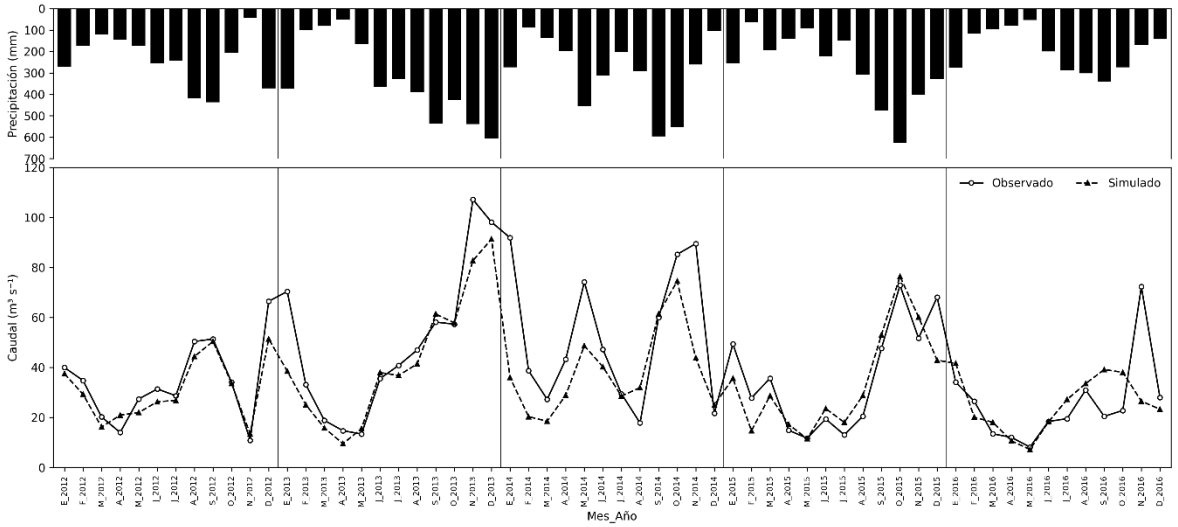


Figura 2. Precipitación y caudales mensuales observados y simulados durante la calibración del modelo en la subcuenca del río Sayula.

Durante la validación, los parámetros obtenidos en la calibración se mantuvieron sin modificaciones. El modelo conservó un comportamiento consistente frente a los registros observados, obteniéndose NSE = 0.53. Estos resultados muestran que el ajuste alcanzado durante la calibración mantuvo capacidad para representar el comportamiento mensual del escurrimiento en un periodo independiente (Figura 3).

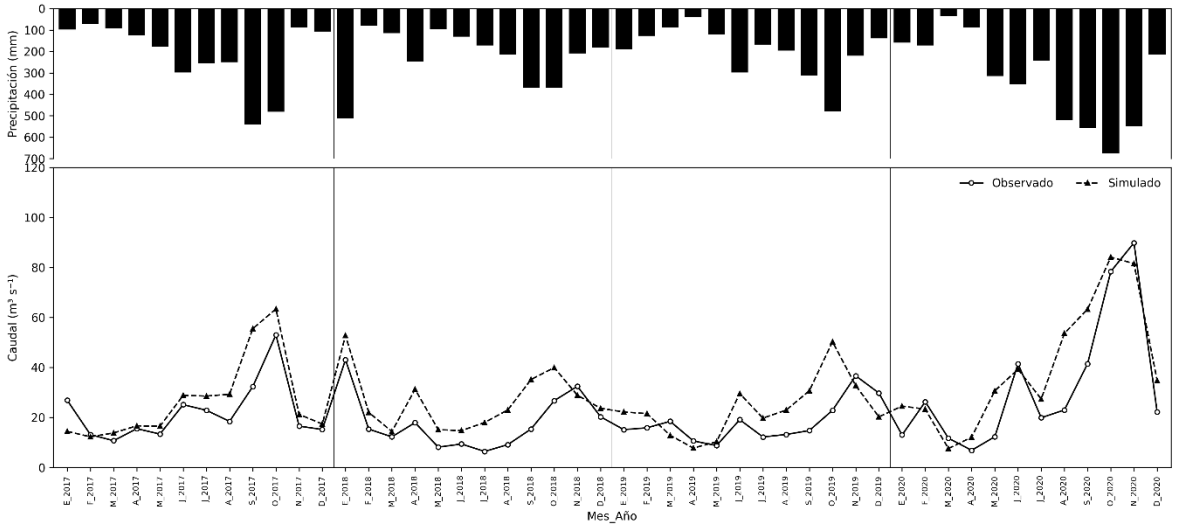


Figura 3. Precipitación y caudales mensuales observados y simulados durante la validación del modelo en la subcuenca del río Sayula.

En conjunto, el comportamiento de los indicadores muestra una mejora respecto a la condición previa a la calibración y estabilidad durante la validación. El incremento del NSE de 0.48 a 0.62 después del ajuste y su valor de 0.53 durante la validación indican que la parametrización obtenida permitió mejorar la representación del escurrimiento mensual. No obstante, las diferencias observadas en algunos caudales máximos muestran que la representación de estos eventos continúa siendo uno de los aspectos susceptibles de mejora.

Conclusiones

La calibración permitió mejorar el desempeño del modelo SWAT para representar el escurrimiento superficial mensual en la subcuenca del río Sayula. El NSE aumentó de 0.48 antes de la calibración a 0.62 después del ajuste, mientras que durante la validación alcanzó 0.53.

Los parámetros obtenidos mediante SWAT-CUP conservaron un desempeño adecuado durante un periodo independiente de validación. Por tanto, el modelo calibrado constituye una base para continuar el análisis hidrológico de la subcuenca, aunque permanece la necesidad de mejorar la representación de algunos eventos de caudal elevado.

Agradecimientos. Se agradece al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por el apoyo para la realización de esta investigación a través del proyecto fiscal “Respuesta hidrológica bajo escenarios de cambio climático y de uso de suelo en cuatro cuencas hidrológicas de México mediante modelos climáticos” (2-1.6-11254636311-M-M.2-1).

Referencias

Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, J. J., Srinivasan, R., Santhi, C., Harmel, R. D., Van-Griensven, A., Van-Liew, M. W., Kannan, N., & Jha, M. J. (2012). SWAT: Model use, calibration and validation. Transactions of the ASABE, 55(4), 1491–1508.

Abbaspour, K. C. (2015). SWAT-CUP: SWAT calibration and uncertainty programs—A user manual. Eawag.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2013). Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM), resolución de 15 m. INEGI.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. INEGI.

Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE, 50(3), 885–900.

EFECTO DEL CAMBIO DE LA NOM-011-CONAGUA EN LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DEL ACUÍFERO VALLE DEL GUADIANA, DURANGO

Jorge Luis Compeán-Aguirre[1], Lorena Amador-Sierra[2]*

[1]Universidad Autónoma de Durango, Campus Durango, Av. Universidad Autónoma de Durango No. 300, Fracc. Jardines de Durango, Durango, México. C.P. 34200. [2]Instituto Politécnico Nacional CIIDIR Unidad Durango, Av. Sigma 119, Fraccionamiento 20 de noviembre II, Durango, México. C.P.34220. * Autor de correspondencia: lamadors2000@alumno.ipn.mx

Introducción

La disponibilidad media anual de agua subterránea es el indicador oficial que usa el gobierno mexicano para otorgar o negar nuevas concesiones de agua en un acuífero. Se calcula conforme a una Norma Oficial Mexicana (NOM) que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) está obligada a revisar y publicar periódicamente en el Diario Oficial de la Federación (DOF). Entre 2002 y 2015 estuvo vigente la NOM-011-CNA-2000, y desde 2015 rige la NOM-011-CONAGUA-2015, que amplió la definición de los términos que intervienen en el cálculo, en particular al incorporar la extracción en zonas de suspensión provisional de libre alumbramiento y los volúmenes inscritos en el Registro Nacional Permanente.

Este cambio normativo plantea un riesgo de interpretación para cualquier estudio que compare la disponibilidad de un acuífero antes y después de 2015 sin considerar que la metodología de cálculo cambió. Sin embargo, este riesgo tiene dos lecturas opuestas e igualmente erróneas: asumir que un salto en el déficit reportado refleja un colapso hidrológico repentino, o asumir en el sentido contrario que, por ser un efecto de la norma, no representa un problema real. El agua subterránea del país está sujeta a una presión de extracción documentada y creciente, y el volumen que la norma de 2015 empezó a contabilizar (VEALA) no es una cifra abstracta: corresponde a extracción en zonas donde el libre alumbramiento está suspendido provisionalmente, más los volúmenes inscritos en el Registro Nacional Permanente. Este trabajo utiliza el caso del acuífero Valle del Guadiana (clave 1003), en Durango, para reconstruir con precisión su historia de disponibilidad bajo ambas normas y ofrecer una lectura más completa de lo que el cambio normativo revela, y no solo de lo que aparenta cambiar.

Materiales y métodos

Se obtuvieron directamente del Diario Oficial de la Federación los cinco Acuerdos de disponibilidad media anual de aguas subterráneas publicados entre 2013 y 2023 (CONAGUA, 2013, 2015, 2018, 2020, 2023), y se extrajeron de cada uno los valores oficiales correspondientes al acuífero Valle del Guadiana. Se consultaron también los textos completos de ambas normas (SEMARNAT, 2002; SEMARNAT, 2015) para verificar la fórmula de cálculo vigente en cada periodo.

Bajo la NOM-011-CNA-2000 (artículo 4.3.1), la disponibilidad (D) se calcula como:

$$D = R - DNC - VCAS$$

Donde:
R es la recarga total media anual
DNC la descarga natural comprometida
VCAS el volumen concesionado de agua subterránea.

Bajo la NOM-011-CONAGUA-2015 (artículos 4.3.1 y 4.3.4), la disponibilidad se calcula como:

$$D = R - DNC - E$$

Donde:
E (extracción de aguas subterráneas) se determina sumando el volumen concesionado (VCAS), el volumen de extracción en zonas de suspensión provisional de libre alumbramiento y los inscritos en el Registro Nacional Permanente (VEALA), el volumen pendiente de titulación o registro en el REPDA (VAPTYR) y, en su caso, volúmenes de reservas, reglamentos y programación hídrica (VAPRH).

El propio artículo 4.3.4 precisa que los volúmenes inscritos en el Registro Nacional Permanente solo se contabilizan en la extracción si verificaciones de campo confirman que se extraen físicamente.

Para descomponer el cambio en disponibilidad entre el corte de 2014 (última publicación bajo la norma anterior) y el de 2015 (primera publicación bajo la norma vigente), se calculó la contribución de cada término a la variación total:

$$\Delta D = \Delta R - \Delta DNC - \Delta VCAS - VEALA_{2015} - VAPTYR_{2015},$$

separando así los términos comparables entre ambas normas (R, DNC, VCAS) del término introducido exclusivamente por la norma nueva (VEALA; VAPTYR fue 0 en este acuífero en los tres cortes disponibles).

Adicionalmente, dado que el valor de VEALA se mantuvo prácticamente idéntico en los tres cortes con norma vigente (13.816685 en 2015, 13.816700 en 2020 y 13.816685 en 2022; diferencia máxima de 0.000015 Mm^3), se interpretó este término como relativamente estable en el tiempo, y no como una medición que cambia año con año. Bajo este supuesto, se construyó una serie armonizada de disponibilidad para los cinco cortes, aplicando de forma retrospectiva la misma definición (D = R − DNC − VCAS − VEALA, usando el valor promedio observado de VEALA = 13.816685 Mm^3) también a los cortes de 2013 y 2014, que originalmente se calcularon sin ese término. Esto permite comparar los cinco cortes bajo un criterio consistente, bajo el supuesto explícito de que la extracción en dichas zonas de suspensión provisional ya ocurría, en una magnitud similar, antes de que la norma vigente comenzara a contabilizarla.

Resultados y discusión

Cuadro 1. Serie histórica verificada de disponibilidad del acuífero Valle del Guadiana (clave 1003), 2013–2022. Cifras en millones de metros cúbicos anuales (Mm^3). Fuente: CONAGUA (2013, 2015, 2018, 2020, 2023).

Fecha de corte	Publicación DOF	Norma	R	DNC	VCAS	VEALA	VAPTYR	Disponibilidad
31-mar-13	20-dic-13	2000	133.1	6.0	133.150660	—	—	−6.050660
30-jun-14	20-abr-15	2000	133.1	6.0	132.455882	—	—	−5.355882
31-dic-15	04-ene-18	2015	131.9	7.4	130.980430	13.816685	0.000000	−20.297115
20-feb-20	17-sep-20	2015	131.9	7.4	134.395000	13.816700	0.192000	−23.903700
30-dic-22	09-nov-23	2015	131.9	7.4	131.507667	13.816685	0.000000	−20.824352

La disponibilidad del acuífero fue negativa en los cinco cortes analizados (Cuadro 1). Bajo la norma anterior, el déficit se mantuvo relativamente estable entre 2013 y 2014 (de −6.05 a −5.36 Mm³/año, una ligera mejora). Sin embargo, al pasar del corte de 2014 (norma anterior) al de 2015 (norma vigente), el déficit reportado se profundizó abruptamente a −20.30 Mm³/año, una caída de 14.94 Mm³/año (Figura 1).

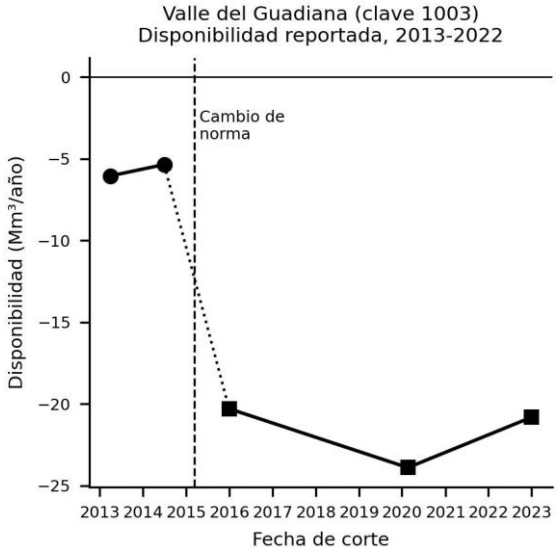


Figura 1. Disponibilidad reportada del acuífero Valle del Guadiana, 2013–2022. Los círculos corresponden a cortes bajo la NOM-011-CNA-2000; los cuadrados, bajo la NOM-011-CONAGUA-2015. La línea punteada marca la discontinuidad metodológica.

Al descomponer esta caída de 14.94 Mm³/año en sus componentes, se encontró que la recarga (R) disminuyó 1.20 Mm³ (8.0% de la caída) y la descarga natural comprometida (DNC) aumentó 1.40 Mm³ (9.4%), mientras que el volumen concesionado comparable (VCAS) en realidad mejoró en 1.48 Mm³ (−9.9%, es decir, redujo el déficit). El término VEALA, introducido por la norma de 2015, aportó 13.82 Mm³, equivalente al 92.5% de la caída total.

Es importante no interpretar esta cifra como evidencia de que no hubo un cambio real. El volumen que ahora se contabiliza como VEALA corresponde, en su componente principal, a extracción en zonas donde el libre alumbramiento está suspendido provisionalmente (zonas de veda o restricción), es decir, agua que se sigue extrayendo pese a la restricción administrativa; su otro componente son los volúmenes inscritos en el Registro Nacional Permanente, que la propia norma indica que solo deben contarse si hay verificación de campo de que se extraen físicamente. En ambos casos se trata de extracción real y no de una cifra artificial, solo que la fórmula anterior no la restaba.

El valor de VEALA se mantuvo prácticamente idéntico en los tres cortes con norma vigente (13.816685 en 2015, 13.816700 en 2020 y 13.816685 en 2022), lo que sugiere que proviene de un estudio técnico que no se ha vuelto a medir en campo desde su determinación inicial, y no de un monitoreo dinámico. Bajo el supuesto de que ese mismo volumen ya ocurría en 2013 y 2014, se construyó la serie armonizada del Cuadro 2, aplicando consistentemente:

$$D = R - DNC - VCAS - VEALA$$

Cuadro 2. Serie armonizada de disponibilidad del acuífero Valle del Guadiana bajo una definición consistente (D = R − DNC − VCAS − VEALA), asumiendo VEALA = 13.816685 Mm³ en los cinco cortes. Cifras en Mm³/año.

Fecha de corte	Disponibilidad oficial (Mm³)	Disponibilidad armonizada (Mm³)
31-mar-13	−6.050660*	−19.867345
30-jun-14	−5.355882*	−19.172567
31-dic-15	−20.297115	−20.297115
20-feb-20	−23.903700	−23.711700
30-dic-22	−20.824352	−20.824352

**Cifra oficial calculada bajo la norma NOM-011-CNA-2000, sin el término VEALA.*

La serie armonizada muestra un panorama distinto al de las cifras oficiales sin ajustar: el acuífero se ha mantenido en un déficit sostenido de entre −19.2 y −23.7 Mm³/año a lo largo de toda la década, con una ligera mejora entre 2013 y 2014, un deterioro hacia 2020 y una recuperación parcial hacia 2022, sin una tendencia lineal clara en ningún sentido. El llamado "salto" de 2015 desaparece casi por completo al usar una definición consistente: la diferencia entre la disponibilidad armonizada de 2014 (−19.17) y la oficial de 2015 (−20.30) es de apenas 1.12 Mm³, cercana a la variabilidad observada entre otros cortes consecutivos (por ejemplo, 2015 a 2020 cambia 3.41 Mm³).

Esta reconstrucción no minimiza el problema del acuífero: al contrario, indica que la sobreexplotación de Valle del Guadiana no es un fenómeno reciente ni derivado de un cambio de norma, sino una condición sostenida desde al menos 2013, que las cifras oficiales de esa época reportaban de forma incompleta. La lectura correcta no es "la norma exageró el problema en 2015" ni "no hay problema real", sino que la norma anterior subestimaba la magnitud del problema que ya existía.

Conclusiones

La reconstrucción verificada de la serie histórica del acuífero Valle del Guadiana, a partir de los cinco Acuerdos oficiales publicados entre 2013 y 2023, muestra que el 92.5% de la caída en su disponibilidad reportada entre 2014 y 2015 es atribuible a la incorporación del término VEALA por la NOM-011-CONAGUA-2015. Sin embargo, este término no representa un fenómeno inventado: corresponde a extracción en zonas de suspensión provisional de libre alumbramiento y a volúmenes inscritos en el Registro Nacional Permanente, que en su mayor parte ya ocurría antes de 2015, pero que la norma anterior no restaba en su cálculo de disponibilidad.

Al reconstruir una serie armonizada bajo una definición consistente para los cinco cortes, el acuífero muestra un déficit sostenido de entre −19.2 y −23.7 Mm³/año a lo largo de toda la década analizada, sin que el año 2015 marque una ruptura real en esa trayectoria. La conclusión de este trabajo no es que el problema de sobreexplotación de Valle del Guadiana sea menor de lo que aparentan las cifras oficiales, sino que dicho problema es más antiguo y más constante de lo que esas mismas cifras, tomadas sin ajuste, permiten apreciar: la norma anterior subestimaba la magnitud real de la extracción, y el cambio normativo de 2015 hizo visible, de golpe, una condición que ya existía.

Referencias

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2013). Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación, 20 de diciembre de 2013.

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2015). Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación, 20 de abril de 2015.

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2018). Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación, 4 de enero de 2018.

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2020). Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación, 17 de septiembre de 2020.

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2023). Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación, 9 de noviembre de 2023.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua – Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial de la Federación, 17 de abril de 2002.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2015). Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua – Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial de la Federación, 12 de marzo de 2015.

CAMBIOS PROYECTADOS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN CUATRO REGIONES HIDROLÓGICAS DE MÉXICO BAJO ESCENARIOS CMIP6

Arturo Corrales-Suastegui[1*], Miguel Ángel González-González[1], Luis Antonio González-Jasso[1], Mario P. Narváez-Mendoza[1]

[1]Campo Experimental Pabellón. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Carretera Aguascalientes-Zacatecas km 32.5. C.P. 20670, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. [*]Autor de correspondencia: corrales.arturo@inifap.gob.mx

Introducción

El cambio climático está modificando los patrones de temperatura y precipitación, con implicaciones directas sobre la disponibilidad de los recursos hídricos, el balance de agua y la ocurrencia de eventos extremos. México es particularmente sensible a estos cambios debido a su compleja topografía, diversidad climática y marcada variabilidad espacial de la precipitación (Giorgi, 2006). Además, cambios futuros en temperatura y precipitación pueden modificar significativamente la disponibilidad de agua en distintas regiones (Montecelos-Zamora et al., 2018). Esta problemática es especialmente relevante en México por el fuerte contraste climático entre el norte, centro y sur del país, donde coexisten regiones áridas y semiáridas susceptibles a sequías con regiones tropicales expuestas a precipitaciones intensas e inundaciones. En este contexto, las proyecciones de CMIP6 permiten analizar la respuesta futura del clima bajo diferentes trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP). Asimismo, productos con corrección de sesgo y mayor resolución espacial, como NEX-GDDP-CMIP6, facilitan su aplicación en estudios regionales y de impacto (Thrasher et al., 2022). El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios proyectados en la temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación en cuatro regiones hidrológicas contrastantes de México durante el siglo XXI, utilizando proyecciones del modelo EC-Earth3 bajo los escenarios SSP126, SSP245, SSP370 y SSP585. Se analizaron las regiones B.C. Noroeste, Sonora Sur, Lerma-Santiago y Grijalva-Usumacinta, representativas de condiciones climáticas que varían desde ambientes mediterráneos, áridos y semiáridos hasta tropicales.

Materiales y métodos

Área de estudio. El estudio se realizó en cuatro regiones hidrológicas de México: B.C. Noroeste, Sonora Sur, Lerma-Santiago y Grijalva-Usumacinta (Figura 1). Estas regiones fueron seleccionadas por representar condiciones climáticas contrastantes a lo largo del territorio nacional. B.C. Noroeste presenta características de clima mediterráneo; Sonora Sur, condiciones áridas y semiáridas; Lerma-Santiago, condiciones semiáridas con lluvias predominantes en verano; y Grijalva-Usumacinta, condiciones tropicales con una marcada estacionalidad de la precipitación. En conjunto, estas regiones permiten analizar la respuesta climática en ambientes con diferentes características bioclimáticas y disponibilidad de agua.

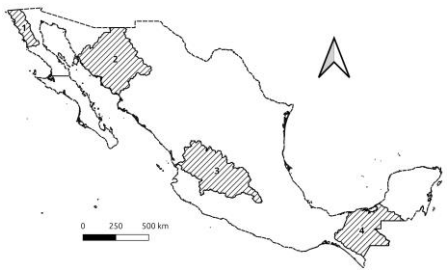


Figura 1. Regiones hidrológicas consideradas en el estudio correspondientes a (1) B.C. Noroeste, (2) Sonora Sur, (3) Lerma-Santiago y (4) Grijalva-Usumacinta.

Datos climáticos. Se utilizaron datos diarios de temperatura máxima del aire, temperatura mínima del aire y precipitación del reanálisis ERA5, desarrollado por el European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) en el marco del Copernicus Climate Change Service (C3S). ERA5 proporciona información climática global desde 1950 hasta la actualidad, con una resolución espacial aproximada de 31 km (Hersbach et al., 2020). Asimismo, se utilizaron datos diarios de temperatura máxima (tasmax), temperatura mínima (tasmin) y precipitación (pr) del modelo de circulación general EC-Earth3. Las simulaciones fueron obtenidas del conjunto de datos NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections CMIP6 (NEX-GDDP-CMIP6), el cual proporciona proyecciones climáticas globales corregidas por sesgo y desescaladas a una resolución espacial de 0.25°, con frecuencia diaria (Thrasher et al., 2022). Se consideró el periodo 1995-2014 como referencia histórica y tres periodos futuros: 2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100. Las proyecciones futuras se analizaron bajo los escenarios SSP126, SSP245, SSP370 y SSP585, representativos de diferentes trayectorias de forzamiento climático durante el siglo XXI.

Análisis. Para evaluar el comportamiento de EC-Earth3 durante el periodo histórico, se calcularon las climatologías de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación para 1995-2014 y se compararon con ERA5. Debido a las diferencias en resolución espacial entre ambos conjuntos de datos, EC-Earth3 fue remallado a la resolución de ERA5 únicamente para estimar el sesgo, definido como la diferencia entre la climatología del modelo y la climatología correspondiente de ERA5. De acuerdo con los periodos de análisis utilizados en el Sexto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2023), se consideró 1995-2014 como periodo histórico o pasado reciente, y se definieron tres ventanas de 20 años para representar el futuro cercano (2021-2040), intermedio (2041-2060) y lejano (2081-2100). Para cada periodo futuro y escenario SSP, las climatologías de EC-Earth3 se calcularon en su resolución espacial nativa. Los cambios proyectados de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación se calcularon como la diferencia entre la climatología de cada periodo futuro y la climatología del periodo histórico 1995-2014. De esta manera, se evaluó el cambio de las variables climáticas para los distintos horizontes temporales y bajo los diferentes escenarios SSP.

Resultados y discusión

Durante el periodo histórico 1995-2014, EC-Earth3 reproduce de manera general los principales patrones espaciales de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación observados en ERA5; sin embargo, persisten diferencias regionales importantes entre ambos conjuntos de datos (Figura 2). Al analizar las cuatro regiones hidrológicas de interés, se observa que los sesgos no son espacialmente uniformes. En la temperatura máxima predominan sesgos cálidos en las regiones B.C. Noroeste y Sonora Sur, así como en sectores de Lerma-Santiago y Grijalva-Usumacinta, generalmente del orden de 1 a 4 °C, con valores localmente mayores. En contraste, la temperatura mínima presenta principalmente sesgos fríos dentro de las cuatro regiones, más notorios sobre Sonora Sur y Lerma-Santiago, donde en algunas zonas las diferencias alcanzan aproximadamente −3 a −5 °C. Por su parte, la precipitación muestra una respuesta más heterogénea entre regiones, con sesgos positivos y negativos de menor coherencia espacial; en términos generales, las diferencias son relativamente pequeñas en amplias zonas, aunque localmente alcanzan magnitudes del orden de ±2 a 4 mm d^{-1}, particularmente hacia el sur y sureste del país, incluyendo sectores de Grijalva-Usumacinta.

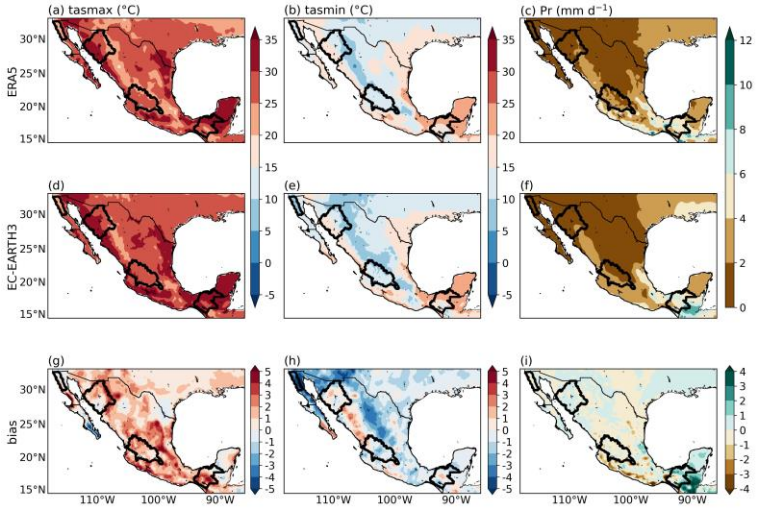


Figura 2. Climatologías de temperatura máxima (tasmax), temperatura mínima (tasmin) y precipitación (Pr) para ERA5 y EC-Earth3, y bias (sesgo) de EC-Earth3 respecto a ERA5 durante 1995-2014.

Aunque NEX-GDDP-CMIP6 aplica corrección de sesgo y desagregación espacial a las simulaciones CMIP6 (Thrasher et al., 2022), pueden persistir discrepancias regionales en temperatura y precipitación después de estos procedimientos. Por ello, los sesgos identificados en las cuatro regiones hidrológicas se consideraron parte de la incertidumbre asociada a la representación regional del clima, y las proyecciones futuras se analizaron mediante cambios respecto al periodo histórico del propio modelo. Este enfoque reduce la influencia de los sesgos sistemáticos y permite enfatizar la señal de cambio climático en B.C. Noroeste, Sonora Sur, Lerma-Santiago y Grijalva-Usumacinta, que constituyen el eje central de este trabajo.

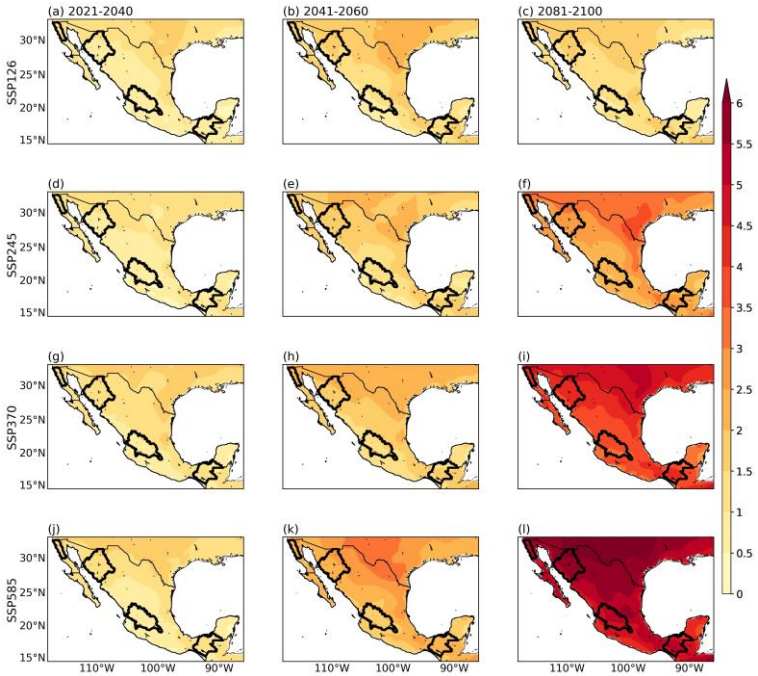


Figura 3. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) respecto al periodo histórico 1995-2014 para los escenarios SSP126, SSP245, SSP370 y SSP585 durante 2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100.

Los cambios proyectados en la temperatura máxima y mínima muestran un calentamiento generalizado en las cuatro regiones hidrológicas analizadas, cuya magnitud aumenta conforme avanza el siglo y se incrementa el forzamiento de los escenarios SSP (Figuras 3 y 4). Durante 2021-2040 predominan incrementos del orden de 0.5 a 1.5 °C, mientras que para 2041-2060 los cambios alcanzan aproximadamente 1 a 2.5 °C.

Las diferencias entre escenarios se intensifican hacia 2081-2100: bajo SSP126 el calentamiento permanece alrededor de 1-2 °C, mientras que bajo SSP370 y SSP585 se alcanzan incrementos de aproximadamente 4-6 °C, particularmente en B.C. Noroeste, Sonora Sur y sectores de Lerma-Santiago. Grijalva-Usumacinta presenta también un calentamiento importante, aunque generalmente de menor magnitud que las regiones del norte y centro del país. Este patrón de calentamiento progresivo y mayor separación entre escenarios hacia finales del siglo es consistente con las proyecciones CMIP6 reportadas por el IPCC (2023).

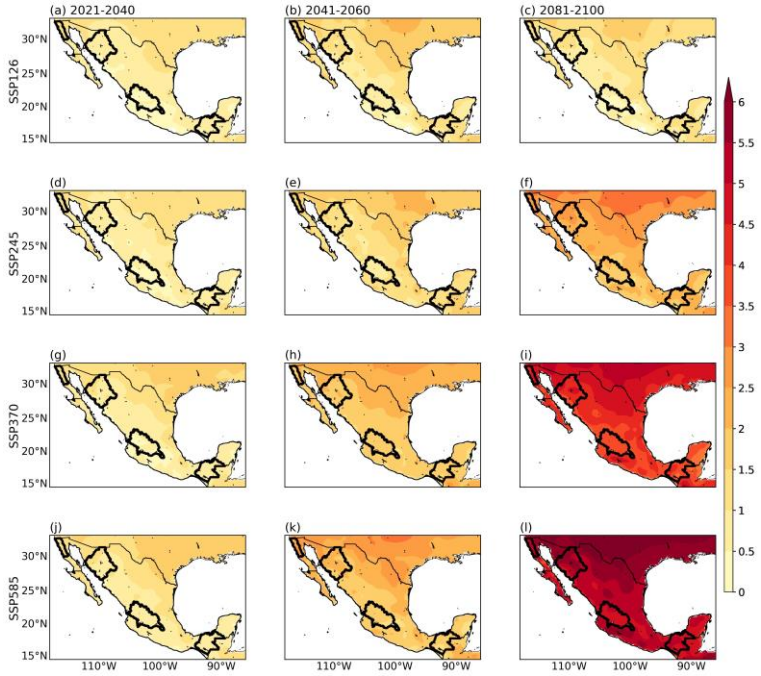


Figura 4. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) respecto al periodo histórico 1995-2014 para los escenarios SSP126, SSP245, SSP370 y SSP585 durante 2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100.

En contraste, la precipitación muestra una señal menos uniforme espacialmente y entre escenarios (Figura 5). Los cambios son generalmente de menor magnitud durante el futuro cercano e intermedio, mientras que hacia finales del siglo se observan aumentos y disminuciones regionales que localmente alcanzan aproximadamente ±1 a 1.5 mm d^{-1}, con una mayor heterogeneidad en Grijalva-Usumacinta y sectores del sur y sureste de México. Esta menor coherencia espacial de la señal de precipitación también es consistente con las evaluaciones del IPCC, que muestran una mayor incertidumbre y menor robustez regional en los cambios proyectados de precipitación que en los de temperatura, particularmente sobre México y Centroamérica.

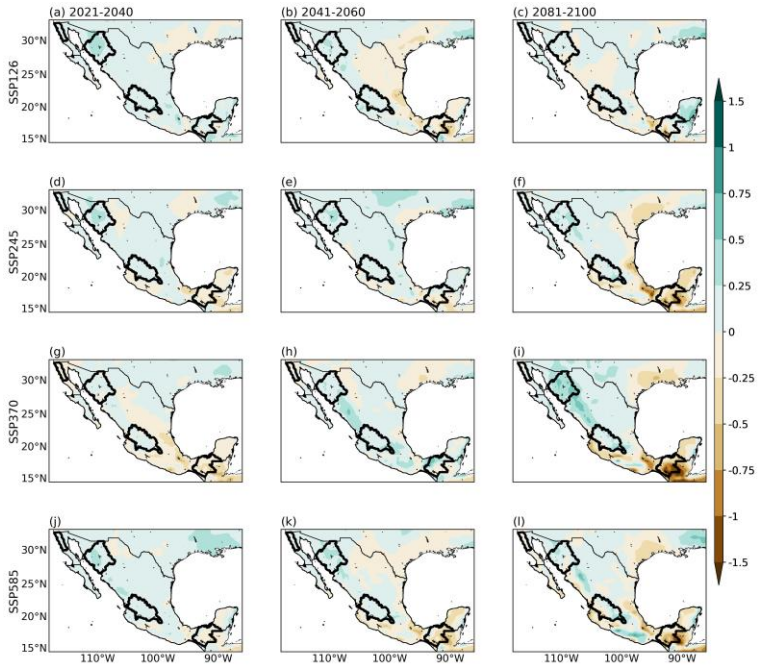


Figura 5. Cambios proyectados en la precipitación (mm d^{-1}) respecto al periodo histórico 1995-2014 para los escenarios SSP126, SSP245, SSP370 y SSP585 durante 2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100.

Conclusiones

Las proyecciones de EC-Earth3 muestran un calentamiento generalizado en las cuatro regiones hidrológicas analizadas, cuya magnitud aumenta hacia finales del siglo y bajo los escenarios de mayor forzamiento. En contraste, la precipitación presenta una respuesta más heterogénea espacialmente y una señal menos uniforme entre periodos y escenarios. Estos resultados evidencian respuestas climáticas diferenciadas entre B.C. Noroeste, Sonora Sur, Lerma-Santiago y Grijalva-Usumacinta, y proporcionan información de base para evaluar sus posibles implicaciones sobre la disponibilidad de los recursos hídricos.

Agradecimientos

Se agradece al INIFAP por el financiamiento otorgado a través del proyecto No. 11254636311: "Respuesta hidrológica bajo escenarios de cambio climático y de uso de suelo en cuatro cuencas hidrológicas de México mediante modelos climáticos".

Referencias

Giorgi, F. (2006), Climate change hot-spots, Geophys. Res. Lett., 33, L08707, doi:10.1029/2006GL025734

Hersbach, H., Bell, B., and Berrisford, P. (2020) The ERA5 global reanalysis. Q J R Meteorol Soc, 146: 1999–2049. https://doi.org/10.1002/qj.3803

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Future global climate: Scenario-based projections and near-term information. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 553–672). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157896.006

Montecelos-Zamora, Y., Cavazos, T., Kretzschmar, T., Vivoni, E.R., et al. (2018). Hydrological Modeling of Climate Change Impacts in a Tropical River Basin: A Case Study of the Cauto River, Cuba. Water 2018, 10, 1135. https://doi.org/10.3390/w10091135

Thrasher, B.; Wang, W.; Michaelis, A.; Melton, F.; Lee, T.; Nemani, R.NASA Global Daily Downscaled Projections, CMIP6. Scientific Data 2022, 9, 262, doi:10.1038/s41597-022-01393-4

SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN DEL SUELO EN LA COMARCA LAGUNERA: ANÁLISIS MULTICRITERIO MEDIANTE SIG

Horacio Vega Vega[1*], Armando López Santos[1], Blanca Isabel Sánchez Toledano[2], Gonzalo Abelino Torres[1], Juan Carlos Cota Ortiz[1]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Carretera Gómez Palacio Chihuahua km 40. 35230 Bermejillo, Durango, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Km 24.5 Ctra. Zacatecas - Fresnillo, Calera de V.R., Zacatecas, México. *Autor de correspondencia: horaciovegaxd@gmail.com

Introducción

La erosión hídrica del suelo constituye uno de los procesos de degradación ambiental más críticos en zonas áridas y semiáridas de México, donde la combinación de pendientes pronunciadas, cobertura vegetal limitada y suelos frágiles genera alta vulnerabilidad a la pérdida de superficie edáfica (Aceves-Navarro y Rojo-Martínez, 2007; Martínez-Valderrama, 2012). La erosión puede ocurrir por la acción de diversos agentes; cuando es originada por el escurrimiento de agua, se manifiesta como la pérdida de material edáfico y genera impactos negativos tanto en la productividad agrícola como en la estabilidad de los ecosistemas (Palacio-Prieto et al., 2016). En regiones con topografía compleja, la erosión puede remover entre 10 y 100 toneladas de suelo por hectárea por año, cifras que superan ampliamente las tasas naturales de formación edáfica de 0.5 a 1 tonelada por hectárea anualmente (Lal, 2001; Pimentel y Burgess, 2013).

La Comarca Lagunera, región compartida entre Durango y Coahuila, constituye un caso de estudio particularmente relevante debido a su compleja topografía, heterogeneidad ambiental y vulnerabilidad a la desertificación. Integrada por 15 municipios con aproximadamente 39,542 km², la región se caracteriza por clima árido a semiárido con precipitaciones anuales inferiores a 400 mm, concentradas en verano, lo que genera escurrimientos concentrados y de alta energía erosiva (INEGI, 2020; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016). El paisaje incluye sierras con relieves abruptos al oeste y sur, y un valle central agrícola relativamente plano al centro y este. Esta variabilidad topográfica, combinada con coberturas vegetales heterogéneas y suelos de diferente resistencia a la erosión, genera patrones espaciales complejos de vulnerabilidad erosiva.

El análisis espacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha demostrado ser una herramienta eficaz para cartografiar la susceptibilidad a la erosión en zonas áridas, integrando múltiples capas de información topográfica, vegetal y edáfica (Eastman, 2012; Gómez-Romero et al., 2015). Los enfoques multicriterio permiten combinar variables heterogéneas en un marco de normalización común, generando mapas de susceptibilidad que facilitan la identificación de prioridades espaciales para intervenciones de conservación y ordenamiento territorial (López-Vicente y Navas, 2010). Metodologías de superposición ponderada han sido aplicadas exitosamente en contextos de degradación ambiental en México, demostrando utilidad para la planeación territorial.

El presente trabajo utiliza un enfoque de superposición ponderada que integra tres variables fundamentales: pendiente del terreno (factor dinámico que determina la energía del escurrimiento), cobertura vegetal (factor protector del suelo) y propiedades edáficas (factor de resistencia intrínseca). El objetivo es determinar la distribución espacial de la susceptibilidad a la erosión hídrica en la Comarca Lagunera y proporcionar información cartográfica de apoyo para la planeación ambiental y el ordenamiento territorial. Los resultados preliminares indican una distribución heterogénea, donde el 26.4 % del territorio (10,435 km²) presenta alta susceptibilidad, el 55.5 % (21,954 km²) susceptibilidad media, y el 18.1 % (7,153 km²) baja susceptibilidad a la erosión.

Es importante señalar que la susceptibilidad a la erosión representa la propensión física del terreno a perder suelo debido a sus características topográficas, de cobertura vegetal y edáficas. A diferencia del concepto de riesgo, no incorpora variables relacionadas con la exposición de actividades productivas, infraestructura o población.

Materiales y métodos

Área de estudio y delimitación territorial. La Comarca Lagunera comprende 15 municipios: Gómez Palacio, Lerdo, Tlahualilo, Mapimí, Rodeo, Nazas, General Simón Bolívar, San Juan de Guadalupe, San Luis del Cordero y San Pedro del Gallo (Durango); Torreón, Matamoros, San Pedro, Francisco I. Madero y Viesca (Coahuila). El área total es de aproximadamente 39,542 km². Para la delimitación se utilizó el Marco Geoestadístico de INEGI; posteriormente se disolvieron los polígonos municipales en una capa única que sirvió como máscara de recorte para todas las variables analizadas. El sistema de referencia utilizado fue WGS 84 / UTM Zona 13 N (EPSG:32613), elegido porque minimiza distorsiones areales y angulares en esta región.

Variable 1: Pendiente del terreno. Se utilizó el Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) de INEGI para Durango y Coahuila. Los modelos digitales de elevación se fusionaron (Merge) y se recortaron al límite de la Comarca Lagunera. El modelo, originalmente en coordenadas geográficas, se reproyectó a WGS 84 / UTM Zona 13 N (EPSG:32613) para obtener valores de pendiente físicamente coherentes, conservando una resolución de 15 m. A partir de éste se calculó la pendiente en porcentaje (%) mediante la herramienta de análisis del terreno de QGIS, y se reclasificó en cinco categorías: 1 = muy baja (0–2 %); 2 = baja (2–6 %); 3 = media (6–12 %); 4 = alta (12–25 %); 5 = muy alta (>25 %).

Variable 2: Uso de suelo y vegetación. Se utilizó la capa vectorial Uso de Suelo y Vegetación Serie VII de INEGI a escala 1:250,000, descargada para los estados de Durango y Coahuila. Tras reproyectarla a EPSG:32613 y recortarla, se reclasificaron las coberturas según su capacidad de protección del suelo: bosques y matorrales densos recibieron valores bajos (1–2), matorrales dispersos valor medio (3), y suelo desnudo más agricultura sin cobertura valores altos (4–5).

Variable 3: Edafología. Se utilizó la capa vectorial Edafología Serie II de INEGI a escala 1:250,000. Las categorías de suelo se reclasificaron según erodabilidad intrínseca: Leptosol = 5 (suelo muy frágil, poco desarrollado); Regosol = 4 (frágil, bajo contenido de materia orgánica); Cambisol = 3 (moderadamente resistente); Calcisol y Phaeozem = 2 (resistentes); Vertisol = 1 (muy resistente, arcillas de alta estabilidad).

Todas las operaciones se ejecutaron en QGIS versión 4.2.2 “Belém do Pará” para macOS (QGIS Development Team, 2026). Aunque el MDE original presentó una resolución de 15 m, las tres variables reclasificadas fueron estandarizadas a una resolución de píxel común de 30 m, con el mismo sistema de referencia (EPSG:32613) y extensión de la Comarca Lagunera disuelta, para garantizar su compatibilidad. La integración se realizó mediante la Calculadora Ráster, utilizando la fórmula de superposición ponderada: Susceptibilidad = (Pendiente × 0.40) + (Vegetación × 0.35) + (Edafología × 0.25). Los pesos se definieron mediante criterio experto, considerando la influencia relativa de cada factor sobre los procesos de erosión hídrica reportados en la literatura: la pendiente recibió el mayor peso (40 %) por controlar la energía del escurrimiento superficial; la vegetación (35 %) por su papel en la protección del suelo y la infiltración; y la edafología (25 %) por condicionar su resistencia, aunque de forma subordinada a la topografía y cobertura vegetal. El ráster resultante (valores de 0.6 a 5.0) se reclasificó en tres categorías: baja, media y alta susceptibilidad, estimándose la superficie y el porcentaje de cada una en la Comarca Lagunera.

Resultados y discusión

Distribución general de la susceptibilidad. El análisis arrojó una distribución heterogénea de la susceptibilidad a la erosión en el territorio analizado. La susceptibilidad media predomina en la región, ocupando 21,954 km² equivalentes al 55.5 % de la Comarca Lagunera. Las zonas de alta susceptibilidad representan 10,435 km² (26.4 %), mientras que las áreas de baja susceptibilidad comprenden 7,153 km² (18.1 %). Esta predominancia de la categoría media refleja la naturaleza intermedia de la región: ni totalmente serrana ni completamente plana, ni enteramente cubierta ni completamente desnuda.

Los municipios con mayor proporción de alta susceptibilidad se concentran en Lerdo, Nazas, San Pedro, Francisco I. Madero, Torreón, Rodeo y Viesca, donde convergen terrenos de mayor pendiente, vegetación dispersa y presencia de suelos frágiles como Leptosol y Regosol. Estos municipios muestran patrones de escurrimiento concentrado que genera energía erosiva elevada, especialmente en zonas de relieve abrupto. En contraste, municipios como Gómez Palacio, Matamoros y Tlahualilo presentan menores extensiones de alta susceptibilidad, asociadas a terrenos relativamente planos, cobertura vegetal de protección y presencia de suelos más resistentes a la erosión. Esta heterogeneidad espacial refleja la complejidad topográfica y ambiental de la región, donde la susceptibilidad a la erosión hídrica varía significativamente según la combinación local de los factores analizados.

Interpretación de mecanismos. El patrón espacial refleja la interacción de los tres factores analizados. Las zonas de alta susceptibilidad se caracterizan por: (a) pendientes superiores a 12 %, que generan escurrimientos concentrados con energía suficiente para transportar sedimentos; (b) coberturas vegetales dispersas o suelo desnudo, que exponen el suelo directamente al impacto de gotas de lluvia y concentran el escurrimiento; y (c) presencia de Leptosol o Regosol, clasificados en este análisis como suelos de mayor erodabilidad. Por el contrario, las áreas de baja susceptibilidad se asocian con: (a) pendientes inferiores a 6 %, que presentan menor potencial de generación de escurrimiento; (b) cobertura vegetal densa, particularmente en sistemas agrícolas permanentes o bosques que interceptan lluvia y favorecen la infiltración; y (c) presencia de suelos como Vertisol o Phaeozem, clasificados en este análisis con valores bajos de erodabilidad. Las zonas de susceptibilidad media representan transiciones entre estos extremos.

Implicaciones para la planeación ambiental. Los resultados permiten identificar áreas prioritarias para la conservación del suelo en la Comarca Lagunera de acuerdo con su nivel de susceptibilidad a la erosión hídrica. Las 10,435 km² clasificadas con alta susceptibilidad requieren mayor atención mediante medidas de conservación de suelo y agua, como manejo de la cobertura vegetal, prácticas de conservación de suelos y obras de control de escorrentía, de acuerdo con las condiciones particulares de cada sitio. Las 21,954 km² con susceptibilidad media requieren seguimiento y medidas preventivas orientadas al mantenimiento de la cobertura vegetal y al manejo adecuado del suelo. Las 7,153 km² con baja susceptibilidad presentan menores condiciones favorables para la erosión, aunque requieren vigilancia ante posibles cambios en la cobertura del suelo. En conjunto, la cartografía generada puede orientar de forma concreta las acciones de conservación y manejo territorial hacia las zonas donde más se necesitan.

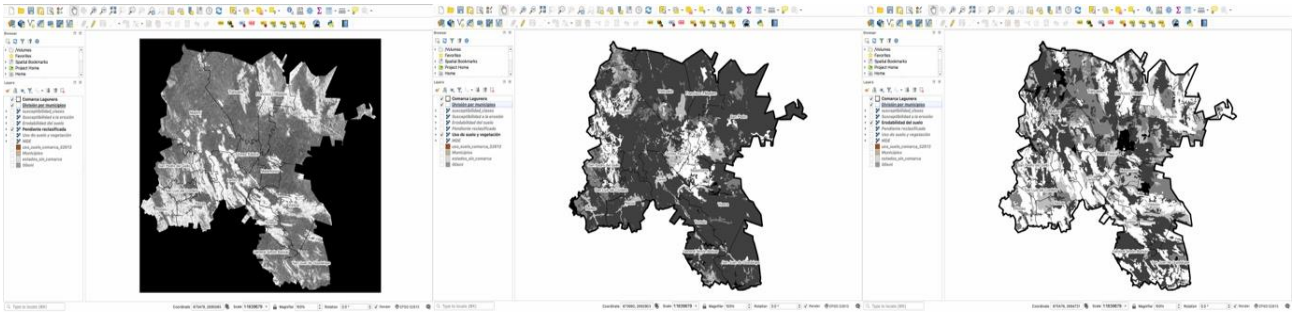


Figura 1. Variables temáticas reclasificadas del análisis multicriterio: (a) Pendiente del terreno, (b) Cobertura de suelo y vegetación, (c) Erodabilidad del suelo.

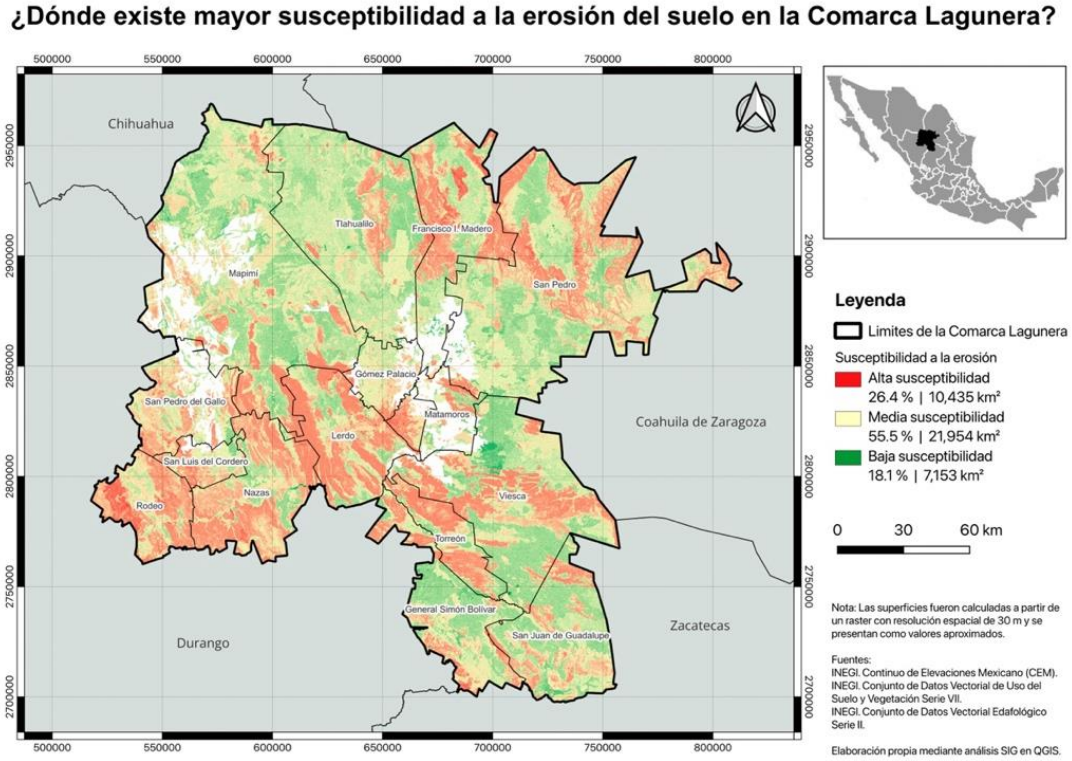


Figura 2. Mapa de susceptibilidad a la erosión hídrica en la Comarca Lagunera

Conclusiones

El análisis multicriterio mediante SIG permitió identificar la distribución de la susceptibilidad a la erosión hídrica en la Comarca Lagunera. Los resultados indican que el 26.4 % del territorio (10,435 km²) presenta alta susceptibilidad, concentrada principalmente en los municipios de Lerdo, Nazas, San Pedro, Francisco I. Madero, Torreón, Rodeo y Viesca. La integración de variables topográficas, vegetales y edáficas demostró viabilidad operativa, generando información cartográfica con resolución espacial de 30 m aplicable a la planeación territorial. Esta metodología es replicable a otras regiones áridas de México con disponibilidad de datos públicos de INEGI, proporcionando una base técnica para priorizar intervenciones de conservación de suelos según el nivel de susceptibilidad a la erosión hídrica e identificar las áreas donde resulta más conveniente concentrar recursos y esfuerzos de manejo territorial.

Referencias

Aceves-Navarro, L. A., y Rojo-Martínez, G. E. (2007). Cartografía digital de la susceptibilidad a la erosión en la subcuenca del Río Fuerte, Durango, México. Investigaciones Geográficas, 63, 89-101.

Eastman, J. R. (2012). IDRISI Selva tutorial. Clark University, Worcester, MA.

Gómez-Romero, L., Linaje, M., López-Blanco, J., y Cram-Heydrich, S. (2015). Evaluación del riesgo de erosión en microcuencas del Altiplano Mexicano mediante análisis SIG y sensores remotos. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, 14(2), 145-159.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2020). Guía de uso de datos geoespaciales: Continuo de Elevaciones Mexicano, Series de Uso de Suelo y Edafología. INEGI, México.

Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. Land Degradation and Development, 12(4), 519-539.

López-Vicente, M., y Navas, A. (2010). Predicting soil erosion with RUSLE in Mediterranean agricultural systems at catchment scale. Soil Science Society of America Journal, 74(2), 393-408.

Martínez-Valderrama, J. (2012). Desertificación en México: procesos, causas y efectos. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 64(1), 15-34.

Palacio-Prieto, J. L., Sánchez-Salazar, M. T., y Casado-Izquierdo, J. M. (2016). Degradación del suelo en México: diagnóstico y perspectivas. Instituto de Geografía UNAM, México.

Pimentel, D., y Burgess, M. (2013). Soil erosion threatens food production. Agriculture, 3(3), 443-463.

QGIS Development Team. (2026). QGIS Geographic Information System (Version 4.2.2 “Belém do Pará”). QGIS Association. https://www.qgis.org

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). Programa de Acción Nacional contra la Desertificación en México. SEMARNAT, México.

EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTES DE CULTIVO DEL MAÍZ FORRAJERO CON EL USO DE UN LISÍMETRO GRAVIMÉTRICO

Marco Antonio Inzunza-Ibarra[1]*, Sergio Iván Jiménez-Jiménez[1], Ignacio Sánchez-Cohen[1], Mariana de Jesús Marcial-Pablo[1], Ernesto Sifuentes Ibarra[2]

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera, INIFAP[1]. Canal Sacramento Km 6.5 margen derecha, Gómez Palacio, Dgo. CP 35140. [2]Campo Experimental Valle del Fuerte. Juan José Ríos, Gve, Sin. *Autor para correspondencia: inzunza.marco@inifap.gob.mx

Introducción

La Comarca Lagunera, Coah y Dgo, constituye una de las principales cuencas lecheras de México y depende en gran medida del maíz forrajero (*Zea mays* L.) como base de la alimentación del ganado, lo que lo ubica entre los cultivos de mayor demanda de agua de riego de la región. Esta elevada demanda ocurre en un entorno donde la disponibilidad de agua para uso agrícola ha disminuido de manera sostenida, lo que ha exigido una mayor eficiencia en el uso del agua y mayor restricción para los productores de la región (López-Hernández et al., 2026). Para lograr un mejor uso del agua es cada vez más importante la determinación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) ya que cada milímetro utilizado representa 10 m^3 en una hectárea. Por lo que se requiere conocer con precisión este parámetro, ya que integra las pérdidas de agua por evaporación del suelo y por transpiración de la planta, y constituye la base para programar el riego de manera técnica y precisa en la agricultura de riego y bajo condiciones de escasez (Reyes-González et al*.,* 2019).

Un método aceptado para estimar los requerimientos hídricos de los cultivos consiste en estimar en un primer paso la evapotranspiración de referencia (ETo) en base en datos climáticos para obtener la demanda del clima imperante, para lo cual es usado la ecuación de Penman & Monteith y en un segundo paso, es afectada por un coeficiente de cultivo (Kc) específico para cada etapa fenológica (Paredes et al*.*, 2025). Bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo, sólo la planta afecta la oferta de agua. En estas condiciones se obtiene la evapotranspiración de cultivo (ETc) mediante la corrección de la evapotranspiración de referencia por el coeficiente de ajuste por desarrollo del cultivo (Kc) que es función de su desarrollo vegetativo y de la exigencia del clima. Así, el coeficiente del cultivo representa la relación entre la evapotranspiración de cultivo y de la evapotranspiración de referencia. Este parámetro es adimensional y se determina en forma empírica con la ecuación:

$$Kc = ETc\ ETo^{-1} \qquad (1)$$

Donde ETc = Evapotranspiración máxima (mm); ETo = evapotranspiración de referencia (mm)

Sin embargo, los valores de Kc reportados en la literatura internacional, generados originalmente para condiciones climáticas distintas a las de la región, no siempre reflejan con exactitud las condiciones de clima, suelo, variedad y manejo agronómico propias de una zona semiárida como la Comarca Lagunera, por lo que su aplicación directa puede conducir a un manejo inadecuado del riego. Este trabajo en maíz forrajero tuvo como objetivos determinar la evapotranspiración de cultivo en forma precisa con lisimetría, obtener el coeficiente de ajuste por desarrollo de cultivo y definir un modelo del citado coeficiente en base a unidades calor que proporcione mayor grado de generalidad en la aplicación de resultados (Liu et al*.*, 2025).

Materiales y métodos

Este trabajo se desarrolló en el Campo Experimental del CENID-RASPA, ubicado en Gómez Palacio, Dgo. Geográficamente se localiza a 25° 35' LN, 103° 27' LO y a una altitud de 1135 msnm. El clima de la región se clasifica como BW(h') h w(e); que corresponde a muy árido, cálido con temperatura media anual de 22°C y temperatura media del mes más frío de 18°C; es extremoso con una oscilación anual en las temperaturas medias mensuales de entre 7 y 14 °C, precipitación media anual de 230 mm, períodos libres de heladas de abril a octubre y pueden presentarse granizadas durante mayo. Las lluvias son en verano, con un porcentaje de lluvias invernales que va de 5 a 10.2 % (García, 2004).

El suelo del lote experimental es clasificado como Xerosol Háplico de acuerdo a la FAO/UNESCO modificada por INEGI y pertenece a la serie Coyote, de gran representatividad regional con suelos profundos, con poca variabilidad de textura (migajón arcilloso). El agua utilizada en el estudio es clasificada como: C1S1, bajo en contenido de sales y sodio. El híbrido de maíz forrajero que se estableció en el lisímetro fue el SB-302 que corresponde a maíz banco, con una densidad de 105 mil plantas por ha aproximadamente y una fertilización de 190-80-0 kg de nitrógeno, fosforo y potasio respectivamente.

El maíz forrajero se sembró el 9 de junio del 2025, en el lisímetro de pesada de 1.8 de ancho, 3.60 m de largo y 1.50 m de profundidad y estructura de suelo inalterada. El cultivo se desarrolló bajo condiciones no restrictivas de humedad; condición indispensable para obtener la evapotranspiración de cultivo, para lo cual se estableció un régimen de humedad hídrico en el suelo del lisímetro en un rango de 0.051–0.101 MPa de tensión de humedad; además, el terreno circunvecino restante se manejó en forma similar a la del lisímetro con el fin de evitar el efecto de orilla y las condiciones de advección. Para la determinación de las unidades calor durante el ciclo del maíz forrajero se utilizó la metodología de la curva seno, la cual toma en cuenta las temperaturas máximas y mínimas, la temperatura base del cultivo y su temperatura máxima a la cual su desarrollo no es afectado. Considerando que las unidades calor acumuladas son una analogía de un reloj fisiológico en la ocurrencia de cada una de las fases de crecimiento de los cultivos, se propone un modelo donde los coeficientes de cultivo estén en función de las unidades calor acumuladas durante el ciclo vegetativo del maíz. Este modelo tendría una mayor generalidad de resultados a los modelos generados por ser este un parámetro con más carácter físico que el tiempo en días o en calendario juliano. Se propone en lugar de la fecha juliana, utilizar las unidades calor acumuladas como un parámetro climático con mayor carácter físico y extrapolabilidad de resultados a otras regiones de condiciones climáticas diferentes donde se realizó el estudio. Dicha relación está representada en un polinomial de segundo orden en la ecuación 2.

$$Kc = b_0 + b_1 UCA + b_2 UCA^2 \qquad (2)$$

Dónde: UCA = unidades calor acumuladas al período i, b_i = coeficientes de la regresión.

Los datos obtenidos en este estudio fueron la evapotranspiración máxima del maíz forrajero (mm), las unidades calor de crecimiento acumuladas a un periodo de crecimiento y la evapotranspiración de referencia. Estas variables se relacionaron en el modelo 2 mediante la técnica de regresión múltiple para lo cual se utilizó el software estadístico del Sigma Plot.

Resultados y discusión

Los resultados del requerimiento de unidades calor de crecimiento para el maíz forrajero establecido en el lisímetro gravimétrico de alta precisión se presentan en la Figura 1. Se tomó como temperatura base para el maíz el valor de 5 ºC y de 30 ºC como temperatura máxima para un desarrollo óptimo (Liu et al., 2025). La figura muestra los valores acumulados de las unidades calor a las cuales se presentaron los principales eventos fenológicos del cultivo como la emergencia, la formación de la hoja bandera, el inicio de floración, el jiloteo y el grano en estado lechoso y listo para su cosecha a los 85 días después de emergencia. Las unidades calor fueron una analogía de un reloj fisiológico del crecimiento, ya que conforme las temperaturas se presentaban más elevadas, las etapas aparecían más temprano que a diferencia cuando las temperaturas eran bajas, existía un retraso en la presentación de los períodos fisiológicos.

La información obtenida de la evapotranspiración de cultivo del maíz forrajero en el lisímetro gravimétrico de alta precisión se generó diariamente y se utilizaron en la ecuación 1, en la determinación de los coeficientes de desarrollo del maíz forrajero. Su comportamiento fue bien definido: tasas evapotranspirativas bajas en el período de emergencia a aparición de hoja bandera, posterior a este período, se observan demandas evapotranspirativas más altas por el cultivo justamente durante el período de floración, después de floración y llenado de grano (Figura 1). En este último evento se presentaron demandas del cultivo de poco más de 15 mm diarios de agua y esta demanda fue sostenida por un periodo corto de tiempo para después declinar levemente en el llenado de grano previo a su cosecha.

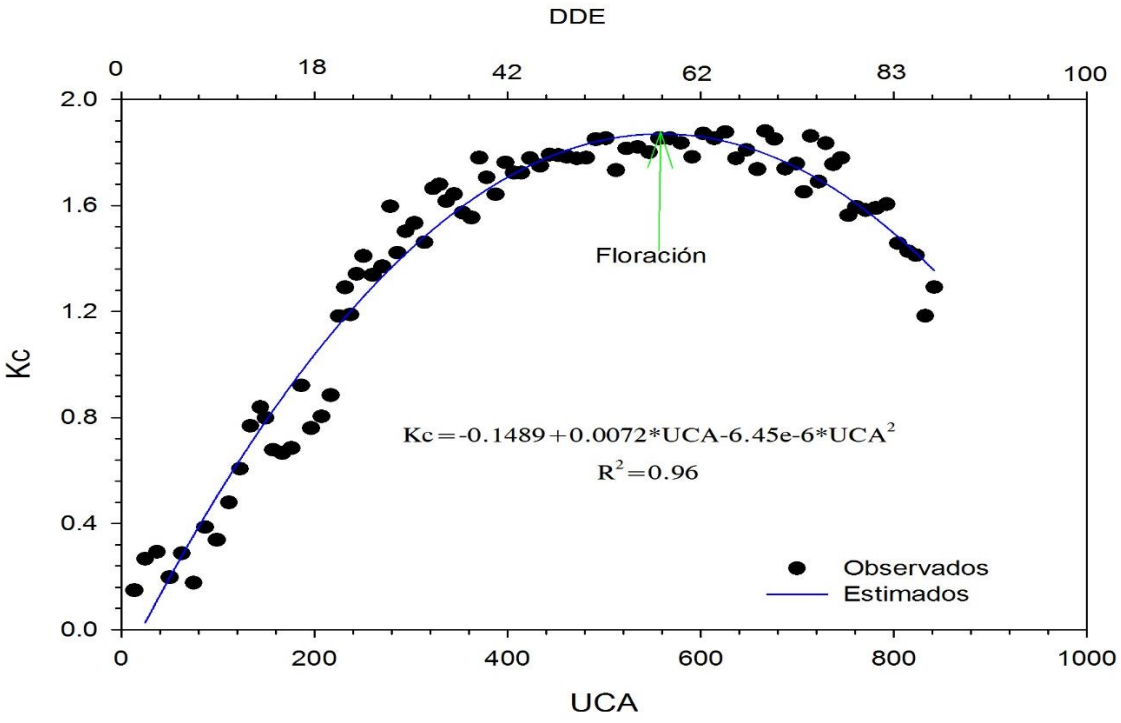


Figura 1. Coeficiente de ajuste por desarrollo del maíz forrajero (Kc) y las unidades calor (UCA); DDE= Días después de emergencia; UCA=Unidades calor acumuladas.

Obtención del coeficiente de ajuste por desarrollo del cultivo del Maíz Forrajero. El coeficiente de ajuste por desarrollo del cultivo del maíz forrajero (Kc), se determinó de acuerdo con la relación ($ETc\ ETo^{-1}$) antes descrita y los resultados se presentan en la figura 1. Este parámetro se presenta con su típico comportamiento de los cultivos anuales durante su desarrollo vegetativo, el cual se define en base a las unidades calor de crecimiento para este cultivo. El comportamiento de los Kc a través del ciclo vegetativo del maíz forrajero fue como sigue: en el inicio del período vegetativo del cultivo y hasta antes de inicio de floración, se presentaron coeficientes de desarrollo entre 0.15, menos de la unidad, se incrementaron entre 1 a 1.5 conforme al desarrollo del cultivo y en la etapa de floración y llenado de grano valores pico de Kc cercanos a 1.9, esto se atribuye a eventos excepcionales de calor. Los valores de esta relación empezaron a disminuir levemente después de la floración y jiloteo. El valor mayor del coeficiente de ajuste se registró durante la floración y llenado de grano y correspondió al valor de Kc = 1.88, esto significa que la demanda hídrica del complejo planta-atmósfera superó en un 88 % la demanda evaporativa del medio ambiente. Los valores menores se presentaron como era de esperarse, al iniciarse el ciclo vegetativo y disminuyeron hasta la unidad en la cosecha del forraje que coincide con la etapa lechosa del grano. Con el propósito de lograr una mayor generalidad en la predicción de los Kc, estos fueron relacionados con las unidades calor de crecimiento acumuladas (UCA), en lugar del desarrollo vegetativo relativo del maíz forrajero. Los datos fueron ajustados a un modelo polinomial de segundo grado. La función obtenida por regresión fue la siguiente: $Kc = -0.1489 + 0.0072 * UCA – 6.45\ e\text{-}6 * UCA^2$; $R^2 = 0.96$. Los datos observados y la función ajustada se ilustran en la Figura 1, de acuerdo a esta gráfica y al coeficiente de determinación puede afirmarse que el ajuste de los datos a este modelo fue excelente y por tanto su poder predictivo que proporciona mayor generalidad al modelo por sus parámetros físicos involucrados.

Conclusiones

El modelo polinomial de segundo grado presentó un excelente ajuste al en la representación del comportamiento de los datos de los coeficientes de ajuste por desarrollo del maíz forrajero, generados por medio de Lísimetría, durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo. Al utilizar el modelo generado, parámetros con más carácter físico, como son las unidades calor de crecimiento, proporciona una mayor generalidad de los coeficientes de ajuste por desarrollo previa calibración, en lugar de aquellos modelos que relacionan los mencionados coeficientes de evapotranspiración, en función del calendario juliano o el desarrollo vegetativo en días. El cultivo del maíz forrajero consiguió su mayor actividad de crecimiento vegetativo a las 360 unidades calor de crecimiento y valores de coeficientes de cultivo de hasta de 1.5, los cuales se incrementaron hasta valores cercanos a 1.9 al alcanzar la floración y datos de unidades calor acumuladas de alrededor de 560. Al momento de la cosecha se tenía un valor de Kc de 1.2 durante el llenado de grano y con aproximadamente 880 unidades térmicas de crecimiento del cultivo.

Agradecimientos

Se agradece el financiamiento del estudio al CONAHCYT como parte del proyecto de Ciencia Básica y de Frontera: “Huella hídrica de cultivos usando sensores remotos y datos de reanálisis, una aproximación a escala parcelaria” (CBF2023-2024-1092).

Referencias

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Serie Libros Núm. 6. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F. http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1

Liu, Y.Y., Su, Y.C., Sun, P.W., Dai, H.Y.& Kuo, B.J. (2025). Stability of maize phenology predictions by using calendar days, thermal functions, and photothermal functions. Agriculture, 15:1-22. https://doi.org/10.3390/agriculture15192020

López-Hernández, N. A., Rodríguez-Moreno,V. M., Ramírez-Gottfried, R. I., Trucíos-Caciano, R., Inzunza-Ibarra, M. A. & Martínez-Sifuentes, A. R. (2026). Sentinel-2 and Unmanned Aerial Vehicule (UAV) Imagery for Irrigation Scheduling in Fodder Maize: A Comparative Remote Sensing Approach. Plants, 15(15). https://doi.org/10.3390/plants15152265.

Paredes, P., López-Urrea, R., Martínez-Romero, A., Petry, M. T., Cameira, M., Montoya, F. Almeida, W., Salman, M. & Pereira, P. S. (2025). Base and upper temperature thresholds to support the calculation of growing degree days aiming at their use with the FAO56rev crop coefficients curve: A review. Agric. Water Management 319. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109755

Reyes-González, A., Reta-Sánchez, D. G., Sánchez-Duarte, J. I., Ochoa-Martínez, G., Rodríguez- Hernández, K. & Preciado-Rangel, P. (2019). Estimación de la evapotranspiración de maíz forrajero apoyada con sensores remotos y mediciones in situ. Terra Latino Americana 37: 279-290. https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.485

EVOLUCIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LA PLATAFORMA VICAL

Mariana de J. Marcial-Pablo[1*], Sergio Iván Jiménez- Jiménez[1]

[1] Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA), INIFAP. Km. 6.5 Margen Derecha del Canal Sacramento, Gómez Palacio, C.P. 35079, Durango, México. * Autor de correspondencia: marcial.marianadejesus@inifap.gob.mx

Introducción

VICAL (Vegetation Index Calculator) es una calculadora de índices de vegetación (IVs) empleada en áreas agrícolas; la herramienta VICAL fue desarrollada en la plataforma Google Earth Engine (GEE) y fue codificada en JavaScript. VICAL permite el seguimiento y monitoreo variables agrícolas de forma espacial y temporal usando datos de las imágenes de satelitales Landsat (4, 5, 7, 8 y 9) Sentinel-2. Asimismo, facilita la integración de datos de campo para la calibración y generación de modelos de regresión aplicados a variables biofísicas a escala parcelaria. Los principios de diseño para VICAL fueron proporcionar para cualquier área de interés (definida por el usuario) donde exista una imagen Landsat o Sentinel-2 la estimación de diferentes IVs aplicados en la agricultura, además, permite graficar la serie de tiempo del índice para esa zona en el rango de fecha establecido por el usuario. Esta herramienta ahorra tiempo y evita el procedimiento repetitivo asociado con los cálculos de los IVs (descarga de imágenes, procesamiento, etc.), que requieren distintos tipos de softwares y pueden dar lugar a errores humanos derivados de los procedimientos manuales.

La versión actualizada de VICAL permite extraer de manera rápida y eficiente los valores de 32 índices de vegetación y se encuentra disponible públicamente en: https://inifapcenidraspa.users.earthengine.app/view/vical.

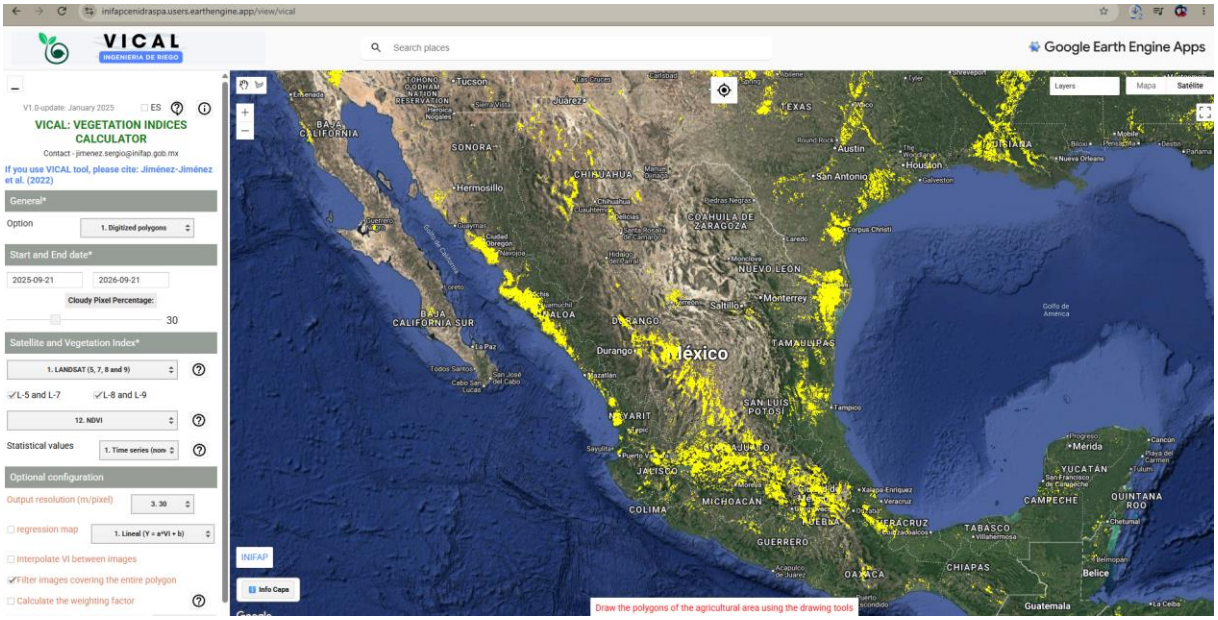


Figura 1. Ventana principal de la herramienta VICAL.

Materiales y métodos

La herramienta VICAL tiene tres funciones principales:

- Mapas de índices de vegetación (comúnmente utilizados en aplicaciones agrícolas) usando imágenes (sin nubes) Landsat y Sentinel-2 de cualquier área definida por el usuario o archivo vector.
- Gráfico de series de tiempo de índices de vegetación para cada polígono dibujado por el usuario con Landsat y Sentinel-2.
- Mapas de regresión (función lineal, cuadrática, potencial, exponencial o logarítmica) utilizando valores de los índices de vegetación.

Al iniciar, para estimar el índice de vegetación de cualquier superficie el usuario tiene varias opciones: digitalizar el polígono, utilizar un archivo vectorial cargado en GEE o seleccionar un país, un estado, un municipio, un Distrito de Riego o un acuífero de México. Además, es necesario configurar las siguientes opciones:

- Rango de fechas: Es necesario ingresar una fecha de inicio y fin, que corresponda al intervalo en el que se desea estimar los IVs. La fecha debe tener el siguiente formato: AAAA-MM-DD.
- Porcentaje de nubes: Se debe ingresar un umbral máximo de nubes, por defecto está establecido en 30%; este valor puede ser modificado.
- Satélites: Inicialmente las cuatro opciones disponibles se derivan de los satélites Landsat y Sentinel-2, los cuales son: landsat 7, 8 y 9; sentinel-2; Landsat 7, 8 y 9 y sentinel-2 y landsat 4 y 5. En la versión actualizada se ha agregado el satélite MODIS para calcular exclusivamente 2 índices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y EVI (Enhanced Vegetation Index).
- Índices de vegetación: El usuario puede seleccionar entre los 32 IVs (versión actualizada) comúnmente utilizados en aplicaciones agrícolas, el IV que desea calcular; las fórmulas para cada índice de vegetación se encuentran en la sección de ayuda o en Jiménez-Jiménez et al. (2022).
- Otras funciones adicionales: VICAL permite seleccionar opciones adicionales, como:
  - Mapa de regresión: El usuario obtiene como resultado un mapa de regresión basado en los valores de los IV calculados. Puede seleccionar entre cinco tipos de funciones: lineal, cuadrática, potencial, exponencial y logarítmica (versión actualizada); donde debe ingresar los coeficientes de ajuste para la función seleccionada.
  - Filtrar imágenes que cubran todo el polígono: Se filtran las imágenes que cubren completamente el(los) polígono(s), de lo contrario, se muestran imágenes incluso si cubren un cierto porcentaje del polígono. Esta opción es útil para polígonos que cubren grandes superficies (cientos de hectáreas).
  - Calcular factor de ponderación (WF): WF es la relación entre el valor de VI en un píxel y el VI promedio en el polígono (parcela). Se calcula para cada polígono digitalizado. El WF en una parcela agrícola es un indicador estandarizado del potencial productivo de cada píxel de una imagen.
- Calcular: Una vez configuradas las opciones, haga clic en “calculate” y se mostrarán al menos tres capas en el mapa: i) Imagen RGB, ii) mapa del IVs, iii) polígono digitalizado.

Resultados y discusión

A continuación, se muestra un ejemplo práctico de aplicación: En una parcela de maíz forrajero ubicada en la Distrito de Riego 017 Comarca Lagunera en el Estado de Coahuila se realizó el monitoreo del cultivo, el rango de fechas consideradas en VICAL fue de la siembra (08/03/2025) a la cosecha (29/06/2025). En este caso no fue necesario la digitalización de la parcela debido a que contaba con el URL del archivo vector: projects/ee-marianamp2024/assets/Sancarlos_T3.

Para el análisis se consideraron las imágenes Sentinel-2 por su resolución espacial (10 m) y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Estos datos se ingresaron a la herramienta VICAL para calcular los valores del NDVI (Figura 2).

VICAL crea una colección de imágenes definida a partir de la configuración establecida, donde se obtuvieron 21 imágenes (fechas) con valores del índice de vegetación.

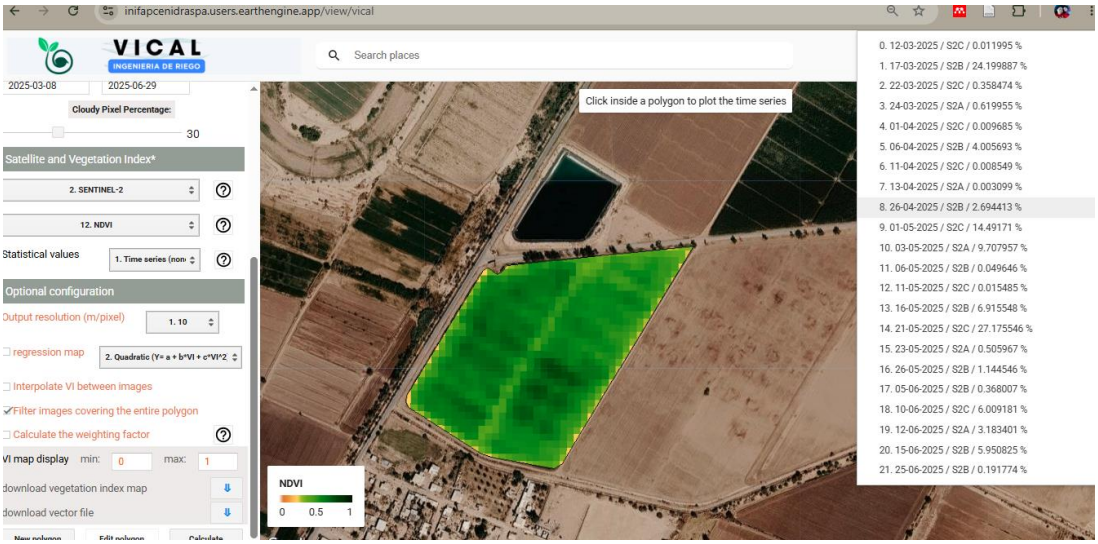


Figura 2. Interfaz de cálculo del NDVI y lista de imágenes encontradas.

Los valores obtenidos del NDVI se visualizan al dar clic dentro de cualquier polígono, por lo tanto, los valores son solo para el polígono seleccionado. La serie temporal se muestra en una gráfica donde se calcula el promedio y la desviación estándar de los valores del NDVI (para este caso). Cada punto del gráfico representa una imagen encontrada según la configuración del establecida. Los valores de NDVI se puede descargar en un archivo CSV (Figura 3).

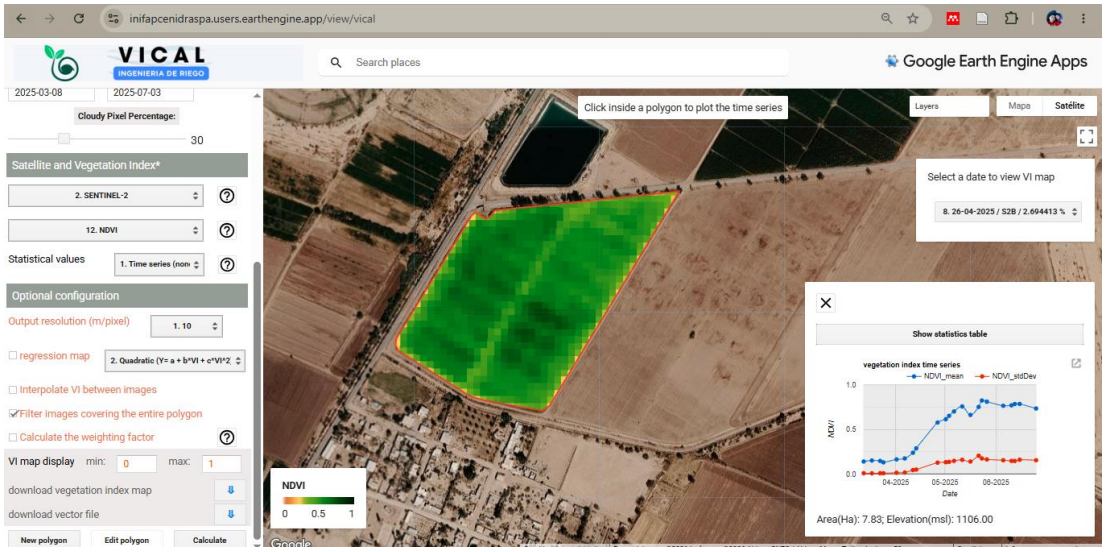


Figura 3. Comportamiento del NDVI en la parcela de maíz forrajero.

Además, permite descargar las capas correspondientes al mapa de vegetación, archivo vector y mapa de regresión (siempre que se encuentra habilitada). En el caso de mapa de vegetación y regresión, la descarga se realiza en formato raster (tif) con valores del parámetro calculado y recortado para la zona de interés; estos archivos pueden visualizarse y procesarse en programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), como QGIS. Por su parte el archivo vector se descarga en formato kml.

Conclusiones

La actualización de la herramienta VICAL consolida su efectividad como una plataforma accesible, ágil y precisa para el monitoreo agrícola. La incorporación de los sensores MODIS y la disponibilidad de 32 índices de vegetación (IVs), complementados con diversos modelos de regresión, proporcionan a la plataforma una gran versatilidad para el análisis agronómico y el modelado de variables biofísicas a distintas escalas.

La aplicación en el caso de estudio del cultivo de maíz forrajero en el DR 017 Comarca Lagunera demostró la capacidad de VICAL para generar series temporales de imágenes, evaluar la dinámica fenológica del cultivo, extraer métricas estadísticas (promedio y desviación estándar) y exportar capas en formato raster y vectorial totalmente compatibles con entornos SIG para la toma de decisiones agrícolas.

Referencias

Jiménez-Jiménez, S. I., Marcial-Pablo, M. D. J., Ojeda-Bustamante, W., Sifuentes-Ibarra, E., Inzunza-Ibarra, M. A., & Sánchez-Cohen, I. (2022). VICAL: global calculator to estimate vegetation indices for agricultural areas with landsat and sentinel-2 data. *Agronomy, 12*(7), 1518.

PRODUCTIVIDAD DE AGUA EN MAIZ FORRAJERO CONSIDERANDO EL MÉTODO DE RIEGO

Mariana de J. Marcial-Pablo[1*], Sergio Iván Jiménez- Jiménez[1]

[1] Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA), INIFAP. Km. 6.5 Margen Derecha del Canal Sacramento, Gómez Palacio, C.P. 35079, Durango, México. * Autor de correspondencia: marcial.marianadejesus@inifap.gob.mx

Introducción

El estrés hídrico de los cultivos y la sequía son los factores clave que provocan la reducción del rendimiento de los cultivos, especialmente en las regiones áridas y semiáridas (Wei et al., 2021). La productividad de agua de los cultivos (PA) es un indicador práctico y cuantificable para caracterizar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura.

Existen varios enfoques para mejorar la productividad de los cultivos (rendimientos) del agua, entre los que destacan la sustitución de cultivos que consumen mucha agua por otros que consumen menos y la adopción de mejoras tecnológicas y de gestión para aumentar la productividad por unidad de agua consumida. Se pueden aplicar tres opciones complementarias y superpuestas para ahorrar agua a nivel parcela y campo; estas opciones comprenden: aumentar la productividad de los cultivos por unidad de agua, fortalecer la capacidad de gestión de los productores y optimizar espacialmente las aplicaciones del riego (Evans & Sadler, 2008).

Los métodos de riego superficial se utilizan en más del 80 % del mundo; sin embargo, la eficiencia de aplicación a nivel de campo suele ser de solo 40–50 %. Por el contrario, el riego por goteo puede alcanzar eficiencias de aplicación a nivel de campo de 70–90 %, debido a que se minimizan las pérdidas por escorrentía superficial y por percolación profunda (Postel, 2000). Por lo tanto, la conversión de sistemas de riego superficial por gravedad a sistemas de riego por goteo contribuye significativamente a mejorar la eficiencia hídrica y la productividad del agua en la agricultura sostenible.

El presente estudio tiene como objetivo estimar la evapotranspiración actual (ETa) y la productividad de agua (PA) considerando dos sistemas de riego, gravedad y goteo subterráneo, para el cultivo de maíz forrajero. La ETa se determinó a partir de modelo de balance de energía SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) y datos meteorológicos medidos, mientras que el rendimiento del cultivo se obtuvo de manera directa en campo.

Materiales y métodos

Sitio de estudio. El estudio se realizó durante el ciclo primavera-verano de dos años agrícolas (2025 y 2026) en el Racho ubicado en el ejido San Juan de Ulúa, en el Municipio de Francisco I. Madero, Coahuila, ubicado entre las coordenadas 25° 50’ 31.38’’ N y -103° 15’ 2.75’’ W. El maíz para forraje se sembró en un área de 8.0 hectáreas con un sistema de riego por gravedad en el año agrícola 2025 y con un sistema de riego por goteo subterráneo en el año agrícola 2026. El sitio cuenta con un suelo de textura franco-arcillo-arenosa y con un pH de 8.23. El maíz forrajero es de los principales cultivos en la Comarca Lagunera por su importancia en la alimentación animal de los productores de leche.

Evapotranspiración y productividad del cultivo. La ETa se obtuvo utilizando el modelo de balance de energía SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) a partir de imágenes satelitales landsat 8 y 9 y datos meteorológicos medidos en campo, utilizando el balance energético superficial (Bastiaanssen et al., 1998).

$$\lambda \, \mathrm{ETa} = \mathrm{Rn} - \mathrm{G} - \mathrm{H} \qquad (1)$$

Donde Rn es la radiación neta (W/m²), G es el flujo de calor del suelo (W/m²) y H es el flujo de calor sensible (W/m²).

Los cálculos se realizaron en Google Earth Engine (GEE) en una versión del algoritmo SEBAL implementada en GEE (Laipelt et al., 2021). Para realizar el análisis y obtener la ETa a partir de sensores remotos, se adaptó el código GEE de SEBAL, incorporando datos de reanálisis recomendados por Jiménez-Jiménez et al. (2025) para el área de estudio. La metodología se aplicó a las imágenes satelitales distribuidas a lo largo del ciclo del cultivo (<30% de nubosidad), después se realizó una interpolación lineal entre fechas utilizando como referencia la ETo diaria medida de la estación meteorología DAVIS instalada en el sitio.

El uso del agua en la agricultura puede dividirse, en general, en tres procesos: transporte de agua, riego y uso del agua por los cultivos. Para el uso de agua es necesario conocer la productividad de agua de los cultivos que se define como el rendimiento del cultivo producido por unidad de consumo de agua del cultivo (Zwart & Bastiaanssen, 2004). Es el indicador final del uso eficiente del agua en la agricultura:

$$\mathrm{PAC}\ (\mathrm{kg/m^3}) = \frac{\mathrm{R}\ (\mathrm{kg/ha})}{10 \times \sum \mathrm{ETa}\ \ (\mathrm{mm})} \qquad (2)$$

Donde R es el rendimiento real del cultivo y ∑ETa representa la evapotranspiración real acumulada del cultivo durante todo el periodo de crecimiento. En las últimas décadas, la PAC se ha utilizado cada vez más como indicador para evaluar el desempeño agrícola.

La PAC puede utilizarse como punto de referencia para establecer metas para la gestión de los sistemas agrícolas y apoyar la toma de decisiones relacionadas con la producción de alimentos. Asimismo, ha sido utilizado para evaluar la política de eficiencia en el uso del agua para la agricultura a lo largo del tiempo.

Para evaluar el desempeño de los datos, se emplearon estadísticas descriptivas como la media, desviación estándar (SD), coeficiente de variación (CV) y error estándar de la media y diferencia porcentual relativa.

Resultados y discusión

Productividad de agua por sistema de riego. En el caso del maíz forrajero bajo el sistema de riego por gravedad, la siembra se realizó el 08 de marzo del 2025 y la cosecha el 29 de junio del 2025, con una duración de 113 días y una ETa acumulada durante el ciclo de 548.6 mm/ciclo. Para el caso del sistema de riego por goteo subterráneo la siembra se realizó el 21 de marzo del 2026 y la cosecha el 08 de julio del 2026 con una duración de 109 días y una ETa acumulada de 588.6 mm/ciclo.

La ETa media diaria registrada fue de 5.35 ± 1.39 mm/día bajo riego por goteo y de 4.81 ± 1.35 mm/día bajo riego por gravedad. En términos generales, la ETa media diaria con goteo fue 11.19% superior a la registrada con gravedad, mientras que la ETa acumulada presentó una diferencia de 39.97 mm, es decir 7.29% mayor en goteo. El coeficiente de variación fue de 25.91% en goteo y del 28.14% en gravedad, lo que indica una mayor variabilidad relativa de la ETa en el sistema de riego por gravedad.

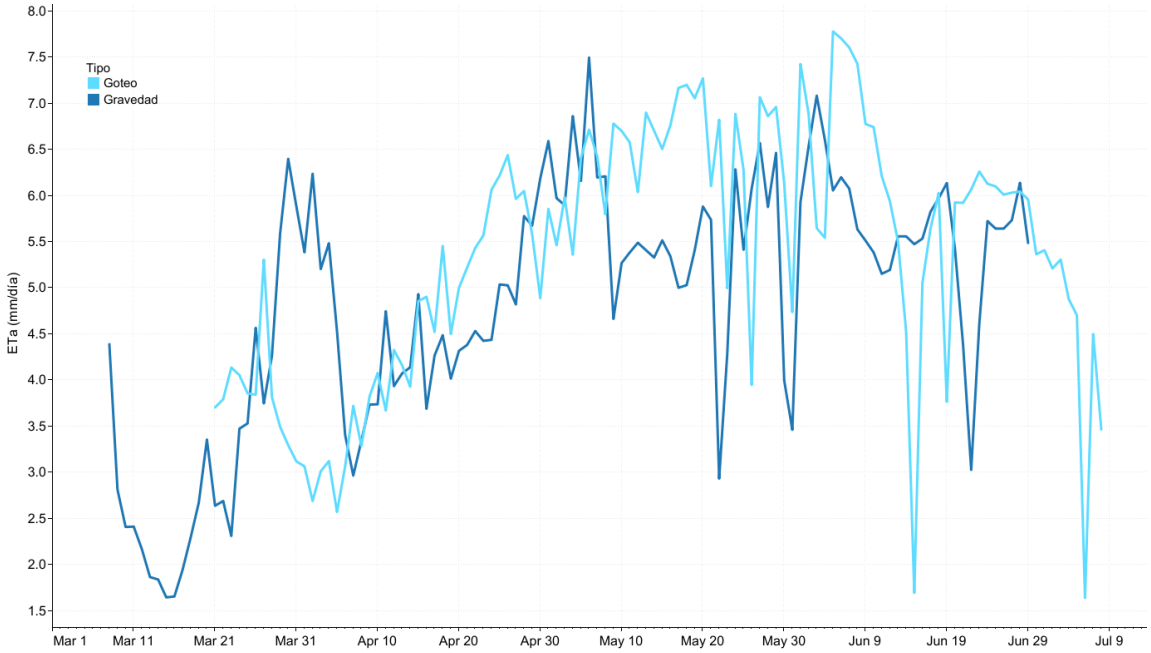


Figura 1. Valores de ETa diarios obtenidos con el sistema de riego por goteo subterráneo y gravedad.

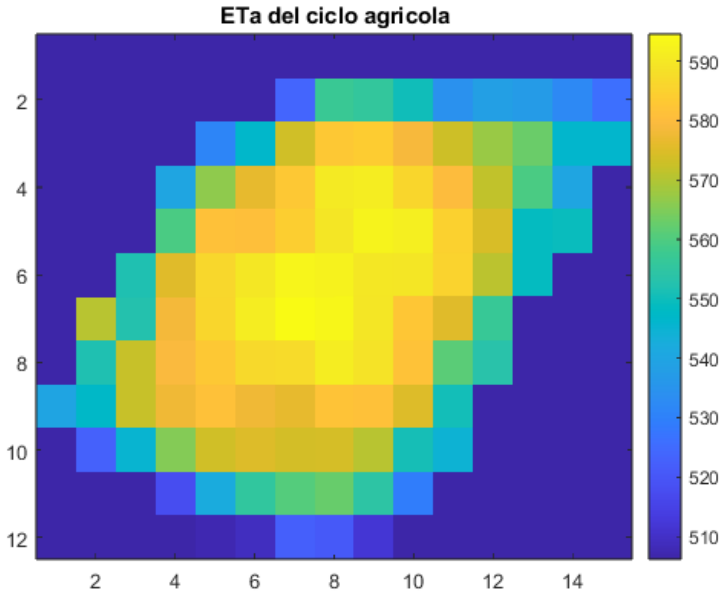


Figura 2. ETa espacial acumulada para el sistema de riego por goteo subterráneo.

El rendimiento del cultivo fue de 15.3 ton/ha de materia seca con el sistema de riego por gravedad y de 19.1 ton/ha con el riego por goteo subterráneo. A partir de la ETa acumulada y el rendimiento obtenido en cada sistema de riego, se estimó la PA con valores de 2.79 kg/m^3 y 3.25 kg/m^3 para riego por gravedad y por goteo subterráneo, respectivamente. Estos resultados indican un incremento del 16.36% en la productividad del agua con el riego por goteo respecto al riego por gravedad. Debido a que cada sistema de riego fue evaluado en año agrícola diferente, es necesario considerar que las diferencias observadas podrían estar influenciadas por la variabilidad de las condiciones ambientales entre ambos ciclos de cultivo.

Conclusiones

El cambio de sistema de riego por gravedad a goteo subterráneo en el cultivo de maíz forrajero incrementó el rendimiento de materia seca de 15.3 ton/ha a 19.1 ton/ha, así como la productividad del agua de 2.79 kg/m^3 a 3.25 kg/m^3, lo que representa una mejora del en la eficiencia del uso del agua.

La evapotranspiración acumulada fue mayor bajo riego por goteo subterráneo (588.6 mm) en comparación con el riego por gravedad (548.6 mm), el aumento en biomasa compensó este mayor consumo de agua. Es importante señalar que, al realizarse el análisis en dos años agrícolas distintos (2025 y 2026), las diferencias observadas pueden estar influenciadas por la variabilidad ambiental. Considerando lo anterior, los resultados evidencian el potencial del riego por goteo subterráneo como una alternativa tecnológica viable para optimizar el uso del agua en la Comarca Lagunera.

Referencias

Bastiaanssen, W. G., Menenti, M., Feddes, R. A., & Holtslag, A. A. M. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of hydrology*, *212*, 198-212.

Evans, R. G., & Sadler, E. J. (2008). Methods and technologies to improve efficiency of water use. *Water resources research*, *44*(7).

Jiménez-Jiménez, S. I., de Jesús Marcial-Pablo, M., Sánchez-Cohen, I., Ojeda-Bustamante, W., Inzunza-Ibarra, M. A., & Urrieta-Velazquez, J. A. (2025). Estimating Reference Evapotranspiration Using Reanalysis Data from the Google Earth Engine: A Case Study From an Arid Hydrological Region in Mexico. *Irrigation and Drainage*.

Laipelt, L., Kayser, R. H. B., Fleischmann, A. S., Ruhoff, A., Bastiaanssen, W., Erickson, T. A., & Melton, F. (2021). Long-term monitoring of evapotranspiration using the SEBAL algorithm and Google Earth Engine cloud computing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *178*, 81-96.

Postel, S. L. (2000). Entering an era of water scarcity: the challenges ahead. *Ecological applications*, *10*(4), 941-948.

Wei, W., Zhang, H., Zhou, J., Zhou, L., Xie, B., & Li, C. (2021). Drought monitoring in arid and semi-arid region based on multi-satellite datasets in northwest, China. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(37), 51556-51574.

Zwart, S. J., & Bastiaanssen, W. G. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Agricultural water management, 69(2), 115-133.

EVALUACIÓN DE MÉTODOS EMPÍRICOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN EN LA CUENCA SEMIÁRIDA CHILITAS, ZACATECAS

Paola Elizabeth Piña Madera[1]*, Manuel Ibarra Reyes[1], Julián González Trinidad[1]

[1] Unidad Académica de Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia, Universidad Autónoma de Zacatecas *"Francisco García Salinas"*, Circuito Marie Curie S/N, Parque de Ciencia y Tecnología QUANTUM Ciudad del Conocimiento, 98160 Zacatecas, Zacatecas, México. *Autor de correspondencia: pina.paolae@gmail.com

Introducción

El tiempo de concentración (T_c) es un parámetro fundamental en la modelación hidrológica de cuencas hidrográficas. Se define como el tiempo requerido por una lluvia efectiva para desplazarse desde el punto geomorfológicamente más distante en la divisoria de aguas hasta el punto de salida o sección de cierre de la cuenca (Beven, 2020). Su estimación precisa resulta determinante en la predicción de la respuesta hidrológica ante eventos de lluvia extrema, influyendo de manera directa en el tiempo al pico del hidrograma y en el cálculo de caudales máximos de diseño para la infraestructura hidráulica.

A pesar de su aparente simplicidad conceptual, la determinación del T_c involucra un elevado grado de incertidumbre técnica (McCuen, 2009; Beven, 2020). Se ha formulado una amplia gama de ecuaciones empíricas (como las de Kirpich, Passini, Témez, Giandotti y California Culverts Practice), las cuales fueron desarrolladas en regiones geográficas específicas cuyas condiciones topográficas, edafológicas, de cobertura vegetal y climáticas, entre otras, difieren sensiblemente entre sí (Passini, 1914; Giandotti, 1934; Kirpich, 1940; California Division of Highways, 1942; Témez, 1978). Diversos autores destacan que la aplicación indistinta de estas fórmulas sobre una misma cuenca genera variaciones que pueden superar hasta el 500% entre métodos, evidenciando que el T_c no es un parámetro estático ni de validez universal (Grimaldi et al., 2012; Beven, 2020).

Por otro lado, la adopción de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los Modelos Digitales de Elevación (MDE) ha facilitado el cálculo y extracción de parámetros morfológicos (Jenson & Domingue, 1988). Sin embargo, la resolución geoespacial de los archivos ráster (tamaño de píxel) puede introducir sesgos significativos en la caracterización de la longitud del cauce y la pendiente, alterando las variables de entrada a las ecuaciones.

En el estado de Zacatecas, caracterizado por un régimen climático semiárido con eventos de precipitación torrenciales y de corta duración (Rodríguez-Carrillo et al., 2025), se carece de estudios comparativos locales que evalúen el desempeño y consistencia física de las fórmulas clásicas de T_c. Por tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar la variabilidad, consistencia física y sensibilidad de cinco métodos empíricos tradicionales (T_c) sometidos a tres resoluciones geoespaciales (30, 15 y 5 metros del Continuo de Elevaciones Mexicano, CEM 3.0 de INEGI) en la cuenca semiárida Chilitas, estableciendo la metodología para la calibración de un modelo regional ajustado a las condiciones locales de la cuenca.

Materiales y métodos

Área de estudio: El estudio se conduce en la cuenca "Chilitas", la cual comprende una superficie de aproximadamente 100 km² y se localiza en el municipio de Genaro Codina, Zacatecas, México (con coordenadas UTM Zona 13N: 740,912.02 m E, 2,500,760.34 m N). La zona presenta un clima semiárido con cobertura dominada por pastizales naturales (63.5%) y agricultura de temporal (19.1%), sobre suelos predominantemente Phaeozem (62.6%) y Kastanozem (33.4%) (Rodríguez-Carrillo et al., 2025). La cuenca está instrumentada con un sistema de monitoreo hidrometeorológico continuo, integrado por tres estaciones pluviográficas (Vertedor a 2,244 msnm, Saint Venant a 2,409 msnm, y Navier Stokes a 2,467 msnm) y una estación climatológica automática (2,326 msnm).

Análisis SIG y extracción morfométrica: Mediante el software ArcGIS 10.8, se procesarán tres Modelos Digitales de Elevación (MDE) procedentes del Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM v3.0) de INEGI, con resoluciones espaciales de 30, 15 y 5 metros. La preparación cartográfica incluirá el acondicionamiento topográfico mediante el algoritmo de rellenado de depresiones (*Fill*), la generación del ráster de dirección de flujo (*Flow Direction*) por el método D8 y el cálculo de la acumulación de flujo (*Flow Accumulation*) (Jenson & Domingue, 1988). A partir de la cuenca delimitada (*Watershed*) se extraerán el área (A, en km²), la longitud del cauce principal (L_c, en km), la elevación máxima ($H_{máx}$, msnm) y la elevación mínima ($H_{mín}$, msnm) para determinar el desnivel total ($H = H_{máx} - H_{mín}$, en m) y la pendiente media del cauce principal (S_c, en m/m).

Fundamentación de las ecuaciones empíricas: Se analizarán cinco metodologías con distintos fundamentos físicos:

1. **Kirpich (1940):** $T_c = 0.0663(L_c^{0.77}/S_c^{0.385})$. Desarrollada en cuencas agrícolas muy pequeñas (<1 km²) en EE. UU. Se fundamenta en el flujo en canales bien definidos, relacionando el tiempo directamente con la fricción y la pendiente cinemática.
2. **Passini (1914):** $T_c = 0.108[(A \cdot L_c)^{0.333}/S_c^{0.5}]$. Desarrollada para cuencas rurales en Italia. Incorpora el área (A) para modelar la amortiguación del escurrimiento y el almacenamiento en la cuenca.
3. **Témez (1978):** $T_c = 0.3(L_c/S_c^{0.25})^{0.76}$. Calibrada en cuencas naturales de España (1 a 3,000 km²). Posee una estructura ajustada para terrenos de clima mediterráneo/semiárido con pendientes variadas.
4. **Giandotti (1934):** $T_c = \left(4\sqrt{A} + 1.5L_c\right)/\left(0.8\sqrt{H}\right)$. Formulada para cuencas medianas y grandes en Italia (170 a 70,000 km²). Utiliza el término $\sqrt{A}$ como dimensión del ancho medio de la cuenca y sustituye la pendiente por la diferencia altitudinal macrotopográfica (H).
5. **California Culverts Practice (1942):** $T_c = [(0.87L_c^{3.0})/H]^{0.385}$. Desarrollada para drenaje pluvial en cuencas montañosas. Corresponde a una modificación de Kirpich donde la pendiente se expresa en función del desnivel total (H).

Marco de evaluación estadística y ajuste regional: Para la fase de validación con hidrogramas observados en las estaciones pluviográficas, se establecerá un marco de evaluación estadística compuesto por la Raíz del Error Cuadrático Medio ($RMSE$), el Coeficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), el Coeficiente de Correlación de Pearson (r) y el Error Absoluto (EA) (McCuen, 2009). Con base en dicho análisis, se planteará la optimización de los coeficientes numéricos de la ecuación que presente el mejor desempeño o, en su defecto, la inclusión de un factor corrector regional que refleje la respuesta de infiltración y retención de los suelos Phaeozem/Kastanozem de la cuenca Chilitas.

Resultados esperados y discusión

El análisis comparativo de los métodos permitirá proyectar y discutir las diferencias esperadas en las estimaciones del tiempo de concentración para la cuenca Chilitas.

En el Cuadro 1 se sintetizan la ponderación de variables y el comportamiento físico previsto para cada ecuación.

Cuadro 1. Fundamentos teóricos, rango de origen y comportamiento físico esperado de las ecuaciones de T_c para la cuenca Chilitas.

Método	Expresión	Variables Ponderadas	Rango Orig. Área (km²)	Comportamiento Físico Esperable
Kirpich (1940)	$T_c = 0.0663\left(\frac{L_c^{0.77}}{S_c^{0.385}}\right)$	L_c, S_c	< 0.45	Sensible a la pendiente; tiende a subestimar el T_c en cuencas medianas (~100 km²).
Passini (1914)	$T_c = 0.108\left[\frac{(A \cdot L_c)^{0.333}}{S_c^{0.5}}\right]$	A, L_c, S_c	Terrenos planos	Conservadora; el producto $A \cdot L_c$ sobreestima el tiempo por retención superficial.
Témez (1978)	$T_c = 0.3\left(\frac{L_c}{S_c^{0.25}}\right)^{0.76}$	L_c, S_c	1.0 - 3,000	Presenta alta estabilidad en cuencas naturales con geomorfología semiárida.
Giandotti (1934)	$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L_c}{0.8\sqrt{H}}$	A, L_c, H	170 - 70,000	Sensible al desnivel macro (H); suele ampliar el T_c en cuencas de extensión reducida.
California Culverts (1942)	$T_c = \left(\frac{0.87L_c^{3.0}}{H}\right)^{0.385}$	L_c, H	Montaña / Pequeña	Robusta ante errores de pendiente media al emplear la carga hidráulica total (H)

Respecto a la resolución espacial de los MDE, se evaluará cómo la variación en el tamaño de celda (30 m, 15 m y 5 m) modifica el cálculo del perfil del cauce principal (L_c) y de la pendiente (S_c). Se anticipa que a mayor resolución (5 m), la extracción en SIG capturará con mayor detalle la sinuosidad real del cauce y las depresiones del terreno, lo que tenderá a incrementar la longitud L_c, en contraste con la malla de 30 m, evidenciando la sensibilidad de los métodos empíricos a la fuente de información cartográfica.

En cuanto a la respuesta hidrológica regional, se prevé que las fórmulas que omiten el área de captación (Kirpich y California Culverts) estimarán los tiempos de concentración más reducidos, proyectando respuestas torrenciales rápidas. Por otro lado, métodos como Passini y Giandotti entregarán valores sensiblemente superiores debido al peso del área (A). Finalmente, la información observada en la red de estaciones pluviográficas permitirá comparar cuantitativamente estas estimaciones teóricas con el tiempo de respuesta real registrado en la cuenca, sirviendo como base para la calibración del modelo ajustado.

Conclusiones

El marco conceptual y metodológico desarrollado demuestra que la estimación del T_c en regiones semiáridas requiere una revisión crítica previa de la fundamentación física de las ecuaciones empíricas clásicas. La selección del método y la resolución geoespacial del MDE (5, 15 o 30 m) representarán fuentes significativas de variación técnica que deberán ser evaluadas sistemáticamente para evitar sesgos en el dimensionamiento de obras hidráulicas.

El protocolo establecido sentará las bases operativas para integrar la información observada de la red de monitoreo hidrometeorológico de la cuenca Chilitas. Esto permitirá no solo comparar el desempeño de las formulaciones tradicionales, sino también calibrar una expresión ajustada regionalmente que contribuya a reducir la incertidumbre en los estudios hidrológicos y en la gestión del agua en el estado de Zacatecas.

Referencias

Beven, K. (2020). A history of the concept of time of concentration. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(5), 2655-2670. https://doi.org/10.5194/hess-24-2655-2020

California Division of Highways. (1942). *California Culvert Practice*. State of California, Department of Public Works.

Giandotti, M. (1934). Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua. *Ministero dei Lavori Pubblici, Memorie e Studi Idrografici*, 8.

Grimaldi, S., Petroselli, A., Nardi, F., & Ubertini, L. (2012). The paradox of the time of concentration. *Hydrological Sciences Journal*, 57(2), 214-223. https://doi.org/10.1080/02626667.2011.644244

Jenson, S. K., & Domingue, J. O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11), 1593-1600.

Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, 10(6), 362.

McCuen, R. H. (2009). Uncertainty analyses of watershed time parameters. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(5), 490-498. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000015

Passini, R. (1914). *Relazione sulle modalità dei calcoli e sui risultati proposti per la sistemazione della rete idraulica della pianura bolognese*. Tipografia F.lli Pallotta.

Rodríguez-Carrillo, J. A., González-Trinidad, J., Silva-Avalos, R. U., Júnez-Ferreira, H. E., Moreno-Chavez, G., Robles-Rovelo, C. O., & Contreras-Rodríguez, A. R. (2025). Spatial rainfall estimation applying machine learning techniques in a semi-arid basin. *Journal of Hydroinformatics*, 27(1), 71-87.

Témez, J. R. (1978). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE LODOS PARA LA CONVERSIÓN DE UN SISTEMA DE LAGUNAS FACULTATIVAS A LODOS ACTIVADOS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE ZONAS ÁRIDAS

Paloma Fraire Galindo[1]*; Miguel Ángel Rodríguez Hinojos[2]

[1]Galvatek, Servicios de Acabados Electrolíticos, Gómez Palacio, Durango, México [2] Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento de Torreón, Torreón, Coahuila, México. *Autor de correspondencia: frairegalindopaloma@gmail.com

Introducción

En el norte árido de México el agua residual tratada forma parte del balance hídrico regional. La Comarca Lagunera depende de un acuífero sobreexplotado y de una precipitación escasa, de modo que el efluente de las plantas municipales tiene un destino directo en riego de áreas verdes y usos industriales. El lagunaje es una de las tecnologías de tratamiento más extendidas en el país (CONAGUA, 2021b), y su permanencia se explica por su bajo requerimiento energético y por la sencillez de su operación.

Los sistemas lagunares, sin embargo, ocupan superficies extensas y entregan un efluente con una concentración de sólidos y de materia orgánica mayor que la de un proceso de biomasa suspendida. Cuando el terreno se encarece o la norma de descarga se endurece, los organismos operadores evalúan la conversión a lodos activados. La comparación suele plantearse en términos de calidad de efluente y de superficie, y deja fuera una variable que condiciona la operación diaria: el lodo.

La diferencia entre ambos esquemas en este punto no es de grado sino de naturaleza. En una laguna facultativa el lodo se sedimenta en el fondo, se digiere de manera anaerobia en el propio vaso y se extrae en intervalos de varios años. En un sistema de lodos activados el fango se purga de manera continua y debe espesarse, estabilizarse, deshidratarse y disponerse todos los días, con la infraestructura y el costo que eso implica (CONAGUA, 2021a). Estimar cuánto lodo generaría la planta convertida es, por lo tanto, un insumo necesario para decidir la conversión y no un cálculo posterior al diseño.

La producción de lodo depende de la carga orgánica aplicada, de los sólidos suspendidos que entran al proceso biológico y del tiempo de retención celular con el que se opere (Metcalf & Eddy, 1995; Torrescano, 2009). Para una planta que todavía no existe, esas variables se estiman a partir de la caracterización del agua cruda y de coeficientes cinéticos reportados en la literatura, sin que sea posible apoyarse en mediciones del efluente.

El objetivo de este trabajo fue estimar la generación de lodo primario y secundario que resultaría de convertir a lodos activados convencionales un sistema de lagunas facultativas de una planta municipal de la Comarca Lagunera, a partir de la caracterización del influente realizada por un laboratorio acreditado, y evaluar el efecto de la variabilidad de la carga y del tiempo de retención celular sobre esa estimación.

Materiales y métodos

El estudio se realizó sobre el influente de una planta municipal de tratamiento de aguas residuales de la Comarca Lagunera que opera mediante lagunas facultativas, con un caudal del orden de 100 000 m³/d. Por acuerdo con el organismo operador, la instalación no se identifica.

Se emplearon los informes de ensayo de tres campañas de muestreo realizadas en marzo, abril y junio de 2025. El muestreo compuesto se integró conforme a la NOM-001-SEMARNAT-2021, con una fracción proporcional al caudal de cada muestra puntual. Los análisis fueron ejecutados por un laboratorio de ensayos acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación bajo la norma NMX-EC-17025-IMNC-2018.

Los parámetros considerados para la estimación y sus métodos de prueba fueron demanda bioquímica de oxígeno (NMX-AA-028-SCFI-2021), demanda química de oxígeno total (NMX-AA-030/2-SCFI-2011), sólidos suspendidos totales, volátiles y fijos (NMX-AA-034-SCFI-2015), nitrógeno total Kjeldahl (NMX-AA-026-SCFI-2010), flujo (NMX-AA-003-1980), pH (NMX-AA-008-SCFI-2016), temperatura (NMX-AA-007-SCFI-2013) y oxígeno disuelto (NMX-AA-012-SCFI-2001).

Las cargas másicas se obtuvieron como el producto del caudal por la concentración de cada parámetro. Para el tren propuesto se consideró un esquema convencional con sedimentador primario, reactor biológico de mezcla completa y clarificador secundario.

La producción de lodo primario se estimó con la expresión LPM = Q × SSTafl × E / 1000, con una eficiencia de remoción de sólidos suspendidos en el sedimentador primario de 55 %, valor intermedio del intervalo reportado para clarificación sin coagulación química (Metcalf & Eddy, 1995).

La producción neta de biomasa se estimó con la forma que expresa el rendimiento observado en función del tiempo de retención celular, $Px = (Y)(Sr) / (1 + kd \cdot \theta c)$, donde Y es el coeficiente de producción celular, Sr el sustrato removido, kd el coeficiente de decaimiento endógeno y θc el tiempo de retención celular. Esta formulación se eligió porque no requiere conocer la masa de microorganismos en el reactor, dato que no existe para una instalación aún no construida. Se emplearon Y = 0.67 kg SSV por kg de DBO removida y kd = 0.06 d^{-1}, reportados para plantas municipales (CONAGUA, 2021a).

El sustrato removido se calculó descontando a la carga de DBO5 del influente una remoción de 32 % en el sedimentador primario y aplicando una eficiencia de remoción biológica de 92 %. El lodo secundario total se obtuvo sumando a Px los sólidos suspendidos fijos que ingresan al reactor y restando los sólidos arrastrados en el efluente, estimados en 20 mg/L. El tiempo de retención celular se barrió entre 5 y 15 días, intervalo de operación de los lodos activados convencionales. Los volúmenes se calcularon considerando 4 % de sólidos en el lodo primario, 1 % en el lodo secundario purgado y 20 % en la torta deshidratada.

Resultados y discusión

El Cuadro 1 presenta la caracterización del influente en las tres campañas.

Cuadro 1. Caracterización del influente de la planta en las tres campañas de muestreo.

Parámetro	Marzo	Abril	Junio
Flujo (L/s)	1 200	1 100	1 310.25
pH (unidades)	7.4	7.1	7.0
Temperatura (°C)	23	27	32
Oxígeno disuelto (mg/L)	3.92	0.20	0.06
DBO5 (mg/L)	125.0	327.0	248.5
DBO5 soluble (mg/L)	58.2	243.0	149.5
DQO total (mg/L)	289	712	580
SST (mg/L)	136	196	220
SSV (mg/L)	96	152	199
SSF (mg/L)	40	44	21
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/L)	63.6	64.4	62.9
Fósforo total (mg/L)	5.95	11.19	9.93

La relación DBO5/DQO se mantuvo entre 0.43 y 0.46 en las tres campañas, lo que indica un sustrato de buena biodegradabilidad y respalda el uso de coeficientes cinéticos reportados para agua residual municipal. La fracción volátil de los sólidos suspendidos, en cambio, aumentó de 70.6 % en marzo a 90.5 % en junio, mientras el oxígeno disuelto del influente descendió de 3.92 a 0.06 mg/L y la temperatura pasó de 23 a 32 °C. El agua llega a la planta en condición progresivamente más séptica conforme avanza la temporada cálida, comportamiento esperable en un colector de zona árida con temperaturas elevadas y tiempos de residencia prolongados en la red.

El Cuadro 2 muestra las cargas másicas resultantes.

Cuadro 2. Cargas másicas del influente (kg/d).

Parámetro	Marzo	Abril	Junio
Caudal (m^3/d)	103 680	95 040	113 206
DBO5	12 960	31 078	28 132
SST	14 100	18 628	24 905
SSV	9 953	14 446	22 528
SSF	4 147	4 182	2 377
Nitrógeno total Kjeldahl	6 594	6 121	7 121

La carga orgánica se multiplicó por 2.4 entre marzo y abril, de 12 960 a 31 078 kg DBO5/d, y la carga de sólidos aumentó 77 % entre marzo y junio. Esta dispersión no proviene de la operación sino de lo que recibe el colector, y es la variable que gobierna cualquier estimación posterior.

El Cuadro 3 presenta la producción de lodo estimada para un tiempo de retención celular de 10 días.

Cuadro 3. Producción de lodo estimada para el tren propuesto (θc = 10 d).

Mes	Lodo primario (kg/d)	Lodo secundario (kg/d)	Total (kg/d)	Volumen húmedo (m³/d)	Torta al 20 % (m³/d)
Marzo	7 755	3 188	10 943	507	52
Abril	10 245	8 123	18 368	1 059	87
Junio	13 698	6 175	19 873	950	95

La generación total estimada se ubica entre 10.9 y 19.9 toneladas secas por día, equivalentes a un orden de 6 000 toneladas anuales. El tiempo de retención celular modifica de manera apreciable la fracción secundaria: al pasar de 5 a 15 días, la producción de lodo biológico disminuye entre 33 y 35 % en las tres campañas, de 3 971 a 2 652 kg/d en marzo y de 10 001 a 6 837 kg/d en abril. Dado que la carga de nitrógeno Kjeldahl se mantuvo por arriba de 6 000 kg N/d, un diseño que busque nitrificación requeriría situarse en el extremo alto de ese intervalo, con lo que se reduciría la producción de fango pero aumentaría de manera considerable la demanda de aireación.

El resultado más relevante para la decisión de conversión no es la magnitud absoluta sino el cambio en la naturaleza del manejo. El sistema lagunar actual acumula el lodo en el fondo de los vasos y lo extrae en intervalos de varios años. El esquema propuesto generaría entre 507 y 1 059 m³ diarios de lodo húmedo que deben espesarse y deshidratarse, y entre 52 y 95 m³ diarios de torta, equivalentes a cerca de cinco unidades de transporte de 15 m³ cada día del año. La conversión, por lo tanto, no reduce la generación de lodo: la transforma de un evento infrecuente en una operación continua que exige espesamiento, deshidratación, patio de maniobras, transporte y sitio de disposición. En una región con restricción hídrica y energética, esa carga operativa debe contrastarse con la ganancia en calidad de efluente y en superficie liberada.

La variabilidad observada tiene además una implicación de dimensionamiento. Entre marzo y abril la producción estimada casi se duplica, de modo que un tren de manejo de lodos diseñado con el valor promedio resultaría insuficiente durante los periodos de carga alta. El criterio de diseño debe apoyarse en el escenario máximo.

El alcance de esta estimación está acotado por tres condiciones que conviene declarar. Tres campañas distribuidas en cuatro meses no constituyen una serie anual y no capturan la variación estacional completa. Los coeficientes Y y kd, así como las eficiencias de remoción del sedimentador primario, proceden de la literatura y no fueron determinados con esta agua en particular. El tiempo de retención celular se trató como parámetro porque corresponde a una decisión de diseño aún no tomada. Los resultados deben leerse como una estimación de orden de magnitud orientada a la toma de decisión, y no como un valor de diseño definitivo.

Conclusiones

La conversión del sistema lagunar a lodos activados convencionales generaría entre 10.9 y 19.9 toneladas secas de lodo por día, con un volumen de torta deshidratada de entre 52 y 95 m³ diarios. La magnitud responde de manera directa a la carga del influente, que varió por un factor de 2.4 entre las campañas analizadas. El tiempo de retención celular es la variable de diseño con mayor influencia sobre la fracción biológica del lodo, con una reducción cercana a un tercio al pasar de 5 a 15 días. La carga de nitrógeno Kjeldahl, superior a 6 000 kg N/d, orienta el diseño hacia el extremo alto de ese intervalo si se pretende nitrificar.

La decisión de conversión no debe evaluarse únicamente por la calidad del efluente y la superficie ocupada. El cambio implica sustituir una extracción de lodo espaciada en años por una operación diaria de espesamiento, deshidratación, transporte y disposición, con el costo energético y logístico correspondiente. En zonas áridas, donde el agua residual tratada es parte del abasto y la disponibilidad energética es una restricción real, ese contraste debe formar parte explícita del análisis.

Se recomienda ampliar la caracterización a un ciclo anual completo y determinar de manera experimental los coeficientes Y y kd mediante un ensayo de tratabilidad del agua cruda a escala de laboratorio, con el fin de sustituir los valores de literatura por parámetros propios del sitio.

Referencias

Comisión Nacional del Agua. (2021a). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Tratamiento y disposición de lodos. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*.

Comisión Nacional del Agua. (2021b). Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*.

Metcalf & Eddy. (1995). Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. *McGraw-Hill Interamericana de España*.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2021). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. *Diario Oficial de la Federación*.

Torrescano, J. L. (2009). Parámetros de operación en el proceso de tratamiento de agua residual por lodos activados. *Aquaforum*, 13(52), 14–19.

ESTABILIZACIÓN DEL MONITOREO DEL FLUJO EN UN REACTOR PARA TRATAMIENTO DE AGUA DE USO AGRÍCOLA CONTAMINADA CON FENOLES

David Edrei Clingan Bretado[1]*, Mayra Denise Herrera[2], Leo Alvarado Perea[3], Valentín Melero Meraz[2]

[1]Universidad Autónoma de Zacatecas, Posgrado en Ingeniería y Tecnología Aplicada, Av. Ramón López Velarde No. 801, Col. Centro, Zacatecas, México. C.P. 98000. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Carretera Zacatecas-Fresnillo, km. 24.5, Calera de V.R., Zacatecas, México. C.P. 98500. [3]Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ciencias Químicas, Carretera Zacatecas-Guadalajara km. 6, La Escondida, Zacatecas, México. C.P. 98160. *Autor de Correspondencia: edrei.clingan@gmail.com

Introducción

Debido al crecimiento demográfico, los avances agrícolas y la rápida industrialización, se liberan al medio ambiente contaminantes de baja concentración, pero con una toxicidad significativa (Zhong et al., 2018). Está ampliamente reconocido que los efluentes agrícolas, industriales y municipales constituyen las principales fuentes de una cantidad significativa de estas toxinas en el medio ambiente. Asimismo, la descarga de estos efluentes ha provocado la contaminación del agua (Ahmaruzzaman et al., 2024). Los compuestos fenólicos, productos farmacéuticos, insecticidas, tensioactivos y hormonas son solo algunas de las toxinas clasificadas como contaminantes orgánicos persistentes. De estos, los fenoles se encuentran entre los principales contaminantes del agua a nivel mundial (Ladeia-Ramos et al., 2024). Constituyen una amplia categoría de químicos orgánicos presentes en la naturaleza que, si bien desempeñan diversas funciones benéficas en las plantas y contribuyen al sabor, color y propiedades antioxidantes de algunos alimentos, su liberación indiscriminada en el ambiente plantea problemas importantes debido a sus efectos perjudiciales para la salud y los ecosistemas (Zhong et al., 2018).

En consecuencia, comprender los efectos toxicológicos de los compuestos fenólicos y desarrollar métodos eficientes para eliminarlos del agua se han convertido en temas de investigación fundamentales en la ciencia y la ingeniería ambiental. Debido a su naturaleza persistente, incluso cantidades mínimas de compuestos fenólicos representan graves amenazas para la vida terrestre y acuática (Ladeia-Ramos et al., 2024). Ante esta problemática, el desarrollo de tecnologías capaces de favorecer la degradación y eliminación de compuestos fenólicos constituye una alternativa para mejorar la calidad del agua y ampliar sus posibilidades de aprovechamiento agrícola posterior. En este contexto, se ha empleado un reactor CVD como sistema para el tratamiento de agua contaminada con fenoles. Su funcionamiento requiere el suministro controlado de un flujo gaseoso, por lo que el monitoreo de esta variable representa un aspecto relevante para mantener condiciones de operación reproducibles. Actualmente, la regulación del flujo se realiza de forma manual. Para la automatización, se ha propuesto el uso de microflujómetros (Lingadahalli et al., 2023); sin embargo, su adopción generalizada sigue viéndose limitada por desafíos relacionados con la estandarización en la estabilización del monitoreo. El objetivo del presente estudio fue evaluar una estrategia de adquisición intermitente basada en ciclos de energización y reposo de un sistema óptico, con el propósito de reducir la deriva de la señal en un sensor-fotoresistor, y establecer condiciones de lectura estables y reproducibles para el monitoreo del flujo gaseoso utilizado en el reactor.

Materiales y métodos

Sistema de detección óptica e Índice de Obstrucción Óptica (IOO). El sistema de detección óptica consta de un LED de luz visible y una fotorresistencia situados en lados opuestos de un microflujómetro de área variable. El LED actúa como fuente de luz y está sujeto y posicionado al microflujómetro por medio de un colimador, mientras que la fotorresistencia detecta la intensidad de la luz transmitida (Figura 1).

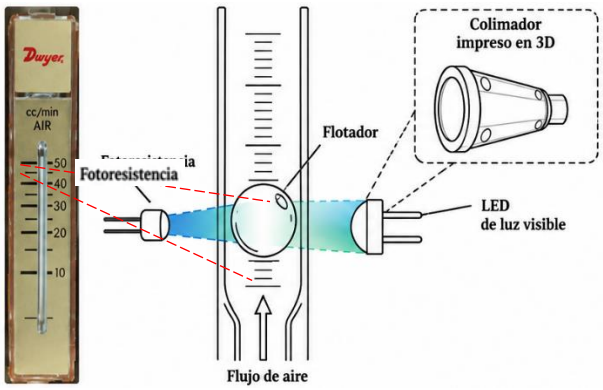


Figura 1. Sistema de sensado óptico.

El Índice de Obstrucción Óptica (IOO) se definió como la diferencia entre la señal digital de la fotorresistencia en condiciones sin obstrucción y la señal digital registrada cuando el flotador del microflujómetro intercepta el haz de luz, según la Ec. (1):

$$IOO = S_u - S_o \qquad (1)$$

Dónde: *Su* es la señal digital de la fotorresistencia en condiciones sin obstrucciones y *So* es la señal digital medida cuando el flotador del microflujómetro intercepta el haz de luz (obstrucción). Valores de IOO más altos indican una mayor atenuación de la luz que llega a la fotorresistencia debido a que el flotador obstruye el haz de luz (Figura 2).

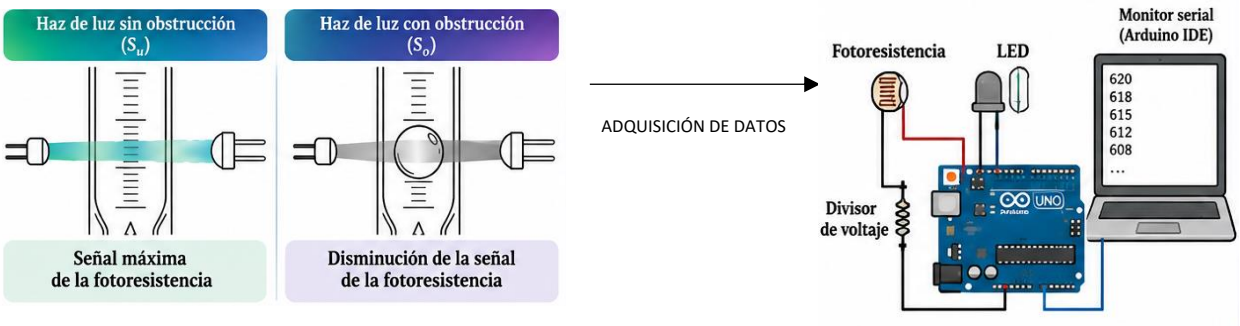


Figura 2. Principio de funcionamiento del sistema óptico y adquisición de datos.

Cabe resaltar que en la optimización de la geometría del colimador por medio de la metodología de superficie de respuesta (Clingan Bretado et al., 2026) se identificó que la energización continua del sistema óptico produce una deriva en la señal del fotoresistor, por lo que la estabilización de la operación mediante ciclos de encendido y reposo puede mejorar la repetibilidad de la señal.

Programación de Arduino. Las lecturas ópticas se adquirieron mediante un circuito electrónico acondicionado en protoboard y controlado mediante un Arduino Uno. La etapa emisora estuvo constituida por un LED alimentado desde un pin digital con modulación por ancho de pulso (PWM) y una resistencia limitadora de 220 Ω, mientras que la etapa receptora empleó un fotoresistor (LDR) configurado como divisor de tensión con una resistencia fija de 10 kΩ conectada a tierra (GND). Con el propósito de evaluar la estabilidad de la señal y reducir la deriva observada durante la energización continua, el divisor de tensión no se conectó permanentemente a la línea de 5 V, sino que se energizó de manera intermitente mediante un pin digital del Arduino. La adquisición se programó en Arduino IDE mediante ciclos sucesivos de energización, lectura y reposo.

En cada ciclo, el LED se energizó 20 milisegundo (ms) antes del divisor de tensión del LDR y se mantuvO energizado durante tiempos de estabilización. Posteriormente, la señal analógica del fotoresistor se registró a través del pin A0. Inmediatamente después de la lectura, los pines correspondientes al LED y a la alimentación del divisor se establecieron en estado bajo (LOW), interrumpiendo la circulación de corriente durante periodos de circuito abierto antes de iniciar un nuevo ciclo de adquisición.

Diseño Experimental. Se utilizó un diseño experimental factorial completo para evaluar el efecto de cambios en la programación del circuito para toma de lectura y cálculo del IOO. Se consideraron dos factores de diseño: el tiempo de estabilización y el tiempo de enfriamiento, evaluándose cada uno en tres niveles. Los niveles del primer factor fueron 800, 1000 y 1200 ms, mientras que los niveles del segundo factor fueron 100, 500, 1000, 2000 y 5000 ms. La combinación de ambos factores dio lugar a nueve tratamientos experimentale. Para cada tratamiento, se realizaron 20 mediciones independientes del IOO en una habitación oscura con el fin de minimizar el efecto de la luz ambiental en el sistema de detección óptica. El promedio de estas mediciones se utilizó como el valor representativo del IOO para el análisis estadístico.

Análisis estadístico. Se empleó un diseño factorial analizado mediante ANOVA, considerando diferencias significativas con un valor de probabilidad menor a 0.05 ($p < 0.05$) a un nivel de confianza del 95%. La comparación de medias se realizó utilizando la prueba de Tukey con el paquete estadístico JMP (v 5.0.1).

Resultados y discusiones

El IOO presentó diferencias entre las combinaciones evaluadas de tiempo de estabilización y tiempo de circuito abierto (Figura 3). El tiempo de estabilización tuvo un efecto evidente sobre la magnitud de la respuesta óptica. Los tratamientos correspondientes a 1000 ms presentaron los menores valores de IOO, mientras que al incrementar este factor a 1200 ms se obtuvieron las respuestas más altas. Por su parte, las variaciones asociadas con el tiempo de circuito abierto fueron menos pronunciadas dentro de cada nivel de estabilización. Las diferencias significativas muestran que la programación temporal del circuito modifica la respuesta del sistema. Este comportamiento resulta relevante debido a que las condiciones de adquisición y las características del sensor pueden influir directamente sobre la calidad de la señal en sistemas destinados a la medición de microflujos (Lingadahalli Kotreshappa et al., 2023).

El coeficiente de variación permitió complementar el análisis mediante la evaluación de la repetibilidad de las mediciones realizadas para cada tratamiento (Figura 4). En general, los CV fueron bajos, indicando una reducida dispersión de las lecturas respecto a sus respectivas medias. Cabe resaltar que el CV del experimento de la optimización de la geometría de los colimadores fue de 0.83 (hasta 800% mayor al menor CV observado en este experimento). Destaca que el tratamiento que produjo el mayor IOO presentó también un CV de 0 %, al no detectarse variación entre sus mediciones. Dentro de la resolución del sistema de adquisición utilizado, esta condición presentó, por tanto, la mayor respuesta óptica acompañada de una alta repetibilidad. El CV constituye una medida relativa de dispersión y permite comparar la variabilidad de mediciones repetidas respecto a su magnitud media (Horwitz et al., 1980).

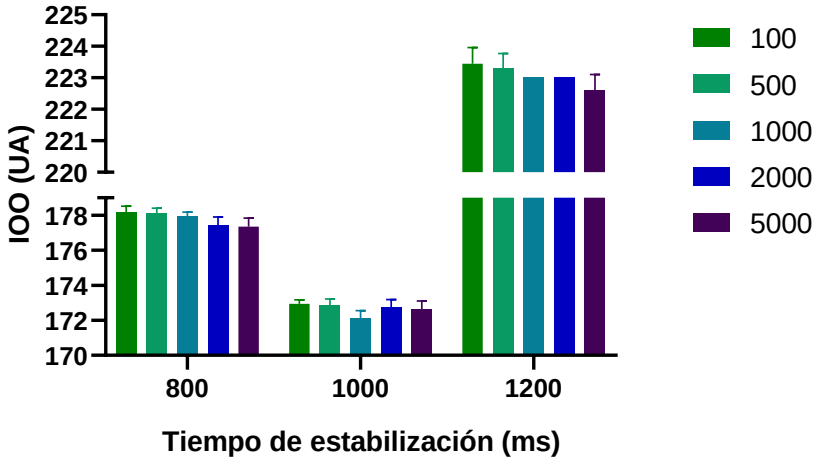


Figura 3. Índice de obstrucción óptica bajo diferentes tratamientos de programación de circuito. Los datos se muestran como la media ± DE. Letras diferentes entre barras indican diferencia significativa ($p < 0.05$) con la prueba de Tukey.

El análisis conjunto del OOI y del CV permitió identificar una condición favorable tanto en magnitud como en estabilidad de la señal. Esta coincidencia es particularmente importante para el objetivo del estudio, ya que una mayor diferencia de señal favorece la identificación de la obstrucción óptica, mientras que una menor variabilidad incrementa la confiabilidad de las lecturas sucesivas.

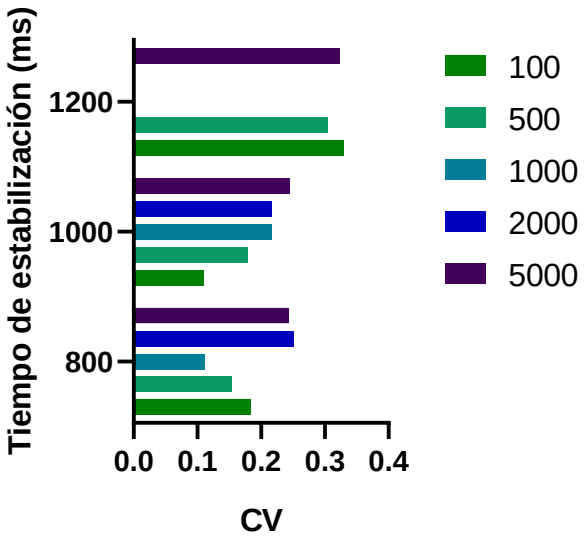


Figura 4. Coeficiente de variación (CV) del Índice de Obstrucción Óptica (OOI) para las 15 combinaciones de tiempo de estabilización y tiempo de enfriamiento. Cada CV se calculó a partir de 20 ciclos de medición por tratamiento. Valores menores de CV indican una mayor repetibilidad de la respuesta óptica.

No obstante, para establecer la condición de operación más conveniente también debe considerarse el tiempo de circuito abierto, debido a que periodos prolongados entre mediciones disminuyen la frecuencia de adquisición. En consecuencia, la selección del tratamiento debe considerar conjuntamente la respuesta óptica, su repetibilidad y la capacidad de mantener una frecuencia de monitoreo adecuada para la operación del reactor.

Finalmente, aunque la apertura periódica del circuito estuvo asociada con cambios en la estabilidad de la señal, estos resultados no permiten atribuir dicho comportamiento directamente al enfriamiento del fotoresistor, debido a que la temperatura no fue medida. Por ello, el efecto observado se interpreta como una respuesta a la estrategia temporal de adquisición. Los resultados permiten establecer condiciones reproducibles de lectura y constituyen una base para la implementación del sistema en el monitoreo del flujo del reactor destinado al tratamiento de agua contaminada con fenoles.

Conclusiones

El diseño factorial permitió establecer una combinación adecuada de tiempos de circuito abierto (enfriamiento) y cerrado (estabilización y lectura) que mejoró la estabilidad y reproducibilidad de la señal, reduciendo la deriva asociada a la operación continua del sistema de monitoreo. La estrategia de adquisición intermitente constituye una alternativa viable para el seguimiento confiable del flujo gaseoso y representa un avance hacia la automatización del reactor empleado para el tratamiento de agua contaminada con fenoles y su potencial uso agrícola.

Referencias

Ahmaruzzaman, M., Mishra, S. R., Gadore, V., Yadav, G., Roy, S., Bhattacharjee, B., Bhuyan, A., Hazarika, B., Darabdhara, J., & Kumari, K. (2024). Phenolic compounds in water: From toxicity and source to sustainable solutions-An integrated review of removal methods, advanced technologies, cost analysis, and future prospects. Journal of Environmental Chemical Engineering, 12(3), 112964. https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112964

Clingan Bretado, D.E., Esquivel-Corona, Y.A., Romero-De León L.A., Talavera-López, A., Solís-Sánchez, L.O., Alvarado-Perea, L. (2026). Optimization of 3D-printed collimator geometry for float detection in variable-area microflowmeters. IEEE Sensors Journal, In press.

Horwitz, W., Kamps, L. R., & Boyer, K. W. (1980). Quality assurance in the analysis of foods and trace constituents. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists, 63*(6), 1344–1354.

Ladeia Ramos, R., Moreira, V. R., & Amaral, M. C. S. (2024). Phenolic compounds in water: Review of occurrence, risk, and retention by membrane technology. Journal of Environmental Management, 351, 119772. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119772

Lingadahalli Kotreshappa, S., Nayak, C. G., & Krishnan Venkata, S. (2023). A review on the role of microflow parameter measurements for microfluidics applications. Systems, 11(3), 113. https://doi.org/10.3390/systems11030113

Zhong, W., Wang, D., & Wang, Z. (2018). Distribution and potential ecological risk of 50 phenolic compounds in three rivers in Tianjin, China. Environmental Pollution, 235, 121–128. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.037

MICROREGIONALIZACIÓN CON CRITERIOS DE ARIDEZ, SEQUÍA Y FISIOGRAFÍA PARA LA PLANEACIÓN EN EL USO Y MANEJO DE LOS RECURSOS AGUA Y SUELO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO AGUANAVAL, ZACATECAS, MÉXICO.

Yahsalem Esparza Reyes*, Regina Cervantes Cervantes, Ingrid Estefania García Cárdenas, Itzel Pérez Torres, Aurelio Pedroza Sandoval.

Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Km. 40 Carr. Gómez Palacio - Chihuahua Bermejillo, Durango, México C.P. 35230. *Autor de correspondencia: al21100429@chapingo.mx

Introducción

El cambio climático y la variabilidad meteorológica determinan la productividad de los agroecosistemas, especialmente en las zonas áridas y semiáridas de México. Las sequías, inundaciones y olas de calor afectan el rendimiento de los cultivos y la seguridad alimentaria (Lluch et al., 2022). En este contexto, el agua es una de las principales limitantes agrícolas, pues el sector concentra entre el 60 y 90% del uso total del recurso hídrico en países en desarrollo (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2014). La sequía es un déficit prolongado de precipitación que afecta la producción agrícola y la disponibilidad de agua superficial y subterránea. En México, sus efectos incluyen menores rendimientos y migración rural (Ortega & Velasco, 2013). Las regiones áridas del norte, como Durango, Zacatecas y Coahuila, presentan presión sobre los recursos hídricos y vulnerabilidad ecológica, por lo que requieren estrategias integrales de planeación territorial y ambiental (Pedroza Sandoval et al., 2014). La subcuenca del río Aguanaval, ubicada principalmente en Zacatecas y perteneciente a la Región Hidrológica Nazas-Aguanaval, concentra una amplia superficie de agricultura de temporal, además de escasez de agua y sobreexplotación de acuíferos (CONAGUA, 2014). La microregionalización divide el territorio en áreas con características comunes de aridez, sequía, suelo y vegetación, permitiendo identificar su vulnerabilidad y orientar acciones para el uso sustentable del agua y suelo (Pedroza Sandoval et al., 2023; Arteaga & Burbano, 2018). El objetivo de este trabajo fue delimitar microrregiones en la subcuenca del río Aguanaval mediante estos criterios, para orientar la planeación del uso y manejo de los recursos agua y suelo.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la subcuenca del río Aguanaval, Zacatecas, en los municipios de Fresnillo, Río Grande, Juan Aldama, Miguel Auza, Sain Alto, Sombrerete (valles bajos), Cañitas de Felipe Pescador, Villa de Cos y General Francisco R. Murguía. Se utilizaron datos de 17 estaciones meteorológicas del periodo 1991–2020, sin valores atípicos y con al menos 75% de información completa.

Se empleó QGIS Desktop v.3.40.15 para elaborar los mapas de las zonas de interés mediante el método de interpolación de ponderación por el inverso de la distancia (IDW, por sus siglas en inglés). La microregionalización se realizó mediante la integración de cuatro criterios: grado de aridez, intensidad de sequía anual, tipo de suelo y vegetación dominante, con las normales climatológicas del SMN (2024), periodo 1991–2020, se calcularon la aridez mediante el índice de Emberger modificado por Stretta y Mosiño (1963), y la sequía con modificaciones. Los datos de suelo y vegetación se obtuvieron de (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2021)., mediante las capas de Edafología 1:250000 y 1:1000000, y Uso del suelo y vegetación 1:250000, serie VII. Los mapas de aridez, sequía anual, vegetación dominante y suelo se integraron mediante el operador booleano AND.

Resultados y discusión

Tipo de suelos y vegetación dominante. El área de estudio comprende 25,663.27 km²; predominan los suelos Phaeozem (31%), Leptosol (20.2%), Calcisol (18%) y Regosol (9.6%). El uso del suelo está dominado por agricultura de temporal anual (29.93%) y agricultura de riego anual (4.80%); los asentamientos humanos representan 0.68%. La vegetación comprende vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural (15.38%), matorral desértico micrófilo (11.83%) y vegetación secundaria arbustiva de matorral desértico micrófilo (11.17%), entre otras.

Estas diferencias muestran que las condiciones del suelo y la vegetación no son uniformes dentro del área de estudio. Por ello, las prácticas de manejo deben considerar las características de cada zona. La distribución obtenida puede servir como base para orientar acciones de conservación del suelo y la vegetación.

Grado de aridez. El área presenta dos grandes subregiones: B2, correspondiente a las zonas menos áridas de las zonas áridas, y A3, correspondiente a las zonas más áridas de las zonas semiáridas, de acuerdo con la escala de Stretta y Mosiño (1963). La presencia de ambas subregiones permite reconocer diferencias en las condiciones de aridez del territorio. Estas diferencias deben considerarse al planear las actividades agrícolas y el aprovechamiento del agua, particularmente en las zonas donde predomina la agricultura de temporal.

Sequía anual. De las estaciones, 8.86% presenta intensidad de sequía alta, 64.70% moderada, 8.8% media y 17.64% mínima o nula. La presencia de sequía es relevante en una región con amplia superficie de agricultura de temporal, debido a su dependencia de las lluvias y a su sensibilidad ante periodos prolongados de déficit hídrico, en concordancia con Ortega-Gaucín y Velasco (2013) y Pedroza et al. (2014). Por ello, conocer la intensidad de sequía ayuda a identificar zonas que requieren mayor atención en el manejo del agua.

Microregionalización. La integración de aridez, sequía, vegetación y tipo de suelo generó 20 microrregiones con características diferenciadas (Figura 1; Cuadro 1). La delimitación obtenida evidenció la heterogeneidad ambiental del área de estudio y permite reconocer zonas con distintas necesidades de manejo. Esto coincide con Pedroza et al. (2023), quienes consideran la microregionalización una herramienta para integrar variables ambientales y orientar el manejo sustentable de los recursos naturales.

Las diferencias entre microrregiones sugieren que algunas zonas podrían requerir mayor atención en la conservación y aprovechamiento del agua, mientras que otras podrían necesitar prácticas específicas de conservación del suelo. Por ello, la delimitación puede apoyar una planeación territorial acorde con las condiciones de cada zona, coincidiendo con Arteaga y Burbano (2018) respecto a la planificación territorial y la resiliencia de los sistemas productivos.

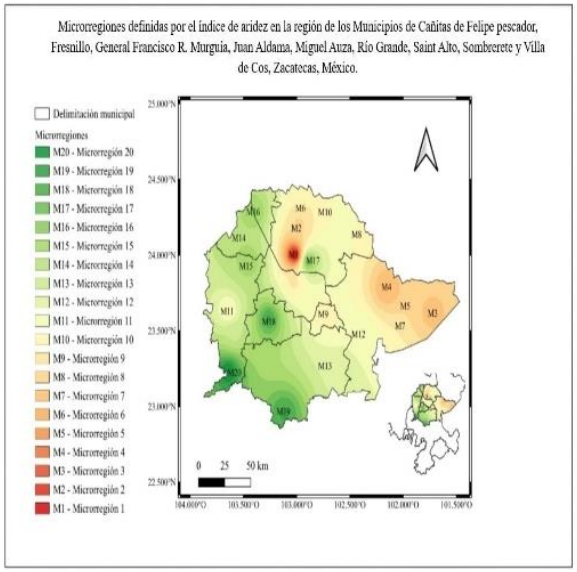


Figura 1. Microrregiones resultantes de la integración de criterios de aridez, sequía, tipos de suelo y vegetación.

Cuadro 1. Micro regiones resultantes con la integración de criterios de aridez, sequía y fisiografía para un mejor direccionamiento en el uso y manejo de los recursos naturales en la región.

Microrregión	Índice de aridez	Grado de aridez	Clasificación de sequía	Vegetación dominante	Tipo de suelo
M1	B2	La menos árida de las zonas áridas	Moderada	Agricultura de temporal anual/vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural	Phaeozem
M2	B2	La menos árida de las zonas áridas	Moderada	Vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural	Phaeozem/ leptosol
M3	B2	La menos árida de las zonas áridas	Moderada	Matorral desértico micrófilo/agricultura de temporal anual	Phaeozem/ chernozem
M4	B2	La menos árida de las zonas áridas	Nulo	Vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural/vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural	Leptosol/ Phaeozem
M5	B2	La menos árida de las zonas áridas	Moderada	Matorral desértico micrófilo	Phaeozem/ kastanozem
M6	B2	La menos árida de las zonas áridas	Media	Agricultura de temporal anual/vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule	Regosol/ phaeozem
M7	B2	La menos árida de las zonas áridas	Nulo	Agricultura de temporal anual/matorral desértico micrófilo	Calcisol
M8	B2	La menos árida de las zonas áridas	Media	Matorral desértico micrófilo/pastizal inducido	Calcisol/ regosol
M9	B2	La menos árida de las zonas áridas	Nulo	Agricultura de temporal anual/vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural	Kastanozem/calcisol
M10	B2	La menos árida de las zonas áridas	Media	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de mezquite/vegetación secundaria arbustiva de matorral desértico micrófilo	Leptosol/ Calcisol
M11	B2	La menos árida de las zonas áridas	Moderada	Vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural/pastizal inducido	Leptosol/ Regosol
M12	B2	La menos árida de las zonas áridas	Moderada	Vegetación secundaria arbustiva de matorral desértico micrófilo/agricultura de temporal anual	Phaeozem/ calcisol
M13	B2	La menos árida de las zonas áridas	Nulo	Agricultura de temporal anual/matorral desértico micrófilo	Kastanozem/phaeozem
M14	B2	La menos árida de las zonas áridas	Moderada	Agricultura de temporal anual/pastizal natural	Phaeozem/ cambisol
M15	B2	La menos árida de las zonas áridas	Moderada	Agricultura de temporal anual/vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural	Phaeozem/ fluvisol
M16	B2	La menos árida de las zonas áridas	Moderada	Agricultura de temporal anual/vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural	Chernozem/ phaeozem
M17	A3	La más árida de las zonas semiáridas	Moderado	Vegetación secundaria arbustiva de matorral desértico micrófilo/matorral desértico micrófilo	Calcisol
M18	A3	La más árida de las zonas semiáridas	Moderada	Vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural/agricultura de temporal anual	Leptosol
M19	B2	La menos árida de las zonas áridas	Alta	Agricultura de temporal anual y permanente/pastizal natural	Kastanozem/phaeozem
M20	A3	La más árida de las zonas semiáridas	Moderada	Agricultura de temporal anual/pastizal natural	Phaeozem/ luvisol

Conclusión

La microregionalización integró las principales características climáticas, edáficas y de vegetación del área de estudio y permitió reconocer diferencias importantes dentro del territorio. La delimitación obtenida constituye una herramienta para comprender las condiciones ambientales de la subcuenca y distinguir áreas con diferentes necesidades de manejo. La información generada puede servir como base para orientar estrategias de conservación del suelo y la vegetación, manejo eficiente del agua y planeación de actividades agrícolas, contribuyendo al aprovechamiento adecuado de los recursos naturales y a la toma de decisiones según las condiciones particulares de cada zona.

Referencias

Arteaga, L. E., & Burbano, J. E. (2018). Efectos del cambio climático: Una mirada al campo. *Revista de Ciencias Agrícolas*, *35*(2), 79–91. https://doi.org/10.22267/rcia.183502.93

Comisión Nacional del Agua. (2014). Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía (PMPMS) en el Consejo de Cuenca Nazas-Aguanaval. Universidad Juárez del Estado de Durango. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99938/ PMPMS_CC _Nazas-Aguanaval.pdf

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2021). *Edafología y uso de suelo y vegetación, escalas 1:250 000 y 1:1 000 000* [Conjunto de datos geográficos].

Lluch-Cota, S. E., Velázquez-Zapata, J. A., & Nieto-Delgado, C. (2022). Agricultura, agua y cambio climático en zonas áridas de México*. Recursos Naturales y Sociedad, 8(2),* 35–47. https://doi.org/10.18846/renaysoc.2022.08.08.02.0004

Ocampo, O. (2011). El cambio climático y su impacto en el agro. *Revista de Ingeniería*, (33), 115–123. https://doi.org/10.16924/revinge.33.11

Ortega-Gaucín, D., & Velasco, I. (2013). Aspectos socioeconómicos y ambientales de las sequías en México. *Aqua-LAC, 5*(2), 78–90. https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2013-v5-2-08

Pedroza Sandoval, A., Sánchez Cohen, I., Becerra López, J. L., Ramos Cortez, E., Reyes Bernabé, C., Rosales Palacios, L. V., & Vargas Piedra, G. (2014). Regionalización de zonas con escaso régimen pluvial: Estudio de caso zona centro-norte del estado de Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, 13*(2), 71–85. https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2013.03.01

Pedroza-Sandoval, A., Yáñez-Chávez, L. G., Sánchez-Cohen, I., & Trejo-Calzada, R. (2023). La micro regionalización como base de planeación para un mejor uso del suelo y agua en zonas áridas. En *VIII Congreso Nacional y I Congreso Internacional de Riego, Drenaje y Biosistemas* (Artículo COMEII-23042). https://www.riego.mx/congresos/comeii2023/assets/docs/thematicPresentations-Summary/23042_Aurelio_Pedroza_r.pdf

AGENTES CONTAMINANTES MICROBIANOS EN LA PROPAGACIÓN DE *Agave pintilla, A. nickelsiae, A. durangensis* y *A. tequilana* CON SIT

Gisela Muro Pérez[1*], Erson Alfredo Castañeda Mendez[1], Jaime Sánchez Salas[1], Luis Manuel Valenzuela Nuñez[1], Jorge Sáenz Mata[1], Ixchel Abby Ortiz Sánchez[2]

[1]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas, Av. Universidad s/n, Núcleo Universitario, col. Filadelfia, C.P. 35010. Gómez Palacio, Dgo. México. [2]Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana. Departamento de Análisis de suelos, Durango. C.P. 34371. Dgo. México. *Autor de Correspondencia: giselamuro@ujed.mx

Introducción

El género *Agave* pertenece a la familia *Asparagaceae*, el cual es distribuido en todo el Continente Americano (*Gentry*, 1982). Se utiliza tallo, flor y frutos como fuente de alimento, bebida, medicina, adornos, fibras, combustibles y fertilizantes. Además, el escapo floral y sus fibras se aplican en la construcción de casas, como implementos agrícolas y las flores son muy valoradas en la alimentación humana (*García-Mendoza*, 2007), por lo que se consideran plantas de importancia social, económica y ecológica, que prosperan en diversos ecosistemas.

Se han desarrollado distintos tipos de propagación de este género partiendo de esqueje y semilla, pero debido a su largo tiempo de madurez (8 a 10 años), se ha buscado otro tipo de reproducción para optimizar su desarrollo de una forma más eficiente, por lo que se han aplicado diversas técnicas de micropropagación (González y Gordon 2015; Torres et al., 2015). El Sistema de Inmersión Temporal (SIT), provee una mejora al método tradicional de micropropagación, ya que se logra una semi-automatización para una alta producción, permitiendo una reducción de problemas fisiológicos y reducción de gastos (Bello Bello et al., 2019). Por lo que aplicar un SIT en la micropropagación del *Agave* es un paso a la mejora del cultivo debido a la demanda (*Basail Pérez* et al., 2013), reduciendo así el interés por la extracción ilegal de los ejemplares; ya que estas especies se encuentran como amenzadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (*Peñate* et al., 2007).

La principal característica de los SIT es que la automatización es posible gracias al uso de medio líquido, donde el explante no se mantiene fijo, sino en contacto total, expresado en un mayor número de brotes (Rosales et al., 2017; Werner et al., 2018; Bello Bello et al., 2019). El objetivo fue determinar los agentes contaminantes microbianos en la propagación de *A. pintilla*, *A. nickelsiae*, *A. durangesis* y *A. tequilana* mediante el sistema de inmersión temporal (SIT).

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el laboratorio de Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UJED. El biorreactor se realizó con la técnica de *Ebb-Flow*. El sistema está conformado por una estantería, la cual se encuentra con dos niveles asignados a los explantes y dos niveles para los recipientes con los medios; para los niveles de los frascos se tienen integradas dos lámparas con un fotoperiodo de 18/6 (Debnath 2017).

Cuarentena de plantas madre. Las plantas se colocaron en una cuarentena dentro del laboratorio de Botánica (Roca y Mroginski,1991). Posteriormente las plantas se incubaron a 24 ± 2 °C en condiciones ambientales durante 14 días (González y Gordon 2015). El experimento constó en dos etapas: etapa 0: Selección de planta madre y etapa 1: Establecimiento de cultivos.

Para la desinfección de los explantes, se llevaron a cabo seis tratamientos: t.1 (jabón para trastes), t. 2 (jabón, alcohol y cloro), t. 3 (plata coloidal), t. 4 (fungicida), t. 5 (cloro) y t. 6 (fungicida y jabón). Se identificaron los recipientes con crecimiento de agentes contaminantes. Cada tercer día se hizo una siembra nueva tomando muestra de cada colonia bacteriana u hongo que se presentará hasta completar el aislamiento del organismo. Para la identificación de los agentes contaminantes se realizó atraves de la extracción del ADN. Se aplicó una factorial de 4x3, en la que se evaluó la respuesta de los cortes y meristemos a los lavados, con un orden totalmente al azar, teniendo tres tratamientos y grupos con cuatro individuos cada uno. Los datos se evaluaron con ANOVA y prueba de Tuckey.

Resultados y discusión

Se realizaron distintas metodologías en cuanto a la desinfección de los explantes debido a la respuesta obtenida tras su aplicación, ya que al no existir reportes específicos de estas especies es necesaria la búsqueda de un tratamiento. T. 1 (jabón para trastes) *Agave pintilla* 10 ejemplares viables, *Agave nickelisiae* 8, *Agave duranguensis* 6, *Agave tequilana* 4. T. 2 (jabón, alcohol y cloro) *Agave duranguensis* 2 y *Agave tequilana* 2. T. 3 (plata coloidal) *Agave pintilla* 3, *Agave nickelsiae* 8, *Agave durangensis* 6. T. 4 (fungicida) *Agave pintilla* 2, *Agave duranguensis* 8 y *Agave tequilana* 3. T. 5 (cloro) *Agave pintilla* 4, *Agave nickelsiae* 8 y *Agave duranguensis* 6 y T. 6 (fungicida y jabón) *Agave pintilla* con 4, *Agave nickelsiae* 8, *Agave duranguensis* 6. Se obtuvieron los valores para realizar análisis ANOVA. Se realizó una identificación fisionómica de organismos contaminantes donde se encontraron bacilos y hongos fitopatógenos (Figura 1).

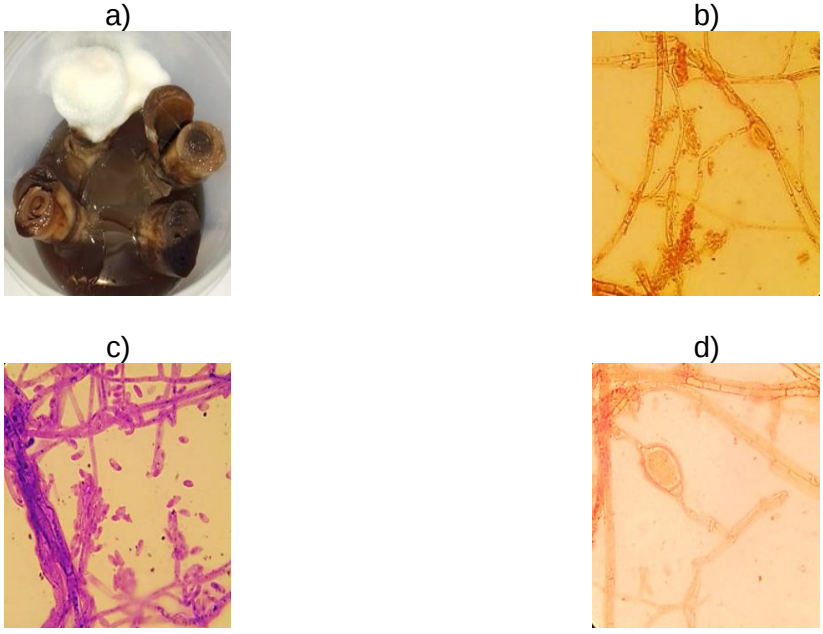


Figura 1. a) Cortes de *Agave tequilana* con presencia de hongo algodonoso y blanco. b) Tinción con safranina, micelio septado junto a diversas formaciones de tricoginas. c) Tinción con azúl de metileno, esporas cilíndricas. d) Tinción con safranina, formación de tricogina en contacto con micelio para su reproducción sexual.

De acuerdo a De Souza (2004) y Cornejo (2006), se confirmó la presencia del material genético de hongos. De igual manera Ramírez-Rojas (2016) identifica bacterias aisladas de plantas ornamentales producidas *in vitro* como en el presente estudio. El material genético se aisló, purificó y secuenció por PCR, depositados en GenBank y analizados por blast de 16s para bacterias y 5-6 ITS en hongos. En cuanto a bacterias, las que se presentaron llegan a tener distinto efecto sobre plantas, como lo demuestra Hernández et al, 2015 con *Enterobacter* comprobando su efecto en el desarrollo vegetativo y rendimiento de plantas de maíz; Orozco-Martínez, 2020 prueba en sus estudios cómo distintas plantas tienen actividades microbianas contra *Staphylococcus epidermis*, pero no se tiene registro de su presencia en plantas, ya que es patógena en humanos; Elvia et al, 2008 encontraron que *Pantoea spp.* es capaz de solubilizar compuestos de fósforo de gran beneficio nutrimental para plantas. Por otra parte, *Fusarium* tiene distintas características por las cuales se puede identificar, ya que es un hongo de importancia fitológica produciendo marchitamientos vasculares, manchas, pudrición de raíces, tallos, frutos, granos y semillas. Cuenta con un gran número de plantas hospedantes y en específico *Fusarium oxysporum* ocasiona una de las mayores amenazas económicas por su capacidad de atacar cultivos agrícolas y provocar su muerte debido a su crecimiento endófito y generación de colonias como mencionan Nelson (1990), Torres (2000) y Leslie (2006).

Conclusiones

Entre los pliegues y la dermis de *A. tequilana* y *A. durangensis* se alojan esporas hidrofílicas (*Fusarium* y *Cladosporium*). La persistencia de estos agentes se debe a la capacidad de crecimiento endofítico de los hongos y bacterias presentes. *A. pintilla* y *A. nickelsiae* presentaron mayor resistencia contra agentes contaminantes posiblemente por tener una dermis lisa y cerosa. El uso de jabón lavatrastes (Tratamiento 1 y 6) es una opción viable para controlar la presencia de agentes contaminantes.

Referencias

Basail Pérez, M., Medero Vega, V., Torres Delgado, M., López Torres, J., Santos Pino, A., Rayas Cabrera, A. & Ortega Ortiz, A. (2013). Nueva alternativa para la micropropagación en inmersión temporal del cultivar de plátano vianda "INIVITPV-2011"(AAB). Revista Colombiana de Biotecnología, 15(1), 98-107.

Bello-Bello, J.J., Cruz-Cruz, C.A. y Pérez-Guerra, J.C. (2019). A new temporary immersion system for commercial micropropagation of banana (*Musa paradisiaca* cv. Grand Naine). In Vitro cellular & developmental Biology-plant. DOI: http:// doi.org/10.1007/s11627-019-09973-7.

Cornejo Rivas P. E. (2006). (Tesis doctoral) Influencia de la cobertura vegetal sobre la diversidad de y estructura de las comunidades de hongos micorrízicos y sus efectos en la estabilización de suelos degradados. Facultad de Ciencias. Granada, España. 92-97

De Souza, F.A., Kowalchuk, G.A., Leeflang, P., van Veen, J.A. & Smit, E. (2004) PCR-denaturing gradient gel electrophoresis profiling of inter-and intraspecies 18S rRNA gene sequence heterogeneity is an accurate and sensitive method to assess species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of the genus *Gigaspora*. Applied and environmental microbiology, 70(3), 1413-1424.

Debnath, Samir C. (2017).Temporary immersion and stationary bioreactors for mass propagation of true-to-type highbush, half-high, and hybrid blueberries (*Vaccinium spp*.). The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, vol. 92, no 1, pp. 72-80. ISSN 1462-0316. DOI 10.1080/14620316.2016.1224606.

Elvia J.C., Ortega-Rodés, P. & Ortega, E., (2008). La inoculación de plantas con *Pantoea sp*., bacteria solubilizadora de fosfatos, incrementa la concentración de P en los tejidos foliares. Revista Colombiana de Biotecnología, 10(1), 111-121.

García-Mendoza, A.J. (2007). Los agaves de México. *Redalyc*. Universidad Nacional Autónoma de México. 14-23.

Gentry, R.S. (1982). *Agaves of continental North America*. p. 573. University of Arizona Press. Tucson.

González D. y Gordon N. 2015. Micropropagación de *Agave durangensis* en un Sistema de Inmersión Temporal (SIT) *'Jóvenes en la* ciencia', .Vol. 1 no. 2, Verano de la Investigación Científica.

Hernández, F., Velásquez, K., Carreño, C., Gonzales, H. L., Estela, C. & Altamirano, C. (2015). Efecto de enterobacterias en el desarrollo vegetativo de *Zea mays* en invernadero. UCV Hacer, 4(1), 10-19.

Leslie, J.F. & Summerell, B. A. 2006. *Fusarium* laboratory workshops. A recent history. Mycotoxin Research, 22(2), 73-74.

Nelson, P.E., (1990). Taxonomy of fungi in the Genus *Fusarium* with emphasis on *Fusarium oxysporum*. 27-35.

Orozco-Martínez, J., Lira-Saade, R., Jiménez-Estrada, M., Ávila-Acevedo, J.G., Serrano-Parrales, R. & Hernández-Delgado, T. (2020). Plantas medicinales de Oaxaca, México: Etnobotánica y actividad antibacteriana. Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 19(2), 221-235.

Peñate, L., Concepción, O., Aragón, C., Rodríguez, R., González-Olmedo, J., Escalona, M., Cid, M. & Pina, D. (2007). Evaluación del efecto de tres condiciones de cultivo *in vitro* en la calidad de plántulas de caña de azúcar propagadas en Biorreactores de Inmersión Temporal. *Biotecnología Vegetal.*

Ramírez-Rojas, S., Osuna-Canizalez, F.D.J., García-Pérez, F., Canul-Ku, J., Palacios-Talavera, A., Hernández-Romano, J. & Landa-Salgado, P. *(2016). Identificación molecular de bacterias asociadas a plantas ornamentales producidas in vitro. Revista mexicana de fitopatología, 34(2), 173-183.*

Roca, W.M. & Mroginski, L A. (1991). Cultivo de tejidos en la agricultura: fundamentos y aplicaciones (No. 151).

Rosales, C., Brenes, J., Salas, K., Arce-Solano, S. y Abdelnour-Esquivel, A. (2017). Micropropagación de *Stevia rebaudiana* en sistemas de inmersión temporal para incursionar en la producción hortícola. Revista Chapingo Serie Horticultura. 24(1), pp: 69-84.

Torres, G. A., (2000). Algunos aspectos de los hongos del género *Fusarium* y *Fusarium oxysporum*. Agronomía colombiana, 11, 22.

Torres I., Casas A., Vega E., Martínez-Ramos y Delgado-Lemus A. (2015). Population Dynamics and Sustainable Management of Mescal Agaves in Central Mexico: *Agave potatorum* in the Tehuacán-Cuicatlán Valley. Econ Bot 69, 26-41. https://doi.org/10.1007/s12231-014-9295-2

Werner, S., Maschke, R. W., Eibl, D. & Eibl, R. *(*2018). Bioreactor technology for sustainable production of plant cell-derived products. In A. *Pavlov & T. Bley (Eds.)*, Bioprocessing of Plant In Vitro Systems (pp. 413-432). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54600-1_6

LA APLICACIÓN DE RIZOBACTERIAS (*Siccibacter colletis* sp. nov.) (CASEcto 12) MEJORA EL ENRAIZAMIENTO DEL TRÉBOL PATA DE PÁJARO (*Lotus corniculatus*) BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE MALLA SOMBRA

Isaac Gramillo-Avila[1], Aurelio Pedroza-Sandoval[1*], Rubén Palacio-Rodriguez[3], María del Rosario Jacobo-Salcedo[2], Ricardo Trejo-Calzada[1], Karen Fraire-Galindo[1]

[1] Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, km. 40 Ctra. Gómez Palacio - Chihuahua, C.P. 35230, Bermejillo, Dgo. [2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera, km. 6.5 Margen Derecho Canal de Sacramento, C.P. 35140, Gómez Palacio, Dgo. [3] Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas, Av. Universidad s/n, Col. Filadelfia, C.P. 35010, Gómez Palácio, Dgo. *Autor por correspondencia: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

El trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) se ha planteado como una alternativa de cultivo forrajero desde hace algunos años en las regiones semiáridas del norte de México. Esta especie de trébol, ha mostrado tolerancia a condiciones ambientales de déficit hídrico y altas temperaturas, conservando sus características de crecimiento y productividad de forraje (Pedroza-Sandoval et al., 2024). Hasta ahora, el método de reproducción más utilizado en esta primera etapa de evaluación regional es la propagación vegetativa, específicamente los tallos, colocados en recipientes con agua para promover el enraizamiento. Adicionalmente, el uso de bioestimulantes es una alternativa que promueve el crecimiento y desarrollo del sistema radicular (Hernández et al., 2023). En particular, las rizobacterias de la familia Enterobacteriaceae, género *Siccibacter* (*Siccibacter colletis*) con clave CASEcto 12 han demostrado ser un consorcio de microorganismos promotores del crecimiento vegetal en especies como arabidopsis (*Arabidopsis thaliana*), aumentando la longitud y el peso promedio de raíces en 51.75 mm y 68.08 mg (Chamkhi et al., 2023). El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia del uso de rizobacterias (*Siccibacter colletis*) como bioestimulantes sobre el crecimiento y desarrollo de raíces en tallos de tres ecotipos y una variedad de trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) en la región norte de México.

Materiales y métodos

***Ubicación del área de estudio*.** El experimento se llevó a cabo en condiciones de malla sombra en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada a los 25° 53’ 39.97’’ LN y 103° 36’ 13.9’’ LW, a una elevación de 1113 m. un clima seco, precipitación anual de 258 mm y una temperatura media anual de 21 °C, una máxima de 33.7 °C y una mínima de 7.5 °C (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2024).

Se estableció un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones en un arreglo factorial 2x4, donde el factor *a* fue la adición de 10 ml de rizobacterias *Siccibacter colletis* Con clave CASEcto 12 a una concentración bacteriana de $1x10^8$ y sin rizobacterias (testigo); el factor *b* fueron los ecotipos de trébol identificados con ID 255301, 255305 y 202700, y la variedad Estanzuela Ganador (EG). El experimento se estableció el 14 de marzo de 2026, para lo cual se colocaron cinco tallos de 15 cm de longitud en vasos de poliuretano expandido con capacidad de 414 ml (14 oz) a los cuales se les añadió 354 ml de agua purificada. La unidad experimental fue de cinco tallos a partir de los cuales se midieron las respectivas variables. Las mediciones fueron cada tercer día a partir de los ocho días después del corte (DDC), hasta los 16 DDC, periodo después del cual, los tallos ya enraizados fueron colocados en macetas.

Las variables medidas fueron número de raíces por tallo, número de brotes por tallo, longitud de la raíz (mm) y longitud de los brotes radiculares (mm) mediante el uso de un calibrador vernier digital pie de rey marca Electrónica Steren (HER-411 CDMX, MX). Para el análisis de datos se usó el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0, con el cual se realizaron los análisis estadísticos ANOVA-Tukey para contrastar los tratamientos. Adicionalmente, se realizó un análisis de regresión con el uso del programa Microsoft Excel 365.

Resultados y discusión

Número de raíces: El valor más alto se registró en la variedad Estanzuela Ganador con rizobacterias, alcanzando un promedio de 5.16 raíces, superando a al testigo con 1.08 raíces por tallo. En contraste, el ecotipo 202700 presentó el menor desarrollo con apenas 0.46 raíces en ausencia de rizobacterias. El ecotipo 255301 también duplicó su producción de raíces al pasar de 1.44 a 2.67 tras la inoculación bacterial (Cuadro 1). De manera continua, el número de raíces por tallo mostró un aumento en los tratamientos desde los 8 hasta los 16 DDC, cuando se adicionaron rizobacterias; en el ecotipo 255301, el aumento fue de 1.3; en el ecotipo 255305, de 0.85; en el 202700, de 0.3; y en la variedad Estanzuela Ganador, 8.05 raíces por tallo más en promedio (Figura 1). Longitud de las raíces: Similar al comportamiento anterior, la variedad Estanzuela Ganador con rizobacterias mostró el mayor crecimiento con una longitud promedio de 10.11 mm vs 3.18 mm sin aplicar las rizobacterias. Los ecotipos 255301 y 255305 mostraron longitudes intermedias entre 5.46 y 6.68 mm, mientras que el ecotipo 202700 presentó los valores menores en ambas condiciones, sin y con la adición de rizobacterias, con valores de 1.10 y 1.56 mm, respectivamente (Cuadro 1). Número de brotes: El ecotipo 255301 con rizobacterias obtuvo la mayor cantidad de brotes nuevos con un promedio de 2.56 brotes, seguido por la variedad EG con el mismo tratamiento con 1.91 brotes. Mientras que el ecotipo 202700 reportó el desarrollo más bajo de brotes con un promedio de 0.47 brotes, sin diferencia estadística ($P < 0.05$) ante la adición de rizobacterias (Cuadro 1). Longitud de brotes: La variedad Estanzuela Ganador con rizobacterias destacó significativamente ($P < 0.05$) sobre el resto de los materiales genéticos evaluados al registrar brotes de 10.59 mm de largo. En los ecotipos 255301 y 255305 no mostraron efecto de tratamiento por inoculación rizobacterial (Cuadro 1).

Los resultados evidencian que las rizobacterias actúan de manera efectiva como un bioestimulante de enraizamiento en *Lotus corniculatus* L. Este fenómeno es característico de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal o PGPR (Crecchio et al., 2018; Moreno et al., 2018), las cuales facilitan la absorción de nutrientes y sintetizan fitohormonas, principalmente el ácido indol-3-acético o AIA, que inducen la división celular, la diferenciación de los tejidos vasculares y la elongación de raíces y tallos (Ahmed & Hasnain, 2014; Turan et al., 2021).

Cuadro 1. Comportamiento del crecimiento y desarrollo de raíces y brotes nuevos en los tallos de *Lotus corniculatus* L., mediante la adición de rizobacterias.

Bioestimulante (CASEcto 12)	Ecotipos/ Variedad	Número de raíces	Longitud de las raíces (mm)	Número de brotes nuevos	Longitud de los brotes nuevos (mm)
SIN RIZOBACTERIAS	255301	1.44 cd ± 2.09	3.15 cd ± 6.79	1.41 bc ± 3.04	2.90 c ± 4.66
	255305	1.50 c ± 2.05	6.68 b ± 9.02	0.98 bc ± 1.22	4.96 bc ± 6.99
	202700	0.46 e ± 1.05	1.10 d ± 3.56	0.48 c ± 0.81	3.61 c ± 7.25
	EG	1.08 cde ± 2.12	3.18 cd ± 6.55	1.12 bc ± 1.39	6.14 bc ± 7.75
CON RIZOBACTERIAS	255301	2.67 b ± 2.84	6.40 b ± 8.47	2.56 a ± 4.34	5.16 bc ± 6.76
	255305	1.90 bc ± 2.27	5.46 bc ± 7.55	1.30 bc ± 1.45	6.93 b ± 9.20
	202700	0.61 de ± 1.2	1.56 d ± 3.68	0.47 c ± 0.88	4.25 bc ± 8.72
	EG	5.16 a ± 4.45	10.11 a ± 10.17	1.91 ab ± 1.68	10.59 a ± 11.11

Prueba de Tukey (P ≤ 0.05). Las cifras con las mismas letras en la misma columna son estadísticamente iguales.

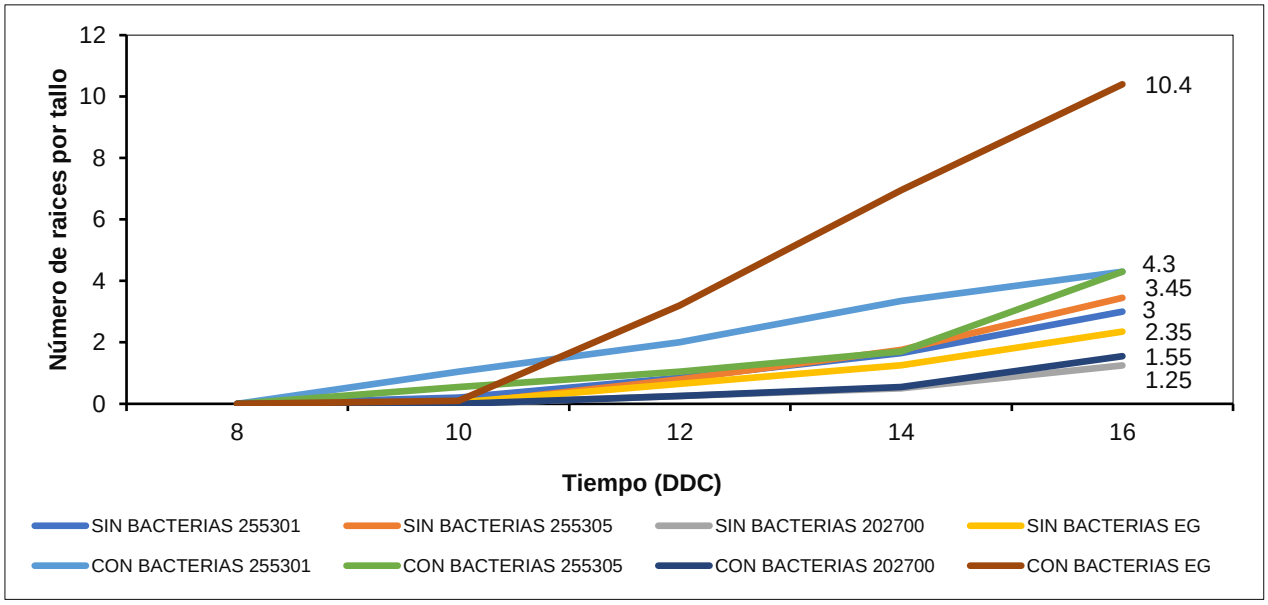


Figura 1. Número de raíces por tallo en trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus* L.) durante los primeros 16 días después del corte.

Conclusiones

La adición de rizobacterias CASEcto 12 incrementó el número de raíces por tallo de *Lotus corniculatus*, acortando los días de aparición de las primeras raíces y aumentando su longitud. La diferencia en el número de raíces fue notoriamente mayor en la variedad Estanzuela Ganador, seguida por el ecotipo 255301, dentro de los primeros 16 DDC. De la misma manera, el número de brotes nuevos y su longitud aumentan al inocular rizobacterias, lo que genera información de base para considerar como alternativa la aplicación de este bioestimulante en la propagación vegetativa de la especie *Lotus corniculatus* L.

Referencias

Ahmed, A., & Hasnain, S. (2014). Auxins as One of the Factors of Plant Growth Improvement by Plant Growth Promoting Rhizobacteria. Polish Journal of Microbiology. 63. 261-266. https://doi.org/10.33073/pjm-2014-035

Chamkhi, I., Zwanzig, J., Ibnyasser, A., Cheto, S., Geistlinger, J., Saidi, R., Zeroual, Y., Kouisni, L., Bargaz, A. and Ghoulam, C. (2023). *Siccibacter colletis* as a member of the plant growth-promoting rhizobacteria consortium to improve faba-bean growth and alleviate phosphorus deficiency stress. Front. Sustain. Food Syst. 7:1134809. doi: https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1134809

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2024). *Datos climatológicos de la estación Bermejillo, Durango*. Servicio Meteorológico Nacional. https://smn.conagua.gob.mx

Crecchio, C., Mimmo, T., Bulgarelli, D., Pertot, I.P., Y., Perazzolli, M. (2018). "Beneficial Soil Microbiome for Sustainable Agriculture Production," in, ed. E. Lichtfouse (Cham: Springer International Publishing), 443–481. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94232-2_9

Hernández, F., Pedroza, A., Gonzales, L.A., Gramillo, I. (2023). Comportamiento del contenido hídrico y pigmentos fotosintéticos en tomate *Solanum lycopersicum* L. Cv. Saladette en condiciones de déficit hídrico. [Resumen]. VII Congreso Internacional y XIX Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango, México.

Moreno, A., Carda, V., Reyes, J.L., Vásquez, J., & Cano, P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. Revista Colombiana de Biotecnología, 20(1), 68-83. https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707

Pedroza-Sandoval, A., Xolocotzi-Acoltzi, S., Trejo-Calzada, R., García-de los Santos, G., Álvarez-Vázquez, P., & Arreola-Ávila, J.G. (2024). Índice de área foliar e indicadores de productividad forrajera de *Lotus corniculatus* L. en diferentes contenidos de humedad del suelo y estaciones del año. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 15(1), 17-31. Epub 12 de abril de 2024. https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i1.6472

Turan, M., Arjumend, T., Argin, S., Yildirim, E., Katircioğlu, H., Gürkan, B., Ekinci, M., Gunes, A., Kocaman, A. & Bolouri, P. (2021). Plant Root Enhancement by Plant Growth Promoting Rhizobacteria. https://doi.org/10.5772/intechopen.99890

EFECTO DE LA FRIGOCONSERVACIÓN INTERRUMPIDA DE AJO (*Allium sativum* L.) SOBRE EL CONTENIDO DE COMPUESTO FENÓLICOS

Mayra Denise Herrera[1]*, Juan José Figueroa González[1], José Ángel Cid Ríos[1], Getsemaní Alejandra Ibarra Vázquez[1,2], Luis Martín Macías Valdez[3], Blanca Isabel Sánchez Toledano[1]

[1]INIFAP-CEZAC. Carretera Zacatecas-Fresnillo, km. 24.5, Calera de V.R., Zacatecas, C.P. 98500. [2]Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, km. 31.5 Carretera Panamerica, Gral. Enrique Estrada, Zacatecas C.P. 98500. [3]INIFAP-CEPAB, km. 32.5 Carretera Aguascalientes – Zacatecas, Pabellón de Arteaga, Ags. C.P. 20660 *Autor de Correspondencia: mayradherrera@gmail.com

Introducción

El ajo (*Allium sativum* L.) es una de las hortalizas con mayor aceptación en muchas culturas y se ha utilizado no solo para dar sabor, sino también como planta medicinal debido a sus diversas actividades biológicas (Park et al., 2009). Según Bozin et al. (2008), el ajo ha sido objeto de amplias investigaciones por sus beneficios para la salud, derivados de la presencia de compuestos azufrados y de algunos metabolitos secundarios no azufrados, como los compuestos fenólicos (incluidos flavonoides y antocianinas); además, estos compuestos están relacionados con la pigmentación característica de la planta (Parr y Bolwell, 2000). En este sentido, la coloración rojiza o púrpura de algunos cultivares de ajo se debe a la concentración de antocianinas en las hojas externas secas, denominadas catáfilas, que recubren los bulbos. Este factor es relevante para la comercialización del producto; por ejemplo, en algunos países latinoamericanos existe preferencia por el ajo de color púrpura o púrpura jaspeado (Dufoo-Hurtado et al., 2013).

La gran variabilidad en los niveles de compuestos fenólicos entre las hortalizas está relacionada con diferencias genotípicas, pero también se ve influida por diversos factores, entre estos, las condiciones climáticas (Külen et al., 2013). En este contexto, se ha demostrado que la temperatura ejerce un efecto significativo sobre los aspectos agronómicos y bioquímicos. El acondicionamiento de los bulbos y los dientes de ajo a bajas temperaturas modifica la concentración de moléculas bioactivas, como los compuestos fenólicos (Tedeschi et al., 2023).

Bajo el contexto anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la frigoconservación continua e interrumpida sobre la concentración de compuestos bioactivos (flavonoides y antocianinas) en el ajo, con el fin de definir una estrategia de manejo poscosecha que conserve la calidad del bulbo y asegure su disponibilidad escalonada en el mercado.

Materiales y métodos

Se evaluaron cabezas de ajo genotipo 'Barretero', cosechadas en el Campo Experimental Zacatecas del INIFAP (22° 54' N, 102° 39' O; 2 197 msnm) y genotipo ‘Orión’ cosechadas en el Campo Experimental Pabellón del INIFAP (22° 11' N, 02° 20' O, 1,969 msnm). Las muestras se almacenaron en bolsas de papel perforadas bajo un sistema de frigoconservación (FC: -4 °C, 65 %) por un periodo de 0, 30, 60, 90, 120 y 150 días. Además, se integró un grupo de ajos testigo (TA), almacenados a temperatura ambiente. Los tratamientos en FC tuvieron una interrupción de la cadena de frío por 48 h en diferentes intervalos como se muestra en la Figura 1, y se comparó con un tratamiento sin interrupción de la cadena de frigoconservación. Posteriormente, los dientes se separaron y pelaron manualmente, posteriormente fueron deshidratados y almacenados hasta su uso para la cuantificación de biomoléculas.

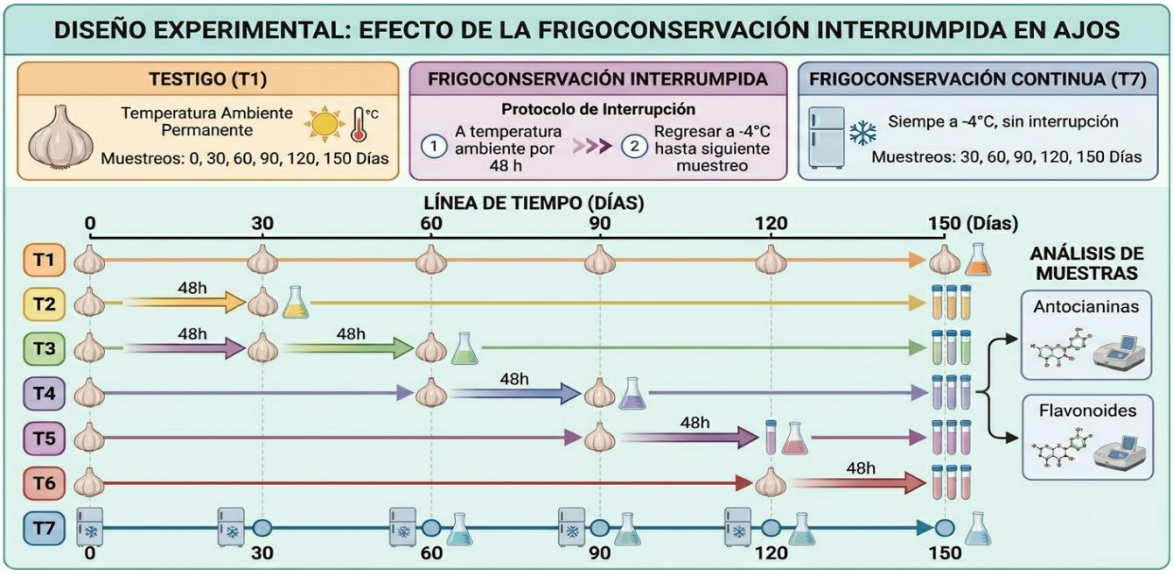


Figura 1. Metodología indicando almacenamiento de frigoconservación previo a la evaluación de la concentración de biomoléculas. Imagen creada por el autor utilizando la herramienta de inteligencia artificial Gemini (Google) bajo instrucciones específicas (prompts) y supervisión técnica directa para la reconstrucción del diseño experimental.

Extracción y cuantificación de flavonoides totales. Se obtuvo un extracto acetónico de los compuestos polifenólicos siguiendo la metodología de Xu et al., (2007), se pesó un gramo de muestra y se diluyó con 10 mL de acetona acidificada al 70 % con 0.5 % de ácido acético [(acetona/agua/ácido acético (70:29.5:0.5 v/v/v)], se protegió de la luz y se agitó durante 24 h, posteriormente se centrifugaron a 5000 x g durante 10 min a temperatura ambiente, para obtener el sobrenadante. Este sobrenadante se utilizó para la cuantificación de compuestos polifenólicos como flavonoides.

Los flavonoides totales se cuantificaron mediante el ensayo colorimétrico de $AlCl_3$ (Liu et al., 2002). Los datos de esta determinación se expresaron como mg equivalentes de (+) catequina por gramo de muestra (mg ECA/g) con un rango de linealidad de 0 a 0.074 mg/mL (R2 = 0.99).

Extracción y cuantificación de antocianinas totales. Previo a la cuantificación de antocianinas, se realizó la extracción con una solución de etanol acidificado al 85% con HCl. La determinación de las antocianinas totales se realizó siguiendo el método de Abdel-Aal et al. (1999). El sobrenadante del extracto de antocianinas se llevó a un volumen de 5 ml en un matraz aforado usando etanol acidificado. Posteriormente se midió la absorbancia en un espectrofotómetro con una longitud de onda de 535 nm. El valor obtenido de la absorbancia se sustituyó en la siguiente formula:

$$C=(A/\varepsilon)*PM*(1/(g\ de\ muestra)*[10]\text{^}6)$$

Donde:
C= concentración de antocianinas totales (mg/kg)
A= absorbancia a 535
ε= Coeficiente de absortividad molar de Ciadina 3-Glucosido (25965 cm-1M-1)
V= volumen total del extracto de antocianinas (mL).
PM= peso molecular de la ciadina 3-glucosido (449 g/mol).
Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ciadina 3-glucosido/kg de muestra.

Análisis Estadístico. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza ANOVA. Las diferencias entre los diferentes tipos de plantas (sana, asintomática y sintomática) se consideraron significativas si el valor de probabilidad fue menor a 0.05 (P<0.05) con la prueba de Tukey. Los análisis se realizaron en el software estadístico JMP 5.0.1 (SAS Institute, Cary, NC.EE.UU.). El procesamiento de datos para obtención de graficas se realizó en el Programa GraphPad 8.

Resultados y discusiones

En el genotipo 'Calerence' (Figura 2), la acumulación de biomoléculas mostró una marcada dependencia del régimen térmico y del tiempo de almacenamiento. Para la concentración de flavonoides (Figura 2A), se registró una inducción notable bajo frigoconservación (FC) continua e interrumpida a los 120 días, alcanzando valores máximos de ~6 mgECA/g ($p < 0.05$), mientras que el tratamiento a temperatura ambiente (TA) se mantuvo en niveles basales (~2 mgECA/g). Este comportamiento refleja la respuesta metabólica típica de la familia Allium ante el estrés por frío prolongado (-4 °C), donde la refrigeración actúa como un elicitador abiótico que estimula la ruta de los fenilpropanoides y activa enzimas clave como la fenilalanina amonio liasa (PAL), favoreciendo la acumulación de compuestos fenólicos y flavonoides con capacidad antioxidante para contrarrestar las especies reactivas de oxígeno (ROS) (Martins et al., 2016; Tedeschi et al., 2023).

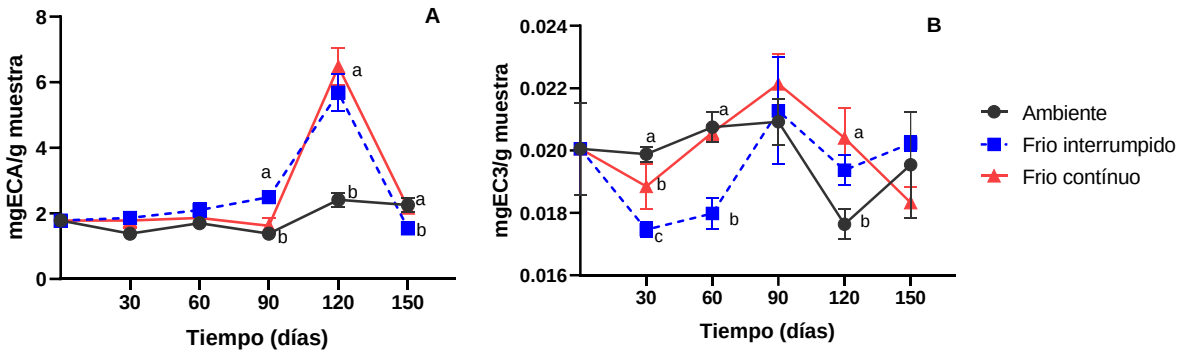


Figura 2. El contenido de A) flavonoides y B) antocianinas en ajo Calerence es modificado por el almacenamiento poscosecha. Los datos se muestran como la media ± DE. Letras diferentes por tiempo (días) indican diferencia significativa (p<0.05) con la prueba de Tukey.

Por su parte, la cuantificación de antocianinas en 'Calerence' exhibió concentraciones elevadas constantes bajo frío continuo (Figura 2B), alcanzando su pico máximo a los 90 días (~0.022 mgEC3/g). No obstante, la interrupción de la cadena de frío a los 30 días generó una disminución significativa transitoria ($p < 0.05$), la cual logró restablecerse hacia los 90 y 150 días de almacenamiento. Estas fluctuaciones asociadas a los quiebres térmicos (48 h a TA) sugieren una alteración temporal en el ritmo respiratorio y la estabilidad metabólica del tejido vegetal. Dichas oscilaciones de temperatura aceleran temporalmente procesos degradativos o la condensación de fenoles libres antes de que el tejido adapte su maquinaria enzimática al reinstaurar la temperatura de consigna (-4 °C) (Ludlow et al., 2022).

En contraste, el genotipo 'Orión' mostró un comportamiento de menor amplitud metabólica frente al acondicionamiento térmico. Para el contenido de flavonoides, no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos a lo largo del periodo experimental (oscilando entre 1.5 y 4 mgECA/g) (Figura 3A), mientras que, para las antocianinas, únicamente a los 60 días se observó un leve incremento significativo en el frío continuo respecto a la frigoconservación interrumpida ($p < 0.05$) (Figura 3B). Esta inercia metabólica en 'Orión', en comparación con la alta reactividad tardía observada en 'Calerence', pone de manifiesto una clara interacción genotipo × ambiente en la respuesta postcosecha. La divergencia fisiológica entre cultivares confirma que la plasticidad metabólica y la tolerancia a choques térmicos durante el almacenamiento dependiente de frío están reguladas genéticamente por la variedad del cultivo (Brian et al., 2023).

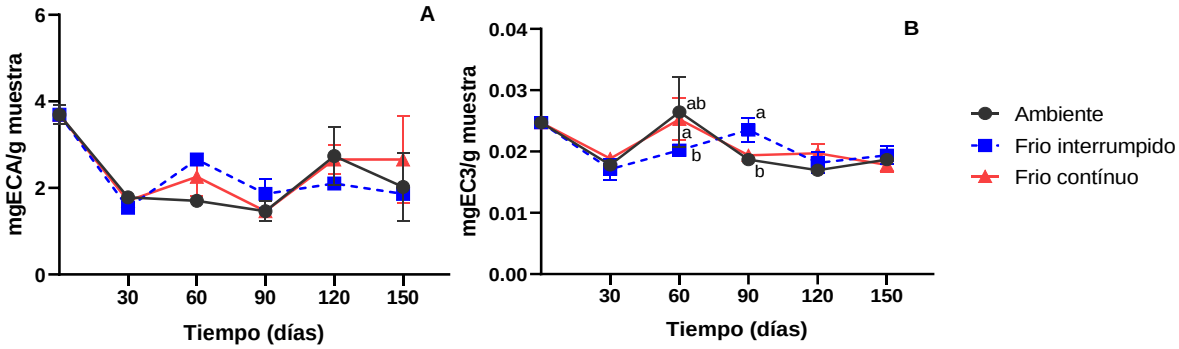


Figura 3. El contenido de A) flavonoides y B) antocianinas en ajo Orión es modificado por el almacenamiento poscosecha. Los datos se muestran como la media ± DE. Letras diferentes por tiempo (días) indican diferencia significativa ($p<0.05$) con la prueba de Tukey.

Conclusiones

El régimen de almacenamiento y la interrupción de la cadena de frío modulan significativamente el contenido de biomoléculas en ajo, presentando una marcada dependencia de la arquitectura genética del cultivar. El genotipo 'Calerence' exhibe una alta sensibilidad y plasticidad metabólica al estrés térmico, registrando una importante inducción fenólica tardía (120 días) bajo frigoconservación y fluctuaciones temporales ante los choques térmicos de 48 horas. Por el contrario, el genotipo 'Orión' mantiene una notable estabilidad e inercia metabólica con variaciones mínimas entre tratamientos a lo largo del tiempo. Esta divergencia confirma que la interacción genotipo × ambiente determina la tolerancia postcosecha y el perfil bioactivo del tejido, posicionando a 'Calerence' como un cultivar altamente reactivo a la elicitación por frío para la acumulación de compuestos funcionales.

Referencias

Abdel-Aal, E.-S. M., & Hucl, P. (1999). A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. Cereal Chemistry, 76(3), 350–354. doi:10.1094/CCHEM.1999.76.3.350

Bian, H., Zhou, Q., Du, Z., Zhang, G., Han, R., Chen, L., Tian, J., & Li, Y. (2023). Integrated transcriptomics and metabolomics analysis of the fructan metabolism response to low-temperature stress in garlic. Genes, 14(6), 1290. doi:10.3390/genes14061290

Božin, B., Mimica-Dukić, N., Samojlik, I., Anačkov, G. T., & Igić, R. (2008). Phenolics as antioxidants in garlic (*Allium sativum* L., Alliaceae). Food Chemistry, 111(4), 925–929. doi:10.1016/j.foodchem.2008.04.071

Dufoo-Hurtado, M. D., Zavala-Gutiérrez, K. G., Cao, C.-M., Cisneros-Zevallos, L., Guevara-González, R. G., Torres-Pacheco, I., Vázquez-Barrios, M. E., Rivera-Pastrana, D. M., & Mercado-Silva, E. M. (2013). Low-temperature conditioning of “seed” cloves enhances the expression of phenolic metabolism related genes and anthocyanin content in ‘Coreano’ garlic (*Allium sativum*) during plant development. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61(44), 10439–10446. doi:10.1021/jf403019t

Külen, O., Stushnoff, C., & Holm, D. G. (2013). Effect of cold storage on total phenolics content, antioxidant activity and vitamin C level of selected potato clones. Journal of the Science of Food and Agriculture, 93(10), 2437–2444. doi:10.1002/jsfa.6053

Liu, M., Li, X. Q., Weber, C., Lee, C. Y., Brown, J., & Liu, R. H. (2002). Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50(10), 2926–2930. doi:10.1021/jf0111209

Ludlow, R. A., Evans, G., Graz, M., Marti, G., Castillo Martínez, P., Rogers, H. J., & Müller, C. T. (2022). From laboratory to industrial storage: Translating volatile organic compounds into markers for assessing garlic storage quality. Postharvest Biology and Technology, 191, 111976. doi:10.1016/j.postharvbio.2022.111976

Martins, N., Petropoulos, S., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Chemical composition and bioactive compounds of garlic (*Allium sativum* L.) as affected by pre- and post-harvest conditions: A review. Food Chemistry, 211, 41–50. doi:10.1016/j.foodchem.2016.05.029

Park, J.-H., Park, Y. K., & Park, E. (2009). Antioxidative and antigenotoxic effects of garlic (*Allium sativum* L.) prepared by different processing methods. Plant Foods for Human Nutrition, 64(4), 244–249. doi:10.1007/s11130-009-0132-1

Parr, A. J., & Bolwell, G. P. (2000). Phenols in the plant and in man: The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. Journal of the Science of Food and Agriculture, 80(7), 985–1012. doi:10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<985::AID-JSFA572>3.0.CO;2-7

Tedeschi, P., Brugnoli, F., Merighi, S., Grassilli, S., Nigro, M., Catani, M., Gessi, S., Bertagnolo, V., Travagli, A., Caboni, M. F., & Cavazzini, A. (2023). The effect of different storage conditions on phytochemical composition, shelf-life, and bioactive compounds of Voghiera garlic PDO. Antioxidants, 12(2), 499. doi:10.3390/antiox12020499

Xu, B. J., & Chang, S. K. C. (2007). A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. Journal of Food Science, 72(2), S159–S166. doi:10.1111/j.1750-3841.2006.00260.x

ACUMULACIÓN DE PROLINA ENTRE CLASES DE FRIJOL PINTO Y NEGRO (*Phaseolus vulgaris* L.) BAJO CONDICIONES DE TEMPORAL EN EL ALTIPLANO ZACATECANO

Lucio Cobarrubio Arriaga[1,2], Mayra Denise Herrera[1]*, Valentín Melero Meraz[1], Rigoberto Rosales Serna[3], José Ángel Cid Ríos[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Carretera Zacatecas-Fresnillo, km. 24.5, Calera de V.R., Zacatecas, México. C.P. 98500.[2]Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas Carretera Zacatecas-Guadalajara Km. 15.5, Cienaguillas, Zacatecas, México C.P. 98170.[3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de Guadiana, Carretera Durango-El Mezquital km 4.5, C.P. 34170, Durango, Durango* Autor de Correspondencia: mayradherrera@gmail.com

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris*) en México es uno de los cultivos de mayor importancia después del maíz, y representa la base de la alimentación, cultura y economía nacional (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024). El estado de Zacatecas es el principal productor de esta leguminosa en el país, con una superficie sembrada cercana a 600 mil hectáreas; de las cuales alrededor de 530 mil corresponden a condiciones de temporal, lo que refleja la alta dependencia del cultivo respecto a la precipitación y, por tanto, la vulnerabilidad del cultivo durante periodos de baja disponibilidad hídrica durante el ciclo productivo (Acosta-Díaz et al., 2009). Cuando el cultivo se desarrolla bajo condiciones de limitada disponibilidad de agua, las plantas presentan ajustes fisiológicos que afectan procesos como el crecimiento y la fotosíntesis. Entre las respuestas al estrés hídrico se encuentra la acumulación de prolina, un aminoácido que participa en el ajuste osmótico, que contribuye a mantener la turgencia y protección de estructuras celulares frente a la deshidratación y al estrés oxidativo (Bandurska, 2022; Hosseinifard et al., 2022).

En *P. vulgaris*, se ha observado que el estrés por sequía induce la expresión del gen *PvP5CS*, relacionado con la biosíntesis de prolina, dicho incremento transcripcional precede la acumulación foliar del aminoácido (Chen et al., 2009). La magnitud de esta respuesta se ha documentado y puede variar entre genotipos, debido a diferencias en su capacidad para percibir, responder y adaptarse a la disponibilidad limitada de agua. Lo que sustenta su utilidad como un marcador bioquímico complementario para caracterizar la respuesta de la especie al estrés hídrico (Arteaga et al., 2020) y con ello identificar variedades o cultivares que responden positivamente en zonas con escasez hídrica. El objetivo de este estudio fue evaluar la acumulación de prolina en variedades de frijol pinto y negro cultivados bajo condiciones de temporal y analizar su respuesta fisiológica en relación con la disponibilidad hídrica durante dos etapas fenológicas.

Materiales y métodos

El experimento se estableció el ocho de julio de 2026 en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Morelos, Zacatecas, bajo condiciones de temporal. El ensayo se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y 20 genotipos de frijol de variedades comerciales mejoradas y (*Phaseolus vulgaris L*.). Para la determinación de prolina se seleccionaron ocho genotipos provenientes del mismo ciclo y lugar de cultivo, se utilizaron tres de las cuatro repeticiones del experimento. El primer muestreo se realizó el 28 de julio de 2026, en la fenofase de la primera hoja trifoliada, mientras que el segundo muestreo se efectuó el 19 de agosto de 2026, en la etapa de prefloración.

En cada unidad experimental se recolectaron aleatoriamente 24 hojas, las cuales se integraron para formar una muestra compuesta por repetición. La concentración de prolina se determinó por espectrofotometría con el método de ninhidrina modificado y descrito por Carillo y Gibon (2011). Se pesaron 0.1 g de tejido vegetal y se añadieron 2 mL de etanol al 70 %. Las muestras se mantuvieron en agitación durante 20 min y posteriormente se centrifugaron a 5000 rpm durante 6 min, recuperándose el sobrenadante para el análisis. La mezcla de reacción estuvo constituida por ninhidrina al 1 % preparada en ácido acético al 60 %; para su preparación se disolvieron 0.4 g de ninhidrina en 40 mL de ácido acético al 60 %. Para cada muestra se utilizaron 1 mL de mezcla de reacción, 500 µL del extracto y 400 µL de etanol al 40 %. Las muestras se incubaron a 95 °C durante 20 min con agitación constante. Después de la incubación, se transfirieron 200 µL de cada reacción a una microplaca de 96 pozos y se determinó la absorbancia a 520 nm de longitud de onda. La concentración de prolina se calculó mediante una ecuación de regresión lineal obtenida de la curva estándar con concentraciones de 0.2, 0.5, 1, 2 y 5 mM. Los resultados se expresaron en mM. Para determinar las condiciones hídricas durante el periodo de evaluación se utilizaron registros diarios de precipitación y mediciones semanales de humedad del suelo por el método gravimétrico. Los datos de concentración de prolina se analizaron mediante un análisis de varianza, considerando por separado las variedades de frijol pinto y negro. Para cada grupo se evaluaron los efectos de la variedad, la etapa fenológica de muestreo y la interacción variedad × etapa fenológica. Cuando se detectaron diferencias significativas las medias se compararon mediante la prueba *t* de Student, con una significancia de $p < 0.05$. para el análisis se utilizó el software JMP v10.

Resultados y discusión

En el grupo de frijoles pintos, el análisis de varianza mostró que la etapa fenológica tuvo un efecto significativo sobre la concentración de prolina ($p = 0.022$), mientras que no se detectaron diferencias significativas entre variedades ($p = 0.7$) ni en la interacción variedad × etapa ($p = 0.427$). De manera general, la síntesis de prolina se incrementó entre la etapa de primera hoja trifoliada y la prefloración, lo que indica una respuesta fisiológica común entre los materiales pintos evaluados. De manera descriptiva, Pinto Centauro presentó un incremento de 11.9 % en la concentración de prolina, seguido de PID-2 con 11.5 %, Pinto Centenario con 6.7 % y Pinto Villa con 4.5 %. PIDI fue el único material pinto que mostró una disminución, con un cambio de -2.3 % (Cuadro 1). Sin embargo, la interacción variedad × etapa no fue significativa, por lo que estas diferencias son únicamente tendencias numéricas y no como respuestas significativamente diferentes entre las variedades.

Cuadro 1. Cambios en el efecto de concentración de prolina en variedades de frijol pinto sobre la etapa fenológica

Etapa fenológica	**Media Prolina (mM)**	**Incremento (%)**
1a hoja trifoliada	0.480 ± 0.035^{b}	6.3%
Prefloración	0.511 ± 0.029^{a}	8.8%
p	0.022	
Variedad		
Pinto Centauro	0.489 ± 0.039	11.9%
Pinto Villa	0.494 ± 0.023	4.5%
Pinto Centenario	0.513 ± 0.053	6.7%
PIDI	0.497 ± 0.028	-2.3%
PID-2	0.488 ± 0.032	11.5%
p	0.7	

*Los valores se presentan como la media ± desviación estándar. Las letras diferentes entre filas indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba t de Student.

En el grupo de frijoles negros la síntesis de prolina fue muy similar entre variedades (p = 0.288). La interacción ente la variedad y la etapa fenológica no tuvo efecto sobre la síntesis de dicho aminoácido (p = 0.589). Mientras que la etapa fenológica presentó un valor (p = 0.052) cercano un nivel significativo, por lo que se entiende como una tendencia de incremento en la concentración de prolina entre etapas, pero no como una diferencia significativa (Figura 1).

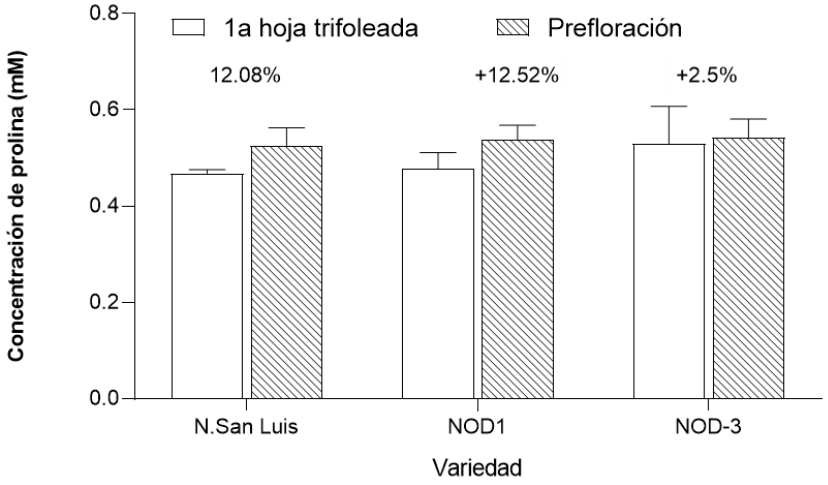


Figura 1. Concentración de prolina en genotipos de frijol negro durante las etapas de primera hoja trifoliada y prefloración. Los datos corresponden a las medias ± desviación estándar de tres repeticiones por genotipo y etapa. Los porcentajes indican el cambio en la concentración del aminoácido en prefloración respecto a la primera hoja trifoliada.

Durante el periodo comprendido entre las evaluaciones se registraron cambios en las condiciones hídricas del cultivo. La precipitación acumulada fue de 79.4 mm; antes de la aparición de la primera hoja trifoliada hubo 32.6 mm precipitados y 46.8 mm para prefloración. Sin embargo, la tasa de evapotranspiración durante el periodo evaluado fue superior (231.7 mm) a la precipitación, antes de la primera hoja trifoliada la demanda fue de 90.6 mm y en prefloración demandó 141.1 mm. Por lo tanto, la humedad del suelo en julio estuvo por debajo del punto de marchitez permanente (PMP= 17.37%) con la lluvia de agosto se incrementó la humedad del suelo, pero nuevamente descendió por debajo de PMP (Figura 2). Esta condición mantuvo al cultivo del frijol bajo una condición de estrés en ambas etapas fenológicas.

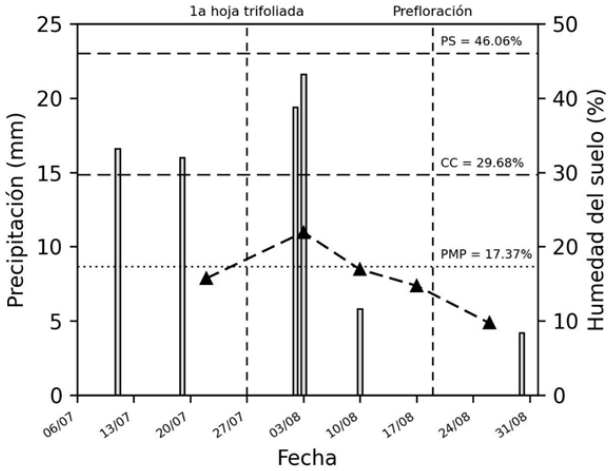


Figura 2. Dinámica de la humedad del suelo y de la precipitación durante el desarrollo del cultivo de frijol bajo condiciones de temporal.

Bajo este tipo de escenario, donde el suministro de agua disponible para la planta cae por debajo del umbral crítico de marchitez, es de esperar que se activen en el frijol mecanismo adaptativos mediados por la acumulación de prolina en las hojas y raíz, tal como se ha reportado en diversos estudios con *Phaseolus vulgaris* sometido a restricción hídrica (Herrera Flores et al., 2012) También manifiestan que acumulan más prolina los genotipos que son menos tolerantes, de hecho, un síntoma característico es marchitez foliar severa.

La prolina actúa como un soluto compatible que se sintetiza principalmente a partir de glutamato en condiciones de estrés, permitiendo mantener la turgencia celular y proteger estructuras como membranas y proteínas frente a la deshidratación. Dado que el déficit hídrico se prolongó en dos momentos fenológicos distintos antes de la primera hoja trifoliada y en prefloración, sería esperable observar un incremento progresivo en la concentración foliar de prolina conforme el contenido de humedad del suelo, siendo potencialmente más pronunciado durante la etapa de prefloración. De acuerdo con Aguirre et al. (1999), el contenido de prolina en las plantas bajo estrés hídrico tiende a incrementarse comparado con aquellas que disponen de su demanda hídrica de manera constante; no solo en frijol se presenta este patrón también en maíz (Khan et al., 2025) y la aplicación exógena representa una alternativa para la mitigación de los efectos del estrés hídrico.

Conclusiones

Se acumuló más prolina en los cultivares del tipo negro que en las variedades de tipo pinto lo que sugiere un diferencial a la susceptibilidad al déficit hídrico entre tipos comerciales más que entre variedades.

La acumulación de prolina presento diferencias relacionadas con la etapa fenológica ya que entre la primera hoja trifoliada y prefloración hubo una tendencia de incremento posiblemente asociada con la poca agua disponible en el suelo.

Algo importante es que la cinética de la prolina en frijol cultivado bajo déficit hídrico por sí sola no logra explicar la tolerancia a la sequía en frijol, por lo que es necesario incluir otros indicadores.

Referencias

Acosta-Díaz, E., Acosta-Gallegos, J. A., Amador-Ramírez, M. D., & Padilla-Ramírez, J. S. (2009). Efecto del riego suplementario en la producción de biomasa y grano de frijol de temporal en Zacatecas, México. Agricultura Técnica en México, 35(2), 157–167.

Aguirre, J. F., Kohashi-Shibata, J., Trejo, C. L., & Acosta-Gallegos, J. (1999). Respuesta fisiológica del frijol *Phaseolus vulgaris* L. a la sequía, en un sistema de raíz dividida. Agronomía Mesoamericana, 10(1), 31–36. https://doi.org/10.15517/am.v10i1.17995

Arteaga, S., Yabor, L., Díez, M. J., Prohens, J., Boscaiu, M., & Vicente, O. (2020). The use of proline in screening for tolerance to drought and salinity in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. Agronomy, 10(6), 817. https://doi.org/10.3390/agronomy10060817

Bandurska, H. (2022). Drought stress responses: Coping strategy and resistance. PIants, 11(7), 922. https://doi.org/10.3390/plants11070922

Carillo, P., & Gibon, Y. (2011). Protocol: Extraction and determination of proline. PrometheusWiki. https://prometheusprotocols.net/function/tissue-chemistry/primary-metabolites/extraction-and-determination-of-proline/

Chen, J.-B., Wang, S.-M., Jing, R.-L., & Mao, X.-G. (2009). Cloning the PvP5CS gene from common bean (*Phaseolus vulgaris*) and its expression patterns under abiotic stresses. Journal of Plant Physiology, 166(1), 12–19. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.02.010

Gobierno del Estado de Zacatecas. (2025, 3 de octubre). Definen Gobernador David Monreal y Directora de Alimentación para el Bienestar acciones para fortalecer la soberanía alimentaria con el programa de acopio de frijol. https://www.zacatecas.gob.mx/definen-gobernador-david-monreal-y-directora-de-

alimentacion-para-el-bienestar-acciones-para-fortalecer-la-soberania-alimentaria-con-el-programa-de-acopio-de-frijol/

Herrera Flores, T. S., Ortíz Cereceres, J., Delgado Alvarado, A., & Acosta Galleros, J. A. (2012). Crecimiento y contenido de prolina y carbohidratos de plántulas de frijol sometidas a estrés por sequía. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 3(4), 713–725. https://doi.org/10.29312/remexca.v3i4.1425

Hosseinifard, M., Stefaniak, S., Ghorbani Javid, M., Soltani, E., Wojtyla, Ł., & Garnczarska, M. (2022). Contribution of exogenous proline to abiotic stresses tolerance in plants: A review. International Journal of Molecular Sciences, 23(9), 5186. https://doi.org/10.3390/ijms23095186

Khan, P., Abdelbacki, A. M. M., Albaqami, M., Jan, R., & Kim, K.-M. (2025). Proline promotes drought tolerance in maize. Biology, 14(1), 41. https://doi.org/10.3390/biology14010041

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). *Cultivo de frijol, un OrgulloDeMéxico*. Gobierno de México.

RESPUESTA FISIOLÓGICA DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) A TRATAMIENTOS DE BIOESTIMULACIÓN CON ALGAS MARINAS, SILICIO Y TITANIO

Luis Landeros-Castañeda[1], Christian Emmanuel Cervantes-Gutierrez[1], Alondra Gisela Campos-Villarreal[1,2], Ricardo Trejo-Calzada[1 *]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Carretera Gómez Palacio - Ciudad Juárez, km 40. C. P. 3523. Bermejillo, Durango México. [2]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas. Av. Universidad S/N, Fracc. Filadelfia, 35010, Gómez Palacio, Durango. *Autor de correspondencia: rtrejo@chapingo.uruza.uruza.edu.mx

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una especie perteneciente a la familia *Solanaceae*. Su origen se encuentra en la región occidental de América del Sur, específicamente en zonas que abarcan desde el norte de Chile hasta Ecuador. Con el paso del tiempo, la especie se extendió hacia distintas regiones tropicales y subtropicales de México, donde se considera que tuvo lugar un importante proceso de domesticación que contribuyó a su desarrollo como cultivo (Peralta et al., 2006)

Durante el desarrollo de los cultivos agrícolas, las plantas están expuestas a diferentes condiciones del ambiente y a organismos que pueden generar situaciones de estrés. Ante esta situación, una de las alternativas que se ha comenzado a utilizar es la aplicación de bioestimulantes, ya que pueden ayudar a las plantas a enfrentar de mejor manera las condiciones adversas y favorecer su desarrollo y productividad (Akdağ et al., 2024). Los bioestimulantes agrícolas comprenden diferentes sustancias de origen natural y microorganismos que pueden aplicarse directamente sobre las plantas o las semillas. Su uso busca favorecer diversos procesos fisiológicos del cultivo, estimulando su crecimiento y desarrollo (Parađiković et al., 2019).

Diversos estudios han reportado que la aplicación de titanio mediante aspersión foliar puede generar efectos favorables en las características del fruto, contribuyendo a mejorar aspectos relacionados con sus propiedades organolépticas, como el sabor, así como aquellas características que determinan su valor y aceptación en el mercado (Carbajal-Vázquez et al., 2026). La presencia de silicio en las plantas puede contribuir a fortalecer su capacidad de respuesta ante distintas condiciones adversas, tanto las relacionadas con el ambiente como aquellas provocadas por organismos y características desfavorables del suelo (Hernández- Valencia et al., 2022). El silicio es considerado un elemento benéfico para las plantas debido a su participación en diferentes funciones relacionadas con el metabolismo y el funcionamiento fisiológico del cultivo (Liang et al., 2015). Las algas marinas y los productos obtenidos a partir de sus extractos se han empleado como una alternativa para favorecer el desarrollo de los cultivos ya que sus extractos han mostrado efectos positivos sobre el crecimiento de las plantas y su capacidad para enfrentar diferentes situaciones de estrés durante su desarrollo (Ahlawat et al., 2022).

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de algas marinas, silicio y titanio sobre la respuesta fisiológica del cultivo de tomate (*S. lycopersicum*) bajo condiciones protegidas. La aplicación de bioestimulantes a base de algas marinas, silicio y titanio mejorara la respuesta fisiológica del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo condiciones protegidas, favoreciendo la fotosíntesis, la conductancia estomática y el uso eficiente del agua, en comparación con las plantas sin aplicación de bioestimulantes.

Materiales y métodos

El experimento se estableció en el área experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA), ubicada en Bermejillo, Mapimí, Durango, México, bajo condiciones protegidas en túneles de malla sombra. Las semillas utilizadas fueron de la variedad CID F1 ® de crecimiento indeterminado de Harris Moran, las cuales fueron sembradas el 2 de febrero de 2026 en charolas de germinación y el trasplante se realizó el 5 de marzo de 2026, en un área experimental distribuida en tres túneles. Se establecieron camas de cultivo de 14.5 m de longitud y 1.2 m de ancho, con una distancia de 0.30 m entre plantas

Se establecieron cuatro tratamientos: T1, testigo sin bioestimulante, (aspersiones foliares solo con agua); T2, algas marinas (SeaZyme ®) 2.5 mL L^{-1}); T3, silicio (Optysil ®) 1.25 ml L^{-1}); y T4, titanio (Tytanit ®) 0.75 ml L^{-1}), bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela útil lo constituyó una cama de 12 m de largo por 1.2 m. de ancho. El riego se realizó cada tercer día, mientras que los bioestimulantes se aplicaron cada 15 días

La respuesta fisiológica se evaluó mediante un analizador de intercambio de gases por infrarrojo (IRGA) LICOR 6400 ®, Las mediciones se iniciaron a los 49 días después del trasplante (DDT) y se repitieron cada 15 días en cuatro plantas de cada tratamiento y repetición. Las variables que se determinaron fueron concentración intercelular de CO_2 (Ci), tasa de transpiración(T), déficit de presión de vapor (DPV), tasa fotosintética (A), conductancia estomática (Ce) y eficiencia en el uso del agua (EUA). La cosecha se inició a los 70 DDT y concluyó a los 90 DDT.

Los análisis estadísticos se realizaron el software PASW statistics Versión 18.0.0. Se realizó análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$ y prueba de medias de Tukey.

Resultados y Discusión

El análisis de varianza mostró que las diferencias fueron estadísticamente no significativas entre los tratamientos en todas las variables evaluadas ($p > 0.05$). Sin embargo, se observaron diferencias numéricas entre las medias de los tratamientos, destacando algunas tendencias particulares en las variables analizadas (Cuadro 1).

En las variables de intercambio gaseoso se observaron tendencias numéricas favorables en el tratamiento con silicio (T3), el cual presentó los mayores valores de fotosíntesis (16.88), conductancia estomática (0.22) y eficiencia en el uso del agua (2.24), en comparación con el testigo (T1), algas marinas (T2) y titanio (T4). Estos resultados sugieren una posible respuesta fisiológica favorable al uso de silicio.

Cuadro 1. Medias de variables fisiológicas evaluadas en tomate de crecimiento indeterminado en respuesta a tratamientos de bioestimulación con algas marinas, silicio y titanio.

Variable	Testigo (T1)	Algas marinas (T2)	Silicio (T3)	Titanio (T4)
Fotosíntesis	15.25[a]	15.83[a]	16.88[a]	15.89[a]
Conductancia estomática	0.19[a]	0.2[a]	0.22[a]	0.21[a]
CO2 interno	207.11[a]	218.29[a]	211.1[a]	216.46[a]
Transpiración	7.22[a]	7.56[a]	7.71[a]	8.04[a]
Vapor de déficit de presión	3.55[a]	3.46[a]	3.39[a]	3.59[a]
Eficiencia en el uso del agua	2.22[a]	2.13[a]	2.24[a]	2.02[a]

* Letras iguales indican diferencias no significativas en las filas

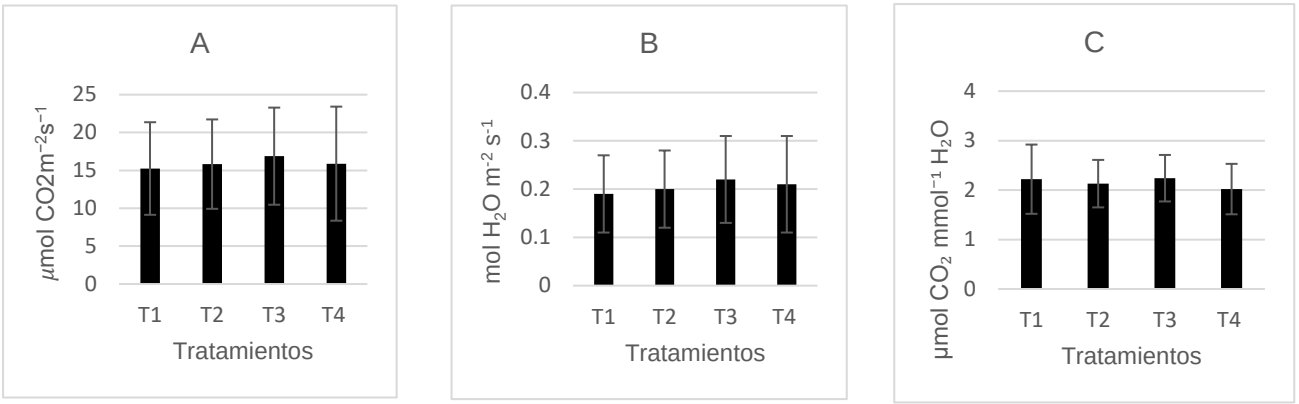


Figura 1. Fotosíntesis (A), conductancia estomática (B) y eficiencia en el uso de agua (C) de tomate sometido a tratamientos de bioestimulación (T1 testigo, T2 algas marinas, T3, silicio y T4 titanio).

La literatura reporta que el silicio puede intervenir en la regulación de la fotosíntesis, la conductancia estomática, el estado hídrico y la protección del aparato fotosintético, particularmente cuando la planta está sometida a algún tipo de estrés (Shaw et al., 2025; Thorne et al., 2020). En términos sencillos el silicio mostró el mejor estado hídrico y una mayor protección fisiológica de la planta, lo que favoreció un funcionamiento estomático más eficiente. Esto permitió una mayor entrada de CO_2 hacia los tejidos fotosintéticos y, en consecuencia, una mayor actividad fotosintética.

Por otro lado, el tratamiento con silicio mostró una menor respuesta numérica en las variables relacionadas con la transpiración, el CO_2 intercelular y el déficit de presión de vapor, en contraste con el titanio, que presentó los valores más elevados.

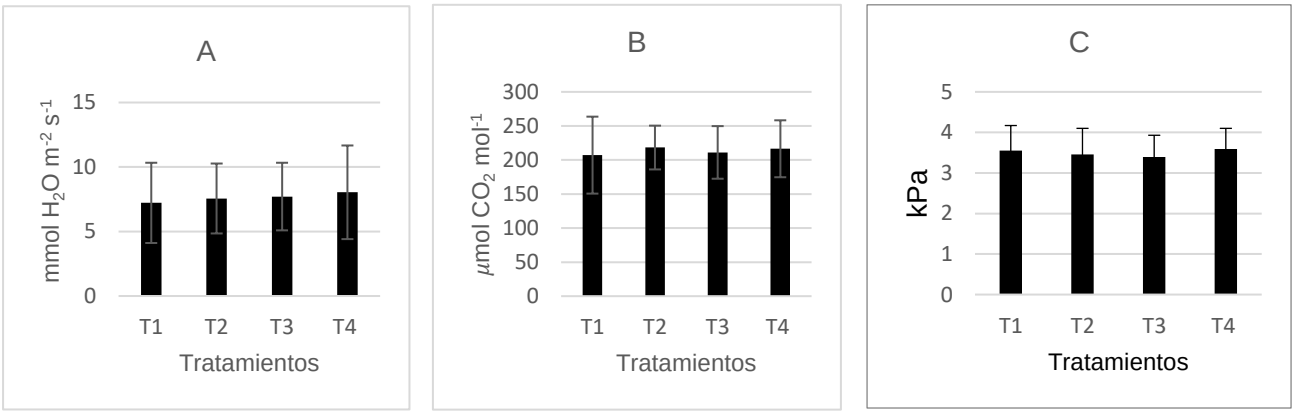


Figura 2. Transpiración (A), CO_2 intercelular (B), y déficit de presión de vapor (C) en tomate sometido a tratamientos de bioestimulación (T1 testigo, T2 algas marinas, T3, silicio y T4 titanio).

El uso de nanopartículas de dióxido de titanio ($nTiO_2$) ha mostrado efectos favorables sobre el funcionamiento fisiológico de distintas especies vegetales. En plantas de tomate (*S. lycopersicum* L.), por ejemplo, se ha reportado un aumento del 18.2 % en la tasa de fotosíntesis tras su aplicación (Qi et al., 2013). Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), se observaron tendencias en las variables de intercambio gaseoso. El silicio (T3) presentó la mayor fotosíntesis (16.88), conductancia estomática (0.22) y eficiencia en el uso del agua (2.24), mientras que el titanio (T4) registró la mayor transpiración (8.04), CO_2 intercelular (216.46) y déficit de presión de vapor (3.59).

La mayor transpiración y concentración de CO_2 intercelular observadas en T4 no estuvieron acompañadas por una mayor fotosíntesis. En contraste, T3 presentó menor presión de vapor y transpiración, pero mayor fotosíntesis y eficiencia en el uso del agua. Aunque Qi et al. (2013) reportaron un incremento de la fotosíntesis con TiO_2 en tomate, en este estudio el titanio no presentó la mayor tasa fotosintética, la respuesta observada en este estudio fue diferente, posiblemente por las condiciones experimentales o la respuesta del cultivo.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, posiblemente debido a que las plantas no estuvieron sometidas a un nivel de estrés suficientemente elevado para evidenciar el efecto de los bioestimulantes. Asimismo, es posible que las dosis aplicadas no hayan sido suficientes para generar una respuesta fisiológica significativa. Por ello, se recomienda realizar investigaciones adicionales que evalúen diferentes dosis y condiciones de estrés.

Conclusiones

En las condiciones en las que se desarrolló el experimento, la aplicación de bioestimulantes no modificó de manera significativa la respuesta fisiológica del cultivo de tomate. No obstante, el comportamiento observado permite considerar al silicio como una alternativa con potencial para favorecer el desempeño fisiológico del cultivo, particularmente en condiciones donde exista una mayor demanda ambiental. Estos resultados resaltan la importancia de considerar las condiciones de manejo y el nivel de estrés al evaluar la respuesta de los bioestimulantes. Por lo tanto, se requiere realizar mayor investigación sobre el tema, evaluando diferentes dosis, periodos de aplicación y condiciones de estrés que permitan determinar con mayor precisión su efecto en el cultivo de tomate.

Referencias

Ahlawat, J., Sehrawat, A. R., Chaudhary, R., & Pandey, D. (2022). Ascophyllum nodosum: a Potential Substitute for Synthetic Hormones for Tissue Culture Propagation of Capparis decidua (Forsk) Edgew. Regenerative Engineering and Translational Medicine, 8(1), 145–151. https://doi.org/10.1007/s40883-021-00215-0

Akdağ, N., Sancak, C., & Telci Kahramanoğulları, C. (2024). Biostimulants for sustainable agriculture in forage crops. Soil Studies, 13(2), 119–130. https://doi.org/10.21657/soilst.1601789

Carbajal-Vázquez, V. H., Trejo-Téllez, L. I., Herrera-Corredor, J. A., & Gómez-Merino, F. C. (2026). El titanio mejora la calidad de frutos de tomate en condiciones de estrés salino. Agro-Divulgación, 6(2). https://doi.org/10.54767/ad.v6i2.609

Hernández Valencia, R. D., Juárez Maldonado, A., Pérez Hernández, A., Lozano Cavazos, C. J., Zermeño González, A., & González Fuentes, J. A. (2022). Influence of organic fertilizers and silicon on the physiology, yield, and nutraceutical quality of the strawberry crop. Nova Scientia, 14(28). https://doi.org/10.21640/ns.v14i28.3032

Peralta, I.E., Knapp, S., Spooner, D.M. (2006). Nomenclature for wild and cultivated tomatoes. Report of the tomato genetics cooperative, TGC report, 56:6-12

Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H., & Song, A. (2015). Silicon in Agriculture From Theory to Practice. Springer. New York. DOI 10.1007/978-94-017-9978-2

Parađiković, N., Teklić, T., Zeljković, S., Lisjak, M., & Špoljarević, M. (2019). Biostimulants research in some horticultural plant species—A review. In Food and Energy Security (Vol. 8, Number 2). Wiley-Blackwell Publishing Ltd. https://doi.org/10.1002/fes3.162

Shaw, K., Thorne, S., Chapman, C., Fleming, A., Hartley, S., & Gray, J. (2025). The beneficial impact of silicon on wheat drought resilience is dependent on cultivar and stress intensity. Frontiers in Plant Science, 16. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1661405

Thorne, S. J., Hartley, S. E., & Maathuis, F. J. M. (2020). Is Silicon a Panacea for Alleviating Drought and Salt Stress in Crops? Frontiers in Plant Science, 11. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01221

Qi, M., Liu, Y. y Li, T. (2013) Nano-TiO2 Mejorar la fotosíntesis de hojas de tomate bajo estrés por calor suave. Biological Trace Element Research, 156:323–328). https://doi.org/10.1007/s12011-013-9833-2

EVALUACIÓN DEL COLOR EN GENOTIPOS DE CALABAZA CRIOLLA (*Cucurbita pepo* L.) CULTIVADA EN ZACATECAS

Maritza Martínez-Díaz[1], Valentín Melero-Meraz[2]*, Mayra Denise Herrera[2], Néstor Manuel Ortiz[3]

[1]Unidad académica de Ciencias Biológicas, Av. Preparatoria S/N Col. Agronómica, Zacatecas, Zac. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Km 24.5 Ctra. Zacatecas-Fresnillo, Calera de V.R., Zac. [3]Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México. Privada Xochicalco s/n, Temixco CP. 62580, Morelos. *Autor de correspondencia: melero.valentin@inifap.gob.mx

Introducción

El color es una cualidad organoléptica de los alimentos y se aprecia por medio del sentido de la vista. Suele ser considerados un factor psicológico de apreciación y un criterio para elegir un producto alimenticio (Mathias-Retting & Ah-Hen, 2014); en productos de origen vegetal se relaciona con la posibilidad de elegir la maduración o la intensidad del sabor (Barrett et al., 2010). El color a menudo se utiliza para determinar el contenido de pigmentos de un producto, que a su vez es un índice de calidad alimenticia o intensidad del sabor (Mathias-Retting & Ah-Hen, 2014; Itle & Kabelka, 2009). En el caso de especies vegetales como la calabaza (*Cucurbita pepo*), el color del fruto se encuentra estrechamente relacionado con su contenido de carotenoides. Según la literatura, este género expresa una alta variabilidad fenotípica y genotípica que es afectada por el ambiente, lo cual puede influir en la producción de carotenoides. Diversos estudios han documentado que estos pigmentos son determinantes en la coloración presente en dicho órgano vegetal. En particular, Azevedo-Meleiro y Rodríguez-Amaya (2007) observaron diferencias cualitativas y cuantitativas en la composición de carotenoides entre especies de calabaza, que se refleja en la variabilidad de tonalidades en la pulpa de los frutos. Por otra parte, los carotenoides desempeñan un papel antioxidante o precursores de metabolitos de salud humana como fotoreceptores y fotoprotectores de luz, reducción de enfermedades crónicas y precursores de vitamina A (Rodríguez-Restrepo et al., 2023). Otros beneficios de los fotoquímicos están asociados a la reproducción, el crecimiento y el desarrollo óptimo; un funcionamiento adecuado del sistema ocular; la integridad de las células epiteliales y el correcto funcionamiento del sistema inmunológico (Azevedo-Meleiro & Rodiguez-Amaya, 2007; Itle & Kabelka, 2009). Los colores de la pulpa de las calabazas generalmente incluyen una amplia gama de blancos, amarillos y naranjas. Estos colores pueden deberse a carotenoides específicos y las concentraciones que están determinadas por diversos factores genéticos y ambientales (Itle & Kabelka, 2009). A pesar de que la cantidad de carotenoides puede variar según la variedad se sabe que en *Cucurbita* spp, el contenido total de carotenoides puede varias de 0.2 a 19.57 mg/100g en la pulpa; aunque también estos valores pueden variar dependiendo de la región de cultivo (Ninčević et al., 2023). La evaluación objetiva del color en productos vegetales puede abordarse mediante diversas metodologías, cuya complejidad y costo varían considerablemente asociadas al equipo y la precisión. Uno de los sistemas más utilizados es el espacio de color CIE L*a*b*, el cual se basa en la utilización de fuentes de iluminación y observadores estándares mediante tres coordenadas: L* (luminosidad), a* (rojo-verde) y b* (amarillo-azul). Se mide con colorímetros triestímulo, cuyos sensores emulan la percepción del ojo humano junto con las coordenadas L*, °H, C, resultan en un sistema tridimensional esférico. El valor de C (cromaticidad) lo definen a* b* y junto con L*, mientras que el Angulo de matiz (°Hue) indica el tono de un color, que se lee como un único valor numérico. Este método se ha consolidado como una herramienta estándar y confiable para la caracterización objetiva de productos agrícolas (Minolta, sf). Determinar estas características en productos agrícolas tiene muchas aplicaciones y puede ser de apoyo en el manejo postcosecha, comercialización del fruto y programas de mejoramiento genético. El objetivo de este trabajo fue analizar la coloración de distintos genotipos de calabaza provenientes de Zacatecas, tanto en la epidermis como en el mesocarpio del fruto.

Materiales y métodos.

Se realizó la evaluación de frutos de calabaza provenientes de colectas regionales en el municipio de Rio Grande, Zacatecas. Los frutos fueron cosechados en cuatro parcelas que fueron manejadas por el agricultor con el paquete tecnológico tradicional local en condiciones de temporal (precipitación de 357.4 mm entre junio y noviembre) durante el ciclo 2025. Para este trabajo fueron recolectados 60 frutos y separados en ocho grupos con seis frutos cada conjunto de acuerdo con caracterizaciones fenotípicas tales como patrón de coloración, forma, tamaño, presencia de surcos y grado de costillada, entre otras; los grupos se nombraron y numeraron progresivamente como Genotipos (G1, G2…G8). Las lecturas del color de la epidermis se realizaron en dos sitios opuestos en la zona ecuatorial de la pepónide, mientras que para el mesocarpio se determinó con un espectrofotómetro portátil (X-rite Modelo- SP64, Canadá) de esfera. El equipo considera las dimensiones cromáticas tri-estímulo a* b* y L* del espacio color propuesto por la Comisión Internacional de Color (CIE: Commission Internationale de l'Eclairage, por sus siglas en francés) que en conjunto determinan el ángulo de matiz (ºh), cromaticidad (C) y la luminosidad (L*) dentro del espectro de luz visible. El color verdadero se determina por medio del ángulo de matiz (ºH). Está representado por valores entre 0º y 360º. Un ángulo de 0º o 360º representa un color rojo, un ángulo de 90º color amarillo y 270º al color azul. Se calcula mediante la fórmula: $ºHue= \tan^{-1}(a^*/_{b^*})$. Cromaticidad (C). Esta variable representa la saturación de color. Se representa con valores que van desde 0 para colores de baja pureza o mezclados a 100 para colores intensos o de mayor pureza. Se calcula mediante la ecuación: $C= (a^2+b^2)^{1/2}$. Luminosidad (L*) se representa dentro del espacio color en un eje cuyos valores oscilan entre 0 (colores negros u obscuros) y 100 (colores luminosos o claros). La información fue sometida a análisis de varianza para detectar diferencias significativas, y en dicho caso se aplicó el método de Tukey ($\alpha>0.05$). Para el análisis se utilizó el paquete estadístico Minitab v.17.

Resultados y discusión

Los parámetros de color mostraron diferencias entre la epidermis y el mesocarpio de los ocho genotipos de calabaza. En la epidermis, la L* registró datos que oscilan entre 31.51 a 74.90. Los valores más altos se presentaron en los genotipos G8, G4 y G7, y fueron significativamente (p=0.000) mayores a los genotipos 2, 5 y 6 con menor luminosidad con tendencias opacas o mate. El ángulo Hue (°h) presentó una mayor variación, de 76.88 a 115.97°, lo que refleja diversidad de tonalidad entre genotipos (p=0.000), desde amarillo con tendencia hacia tonos anaranjados hasta tonalidades amarillas con mayor desplazamiento hacia verde (Cuadro 1). El G8 presentó el menor grado de matiz (76.88°), acompañado de los mayores valores de b* (27.45) y C* (28.21), indicando una coloración más intensa. En contraste, el genotipo 5 presentó el mayor °h (115.97°), con baja luminosidad y cromaticidad (Cuadro 1). La coordenada b* fue positiva en todos los genotipos, con valores de 5.05 a 27.45, el G8, G4 y G7 fueron predominantemente amarillos (p=0.000) mientras que el resto de desplazaron hacia tonos más obscuros en tono verde (Figura 1A).

En el mesocarpio, los valores de L (69.99 a 79.81) presentaron poca variabilidad (p=0.052), entre genotipos. La cromaticidad también fue superior, particularmente en los genotipos G7, G6 y G3. El ángulo de matiz mostró poca variación (p=0.087) entre genotipos, con valores de 72.32 a 78.43°, esto indica que en la calabaza cultivada en Zacatecas predomina la tonalidad amarilla con ligera tendencia hacia tonos anaranjados. En cuanto a la C de la pulpa de la calabaza los valores oscilaron entre 33.56 y 48.29, aún con este intervalo no hubo diferencias entre los genotipos.

Cuadro 1. Análisis de las variables del color en fruto de calabaza criolla (*Cucurbita pepo*) de Zacatecas, los valores se representan la media ± error estándar.

	Epidermis			Mesocarpio		
Genotipo	L*	°h	C	L*	°h	C
1	42.56±2.5^{cd*}	100.63±2.02^{cd}	9.61±0.8^{c}	78.19±1.1	78.06±0.68	40.53±2.36
2	31.51±0.8^{d}	111.99±1.9^{ab}	7.41±0.9^{c}	79.81±1.2	76.54±0.93	39.69±2.47
3	37.51±5.2^{d}	108.01±3.3^{abc}	13.03±3.1^{c}	78.96±0.8	74.38±1.7	44.05±4.61
4	66.03±5.3^{ab}	82.73±1.9^{e}	22.51±3.3a^{b}	78.00±1.0	78.43±1.61	38.6±3.38
5	31.89±0.7^{d}	115.97±1.5^{a}	5.60±0.5^{c}	72.47±5.3	77.34±1.13	33.56±9.92
6	31.87±1.7^{d}	105.2±2.3b^{cd}	5.87±0.5^{c}	69.99±2.0	74.95±1.95	46.7±5.21
7	55.63±2.2^{bc}	97.86±1.9^{d}	13.89±0.8^{bc}	72.37±1.7	72.32±2.28	48.29±4.73
8	74.9±1.6^{a}	76.88±1.01^{e}	28.21±2.7^{a}	74.34±3.0	75.95±0.50	33.82±0.81

** Letras diferentes dentro de las columnas representan diferencia significativa entre genotipos.*

La coordenada b* del mesocarpio presentó valores considerablemente superiores a los observados en la epidermis, entre 32.63 y 45.59, evidenciando una mayor intensidad amarilla (Figura 1) sin diferencia entre los genotipos ya que los valores de todos los genotipos fueron positivos.

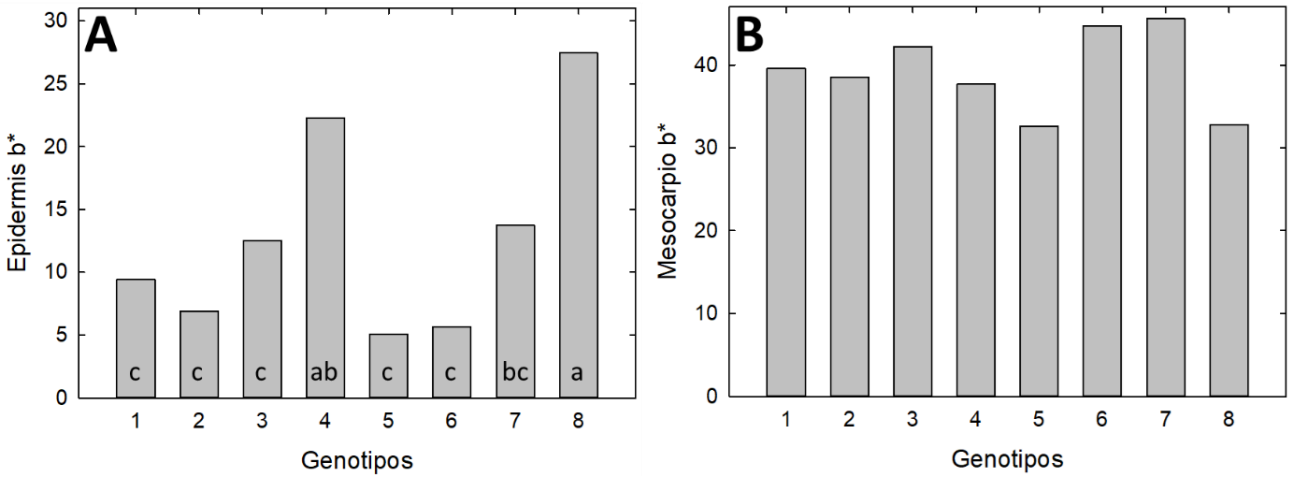


Figura 1. Coordenadas b* en la epidermis (A) y el mesocarpio (B) de calabaza criolla de Zacatecas; *las letras diferentes representan diferencia significativa entre genotipos*.

La coloración observada en el fruto de la calabaza puede atribuirse a un conjunto específico de pigmentos carotenoides candidatos, cuya identidad y proporción relativa determinan el matiz final de la pulpa. De acuerdo con estudios de asociación genómica en esta especie, los carotenoides predominantes en la pulpa del fruto corresponden a α-caroteno, β-caroteno, β-criptoxantina, luteína y zeaxantina, compuestos que se distribuyen de manera diferencial según el genotipo evaluado. Estos pigmentos se agrupan en dos categorías químicas principales: los carotenos (hidrocarburos puros, como el α- y β-caroteno) y las xantofilas (carotenoides oxigenados, como la luteína, la zeaxantina y la β-criptoxantina). Esta distinción resulta relevante desde el punto de vista de la pigmentación, ya que se ha documentado que la tonalidad específica de la pulpa desde blanco y crema hasta amarillo y naranja está positivamente correlacionada con el contenido total de carotenoides, y que un matiz particular puede asociarse con la proporción relativa de cada pigmento. Es decir, no es únicamente la cantidad total de carotenoides la que determina el color, sino también la composición cualitativa de la mezcla de pigmentos presentes (López et al.,2025).

Toda esta información nos puede ayudar a inferir que la diversidad de color está asociada a la caroteno-génesis y, en consecuencia, puede ser un indicador para seleccionar aquellos genotipos con una mayor concentración de carotenoides, lo cual puede aportar mayor contenido de este pigmento y en consecuencia mayores beneficios para la salud (Ninčević et al., 2023);

Adicionalmente, es importante señalar que los integrantes del género *Cucurbita* son de naturaleza alógama, lo cual genera una elevada variabilidad fenotípica y genotípica que incluye la composición de pigmentos del fruto (Ekeke et al., 2018). Esta variabilidad, influenciada además por factores ambientales, podría explicar las diferencias de tonalidad observadas entre distintos genotipos o accesiones de calabaza, y sugiere que la identificación de los pigmentos candidatos específicos requeriría un análisis cuantitativo mediante técnicas como HPLC, que permitan discriminar la contribución individual de cada carotenoide al color final del fruto, más allá de la medición colorimétrica global obtenida mediante el sistema CIE L*a*b* (Itle & Kabelka,2009).

Este tipo de estudios contribuyen a dar un destino específico para el aprovechamiento de los frutos de calabaza, como consumo de platillos preparados directamente o trasformación en harinas, purés, concentrados entre otros subproductos. Esta información en conjunto al rendimiento de la biomasa, semilla, tamaño de fruto pueden contribuir al desarrollo de paquetes tecnológicos o programas de mejoramiento genético dirigido. En este caso de estudio la clasificación fenotípica permitió organizar la variabilidad presente en el germoplasma y facilitar su comparación, constituyendo una aproximación preliminar para la diferenciación de materiales con potencial de aceptación hacia el consumidor.

Conclusiones

Los datos recabados en este estudio indican que el mesocarpio presenta una mayor coordenada b*, luminosidad y cromaticidad con respecto a la epidermis, lo que indica una coloración amarilla más uniforme e intensa. La epidermis muestra una mayor variabilidad en el ángulo Hue entre los distintos genotipos, evidenciando así diferencias más marcadas en las tonalidades externas de este fruto. El genotipo 8 resulto ser la variedad más destacable en su epidermis ya que presenta una mayor cromaticidad, luminosidad y coordenada b*, mientras que el G5 presenta los valores más bajos. Con respecto al mesocarpio los genotipos 7, 6 y 3 muestran los valores más elevados de cromaticidad y b*, valores asociados con una coloración amarilla más intensa. Los valores de b* indica poca variabilidad en todos los genotipos.

Referencias

Azevedo-Meleiro, C. H., & Rodriguez-Amaya, D. B. (2007). Qualitative and quantitative differences in carotenoid composition among *Cucurbita moschata, Cucurbita maxima,* and *Cucurbita pepo*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *55*(10), 4027-4033. https://doi.org/10.1021/jf063413d.

Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., & Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: Desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *50*(5), 369-389. https://doi.org/10.1080/10408391003626322.

Ekeke, C., Ogazie, C. A., & Agbagwa, I. O. (2018). Breeding biology and effect of pollinators on the fruit characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.), Cucurbitaceae. *Nigerian Journal of Botany, 31*(2), 325-344.

Itle, R. A., & Kabelka, E. A. (2009). Correlation between Lab* color space values and carotenoid content in pumpkins and squash (*Cucurbita* spp.). *HortScience*, 44(3), 633-637. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.3.633.

López, A., García, A., Castro-Cegrí, A., Segura, M., Benítez, Á., Palma, F., Garrido, D., Martínez, C., & Jamilena, M. (2025). A genome-wide association study reveals QTLs and candidate genes associated

with the carotenoid content in the flesh of *Cucurbita pepo* L. fruit. *Antioxidants*, 14(9), Article 1090. https://doi.org/10.3390/antiox14091090.

Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur, 42*(2), 57-66. https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07.

Minolta Co,. Ltd.(sf). *Precise Color Communication: Color control from perpection to instrumentation.* Minolta Sesing. https://sensing.konicaminolta.us/mx/learning-center/white-papers/precise-color-communication/.

Ninčević Grassino, A., Rimac Brnčić, S., Badanjak Sabolović, M., Šic Žlabur, J., Marović, R., & Brnčić, M. (2023). Carotenoid content and profiles of pumpkin products and by-products. *Molecules*, *28*(2), Article 858. https://doi.org/10.3390/molecules28020858.

Rodríguez-Restrepo, R. A., Valdés-Restrepo, M. P., Ortiz-López, J. J., & Ortiz-Grisales, S. (2023). Carotenogenesis and pigments in *Cucurbita* spp. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 26(1), 1-11. https://doi.org/10.31910/rudca.v26.n1.2023.2218.

RELACIONES ENTRE VARIABLES DE INTERCAMBIO GASEOSO EN TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) BAJO DIFERENTES ESTRATEGIAS DE BIOESTIMULACIÓN

Christian Emmanuel Cervantes-Gutierrez[1], Luis Landeros-Castañeda[1], Ricardo Trejo-Calzada[1], Alondra Gisela Campos-Villarreal[1,2,*]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Carretera Gómez Palacio-Ciudad Juarez, km 40. C. P. 3523. Bermejillo, Durango México. [2]Universidad Juarez del Estado de Durango, Facultada de Ciencias Biológicas. Av. Universidad S/N, Fracc. Filadelfia, 35010, Gómez Palacio, Durango. [*]Autor de correspondencia: alondrisima@hotmail.com

Introducción

La agricultura mundial tiene un desafío dual de aumentar la producción de alimentos para abastecer una población en constante crecimiento y además enfrentarse a los efectos que trae consigo el cambio climático (Ye et al., 2020). Se prevé que para el año 2050 el consumo de alimentos incrementará entre un 35-56%, lo que hace perentoria la implementación de una producción más sostenible (Van Dijk et al., 2021). Desde este enfoque la bioestimulación emerge como una alternativa para mitigar el estrés biótico y abiótico, aumentar la eficacia en la absorción de nutrientes y disminuir la dependencia de productos sintéticos (Ricci et al., 2019). Su mecanismo de acción influye en la regulación de procesos fisiológicos fundamentales en el desarrollo y productividad (Al-Karaki & Othman, 2023).

Dentro de los cultivos de mayor relevancia cabe señalar al tomate (*Solanum lycopersicum L.*) como una de las hortalizas con mayor crecimiento en la producción agrícola global con más de 186 millones de toneladas de acopio en 2022 (FAOSTAT, n.d.). Se ha evidenciado que el titanio (Ti) fomenta la elongación radical, la germinación y el crecimiento inicial, por otro lado, actúa directamente en procesos fisiológicos, bioquímicos, biomoleculares y sobre el estrés salino (Carbajal-Vázquez et al., 2026). Estudios demuestran que el silicio (Si) actúa sobre el crecimiento y calidad de los cultivos, la actividad fotosintética y la fijación de nitrógeno, de igual forma es un micronutriente que contribuye a la tolerancia ante el estrés biótico y abiótico como sequias, temperaturas extremas, toxicidad de metales pesados, salinidad, deficiencias nutrimentales y como protección ante patógenos (Liang et al., 2007; Ma, 2004; Richmond & Sussman, 2003; Vanderschuren et al., 2013). Por otro lado, las algas marinas y sus extractos favorecen el crecimiento del cultivo y estimulan la tolerancia al estrés (Ahlawat et al., 2022), aunado a eso mejoran las propiedades físicas del suelo contribuyendo de esa manera a tener una mejor fertilidad de los suelos (Verma et al., 2021).

La aplicación de estos productos puede generar respuestas fisiológicas relacionadas con el intercambio de gases. En este sentido, la evaluación de variables como la tasa fotosintética, la conductancia estomática, la concentración intercelular de CO_2, la transpiración, el déficit de presión de vapor y la eficiencia en el uso del agua permite caracterizar las relaciones existentes entre diferentes componentes del funcionamiento fisiológico de la planta. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar la relación entre las variables fisiológicas de intercambio gaseoso en plantas de tomate sometidas a diferentes condiciones de bioestimulación, mediante un análisis de correlación de Pearson.

Materiales y métodos

El experimento se estableció en el área experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA), ubicada en Bermejillo, Mapimí, Durango, México, bajo condiciones protegidas en túneles de malla sombra. Se inicio con la preparación de charolas de germinación el día 2 de febrero de 2026 donde se utilizaron semillas de la variedad CID F1 ® de crecimiento indeterminado de la casa Harris Moran. Se llevo a cabo el trasplante el día 5 de marzo en 12 camas de 12 m de longitud por 1.2 m de ancho y un espaciamiento de 0.30 m entre plantas.

Se evaluaron cuatro tratamientos: T1, testigo sin bioestimulante, se hicieron aspersiones foliares solo con agua; T2, algas marinas (SeaZyme ®) 2.5 mL L^{-1}; T3, silicio (Optysil ®) 1.25 ml L^{-1}; y T4, titanio (Tytanit ®) 0.75 ml L^{-1}, bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela útil lo constituyó una cama de 12 m de largo por 1.2 m. de ancho. El riego se realizó cada tercer día, mientras que los bioestimulantes se aplicaron cada 15 días. La respuesta fisiológica se evaluó mediante un analizador de intercambio de gases por infrarrojo (IRGA) LICOR 6400 ® Portable Photosynthesis System. Las mediciones se iniciaron a los 49 días después del trasplante (DDT) y se repitieron cada 15 días en cuatro plantas de cada tratamiento y repetición. Las variables que se determinaron fueron concentración intercelular de CO_2 (C i), tasa de transpiración(T), déficit de presión de vapor (DPV), tasa fotosintética (A), conductancia estomática (Ce) y eficiencia en el uso del agua (EUA). La cosecha se inició a los 70 DDT y concluyó a los 90 DDT.

El presente estudio forma parte de un experimento en el que se evaluó la respuesta de las plantas a los diferentes tratamientos. El análisis de los efectos de los tratamientos mediante análisis de varianza corresponde a un trabajo independiente. En este estudio, los tratamientos se consideraron como parte del contexto experimental y el análisis se enfocó en determinar las relaciones entre las variables fisiológicas de intercambio gaseoso.

Para ello, se utilizó la totalidad de las observaciones disponibles en la base de datos, correspondientes a los cuatro tratamientos evaluados. Las observaciones de los cuatro tratamientos se analizaron conjuntamente mediante un análisis de correlación de Pearson entre las variables fisiológicas evaluadas, con el propósito de determinar la existencia y el grado de asociación lineal entre ellas. El coeficiente de correlación de Pearson (r) permitió determinar la dirección y magnitud de la asociación lineal entre cada par de variables. El análisis se realizó con 240 observaciones válidas para cada par de variables. Los valores de significancia (p) se utilizaron para determinar la significancia estadística de las asociaciones, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software PASW statistics Versión 18.0.0.

Resultados y discusión

El análisis de correlación de Pearson realizado considerando conjuntamente los datos de los cuatro tratamientos, mostró asociaciones lineales altamente significativas entre las variables de intercambio gaseosos evaluadas (cuadro1). La conductancia estomática y la transpiración mostraron la asociación positiva más sustancial de todo el conjunto de correlaciones ($r = 0.881$, $p < 0.001$). Del mismo modo la actividad fotosintética mostro una estrecha correlación directa en la transpiración ($r= 0.835$, $p < 0.001$) así como con la conductancia estomática, ($r = 0.789$, $p < 0.001$).

Por otra parte, se identificaron correlaciones inversas de magnitud moderada a fuerte relacionadas a la concentración de CO_2 intracelular. Se observó una correlación negativa fuerte con la eficiencia en el uso del agua ($r= -0.769$, $p < 0.001$), así como con el déficit de presión de vapor ($r= -0.432$, $p < 0.001$) y la fotosíntesis ($r= -0.423$, $p < 0.001$).

La estrecha correlación positiva entre la conductancia estomática y la transpiración, así como con la fotosíntesis, es consistente con la relación fisiológica existente entre la regulación estomática, el intercambio de vapor del agua y la entrada de CO_2 a la hoja (Taiz, et al., 2015). La apertura de los poros estomáticos reduce la resistencia difusiva foliar, lo que facilita la difusión pasiva de vapor de agua hacia la atmósfera exterior, favoreciendo la entrada de CO_2 hacia los sitios de carboxilación del mesófilo, lo que puede incrementar la fijación de CO_2 (Farquhar & Sharkey, 1982).

La asociación directa observada entre fotosíntesis y transpiración indica una estrecha relación entre la ganancia de carbono y la pérdida de agua por la hoja, bajo las condiciones ambientales del cultivo. Esta relación es consistente con el intercambio de CO_2 y vapor de agua que ocurre a través de las estomas, debido a que ambos procesos están vinculados a la apertura estomática (Cowan & Farquhar, 1977).

Por otra parte, la correlación negativa entre la fotosíntesis y el carbono intracelular refleja un mecanismo de agotamiento o demanda bioquímica (drawdown). A medida que la tasa fotosintética se incrementa, la actividad de carboxilación mediada por la RuBisCO consume activamente el CO_2 acumulado en los espacios intercelulares, disminuyendo sus concentraciones relativas (Farquhar et al., 1980). Del mismo modo la correlación entre el vapor de déficit de presión y el carbono intracelular evidencia la respuesta estomática protectora frente al estrés hídrico ambiental, es decir el incremento en la demanda evaporativa del aire induce un cierre estomático preventivo para mitigar la pérdida desmedida de agua; este cierre restringe la difusión externa de CO_2, provocando que el consumo metabólico en el mesófilo agote las reservas internas y disminuya el valor de carbono intracelular (Oren et al., 1999).

La marcada relación inversa entre el CO_2 intracelular y la eficiencia en el uso del agua ($r = -0.769$, $p < 0.001$) fue una de las asociaciones negativas más fuertes identificadas en el estudio. Esta relación debe interpretarse considerando que la eficiencia en el uso del agua integra la asimilación de carbono y la pérdida de agua de la planta. Por ello, cambios en la disponibilidad interna de CO_2 pueden estar asociados con modificaciones en la relación entre fijación de carbono y transpiración (Farquhar & Sharkey, 1982). Sin embargo, esta correlación no permite concluir por sí misma que un incremento del CO_2 intracelular provoque una disminución de la eficiencia en el uso del agua.

En conjunto, las asociaciones observadas muestran una estrecha relación entre los componentes del intercambio de carbono y agua de las plantas de tomate evaluadas bajo las cuatro condiciones experimentales. Las relaciones positivas entre fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración sugieren una coordinación entre la entrada de CO_2 y la pérdida de agua, mientras que las relaciones negativas con el CO_2 intracelular reflejan la interacción entre la disponibilidad interna de carbono y los procesos fotosintéticos. Estas asociaciones se observaron al considerar conjuntamente las observaciones de los cuatro tratamientos y, por tanto, no deben interpretarse como efectos específicos de alguno de los bioestimulantes.

Cuadro 1. Matriz de coeficientes de correlación de Pearson (r) entre variables de intercambio gaseoso en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo diferentes tratamientos de bioestimulación.

		Conductancia estomática	Carbono intracelular	Transpiración	Déficit de presión de vapor	Eficiencia en el uso del agua
Fotosíntesis	Correlación de Pearson	.789	-.423	.835	.008	.224
	Sig. (bilateral)	<.001	<.001	<.001	.902	<.001
Conductancia estomática	Correlación de Pearson		.142	.881	-.306	-.193
	Sig. (bilateral)		.028	<.001	<.001	.003
CO_2 intracelular	Correlación de Pearson			-.057	-.432	-.769
	Sig. (bilateral)			.376	<.001	<.001
Transpiración	Correlación de Pearson				.148	-.279
	Sig. (bilateral)				.022	<.001
Vapor de déficit de presión	Correlación de Pearson					-.177
	Sig. (bilateral)					.006

* p<0.05 indica correlación significativa.

Conclusión

El intercambio gaseoso en el cultivo de tomate mostró relaciones significativas entre algunas de sus principales variables fisiológicas. La fotosíntesis presentó asociaciones positivas con la conductancia estomática y la transpiración, mientras que la conductancia estomática también mostró una relación positiva con la transpiración. Asimismo, la concentración intercelular de CO_2 presentó asociaciones negativas con la fotosíntesis y la eficiencia en el uso del agua. En conjunto, estos resultados evidencian que las variables de intercambio gaseoso mantienen diferentes grados de asociación y reflejan la interacción entre la regulación estomática, la asimilación de CO_2 y el intercambio de agua bajo las condiciones experimentales evaluadas.

Referencias

Ahlawat, J., Sehrawat, A. R., Chaudhary, R., & Pandey, D. (2022). Ascophyllum nodosum: A potential substitute for synthetic hormones for tissue culture propagation of Capparis decidua (Forsk) Edgew. Regenerative Engineering and Translational Medicine, 8(1), 145–151. https://doi.org/10.1007/s40883-021-00215-0

Al-Karaki, G. N., & Othman, Y. (2023). Effect of foliar application of amino acid biostimulants on growth, macronutrient, total phenol contents and antioxidant activity of soilless grown lettuce cultivars. South African Journal of Botany, 154, 225–231. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.034

Carbajal-Vázquez, V. H., Trejo-Téllez, L. I., Herrera-Corredor, J. A., & Gómez-Merino, F. C. (2026). El titanio mejora la calidad de frutos de tomate en condiciones de estrés salino. Agro-Divulgación, 6(2). https://doi.org/10.54767/AD.V6I2.609

Cowan, I. R., & Farquhar, G. D. (1977). Stomatal function in relation to leaf metabolism and environment. Symposia of the Society for Experimental Biology, 31, 471–505.

FAOSTAT. (n.d.). FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved September 10, 2026, from https://www.fao.org/faostat/es/#home

Farquhar, G. D., & Sharkey, T. D. (1982). Stomatal conductance and photosynthesis. Annual Review of Plant Physiology, 33(1), 317–345. https://doi.org/10.1146/annurev.pp.33.060182.001533

Farquhar, G. D., von Caemmerer, S., & Berry, J. A. (1980). A biochemical model of photosynthetic CO_2 assimilation in leaves of C_3 species. Planta, 149(1), 78–90. https://doi.org/10.1007/BF00386231

Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y. G., & Christie, P. (2007). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. Environmental Pollution, 147(2), 422–428. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.06.008

Ma, J. F. (2004). Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. Soil Science and Plant Nutrition, 50(1), 11–18. https://doi.org/10.1080/00380768.2004.10408447

Oren, R., Sperry, J. S., Katul, G. G., Pataki, D. E., Ewers, B. E., Phillips, N., & Schäfer, K. V. R. (1999). Survey and synthesis of intra- and interspecific variation in stomatal sensitivity to vapour pressure deficit. Plant, Cell & Environment, 22(12), 1515–1526. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00513.x

Ricci, M., Tilbury, L., Daridon, B., & Sukalac, K. (2019). General principles to justify plant biostimulant claims. Frontiers in Plant Science, 10, 494. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00494

Richmond, K. E., & Sussman, M. (2003). Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. Current Opinion in Plant Biology, 6(3), 268–272. https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00041-4

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). Plant physiology and development (6th ed.). Sinauer Associates.

Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. Nature Food, 2(7), 494–501. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9

Vanderschuren, H., Boycheva, S., Li, K. T., Szydlowski, N., Gruissem, W., & Fitzpatrick, T. B. (2013). Strategies for vitamin B6 biofortification of plants: A dual role as a micronutrient and a stress protectant. Frontiers in Plant Science, 4, 488. https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00143

Verma, N., Sehrawat, K. D., Mundlia, P., Sehrawat, A. R., Choudhary, R., Rajput, V. D., Minkina, T., van Hullebusch, E. D., Siddiqui, M. H., & Alamri, S. (2021). Potential use of Ascophyllum nodosum as a biostimulant for improving the growth performance of Vigna aconitifolia (Jacq.) Marechal. Plants, 10(11), 2361. https://doi.org/10.3390/plants10112361

Ye, L., Zhao, X., Bao, E., Li, J., Zou, Z., & Cao, K. (2020). Bio-organic fertilizer with reduced rates of chemical fertilization improves soil fertility and enhances tomato yield and quality. Scientific Reports, 10, 177. https://doi.org/10.1038/s41598-019-56954-2

TENDENCIAS DE TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y EVAPORACIÓN EN CINCO ESTADOS DEL CENTRO-NORTE DE MÉXICO

Ramiro Chávez Mota[1]*

[1]Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, México. * Autor de correspondencia: rchavezm@chapingo.mx

Introducción

El cambio climático no se manifiesta de manera uniforme en el espacio ni afecta con la misma intensidad a las distintas variables climáticas. En particular, las temperaturas máximas (Tmax) y mínimas (Tmin) pueden presentar tasas de cambio diferentes, por lo que su análisis por separado permite identificar respuestas que pueden quedar ocultas al considerar únicamente la temperatura media (Vose et al., 2005).

La región norte y centro-norte de México presenta una considerable heterogeneidad fisiográfica y climática. Los gradientes topográficos y las diferencias en la disponibilidad de humedad contribuyen a generar contrastes regionales en temperatura y precipitación, particularmente entre las zonas montañosas, el Altiplano y las regiones bajo mayor influencia de fuentes de humedad (Pineda-Martínez et al., 2007). Estas diferencias permiten esperar respuestas espaciales distintas de las variables climáticas ante cambios de largo plazo. En consecuencia, se plantea como hipótesis de trabajo que las tendencias de Tmax, Tmin, precipitación y evaporación difieren en dirección y magnitud entre los estados analizados.

En México se ha documentado una marcada heterogeneidad espacial y temporal de las tendencias climáticas. Pavia et al. (2009) identificaron diferencias regionales en Tmax y Tmin, particularmente en sectores del centro-norte del país; asimismo, estudios realizados en la cuenca Nazas-Aguanaval han mostrado variabilidad regional en temperatura y precipitación (Cano-Villegas et al., 2021), mientras que en Zacatecas se han documentado tendencias contrastantes de evaporación entre estaciones (Magallanes-Quintanar et al., 2017).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar y comparar las tendencias y la magnitud de los cambios en la temperatura máxima y mínima, precipitación y evaporación en Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí durante el periodo general 1902–2012.

Materiales y métodos

El estudio comprendió los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí durante el periodo general 1902–2012. Se analizaron registros diarios de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), precipitación y evaporación.

Se consideró válido un mes con al menos 28 observaciones diarias, una estación del año con al menos dos meses válidos y un año con al menos tres de las cuatro estaciones del año válidas. Se seleccionaron las series con un mínimo de 30 años válidos, no necesariamente consecutivos, y una porosidad ≤30 % entre el primer y el último año con información. Los datos faltantes no fueron imputados; el análisis se realizó exclusivamente con los años que cumplieron los criterios de validez establecidos. La porosidad ≤30 % constituyó un criterio de selección aplicado desde la depuración inicial de las series. No se realizaron pruebas específicas de homogeneidad para detectar posibles discontinuidades no climáticas, por lo que esta condición debe considerarse una limitación en la interpretación de las tendencias.

Para cada estación se calcularon índices anuales de media, desviación estándar, máximo, mínimo y amplitud. Para cada serie se evaluó la presencia de autocorrelación serial y, cuando esta fue significativa, se aplicó el procedimiento Trend-Free Pre-Whitening (TFPW) antes de la prueba de Mann–Kendall (MK), con el propósito de reducir su efecto sobre la detección de tendencias. Se consideraron significativas las tendencias con $p \leq 0.10$ y su magnitud se estimó mediante la pendiente de Sen, expresada por década. Las tendencias se clasificaron como positivas, negativas o neutrales.

El número de estaciones varió entre variables y estados debido a la disponibilidad y calidad de los registros. Esta diferencia fue particularmente importante para evaporación, debido al menor número de estaciones que cumplió los criterios de selección establecidos. Por ello, los resultados de esta variable se interpretaron como tendencias de las estaciones disponibles y no como una caracterización exhaustiva del comportamiento espacial de la evaporación en cada entidad. En conjunto, el área de estudio comprendió 327 estaciones climatológicas distintas (Figura 1).

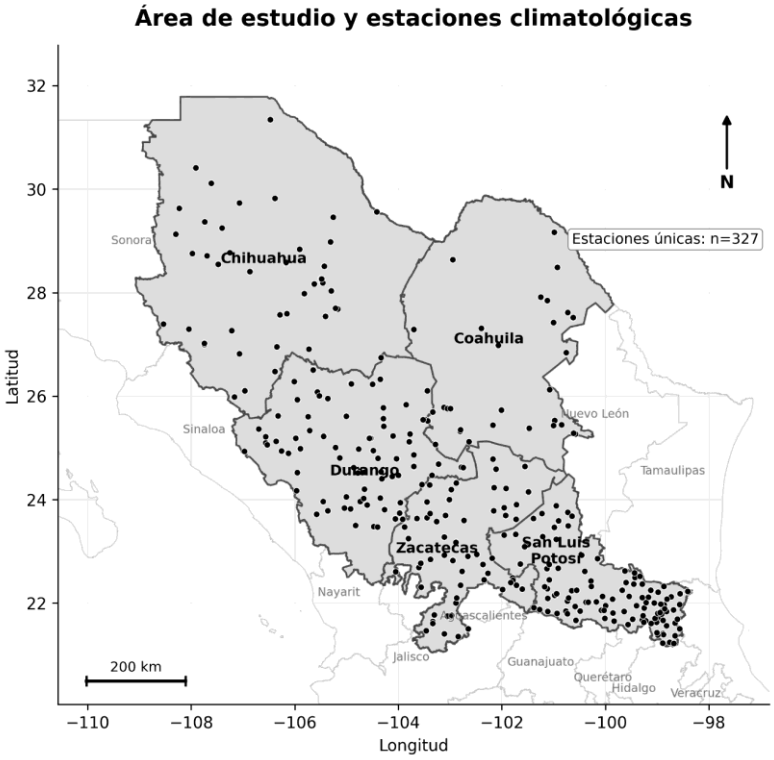


Figura 1. Área de estudio y distribución de las estaciones climatológicas analizadas.

Resultados y discusión

Las tendencias climáticas mostraron una marcada heterogeneidad entre estados y variables (Figura 2). En Tmax destacó San Luis Potosí, con 53 % de las estaciones analizadas con tendencia positiva, mientras que en Tmin sobresalió Zacatecas, con 52 % de tendencias negativas. La precipitación fue predominantemente neutral, excepto en Chihuahua, donde 34 % de las estaciones presentó tendencia positiva. En evaporación fueron más frecuentes las tendencias negativas, particularmente en Zacatecas (48 % de las estaciones analizadas).

El predominio de tendencias decrecientes de evaporación es consistente con estudios previos realizados en México. Breña-Naranjo et al. (2017) documentaron una disminución general de la evaporación de tanque en el país y señalaron a la velocidad del viento y la radiación neta entre los principales factores asociados con estos cambios. Asimismo, Magallanes-Quintanar et al. (2017) encontraron un predominio de tendencias negativas en estaciones de Zacatecas. Este comportamiento, aparentemente contrario al incremento de la temperatura, ha sido descrito como la "paradoja de la evaporación" y evidencia que la evaporación responde no sólo a la temperatura, sino también a factores como la radiación, el viento y la humedad atmosférica.

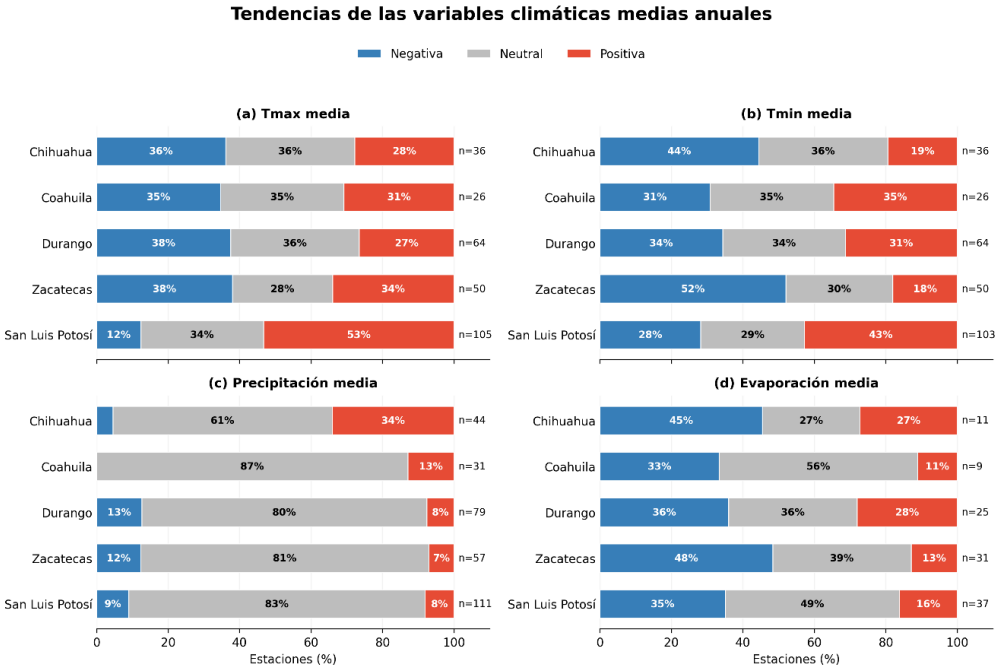


Figura 2. Distribución de las tendencias de las variables climáticas medias anuales.

La magnitud de las tendencias significativas también presentó importantes diferencias espaciales (Figura 3). En temperatura, las medianas de las pendientes de Sen oscilaron entre **+0.25 y +0.56 °C/década** para las tendencias positivas y entre **−0.27 y −0.54 °C/década** para las negativas. La precipitación y la evaporación tampoco mostraron un patrón uniforme entre estados.

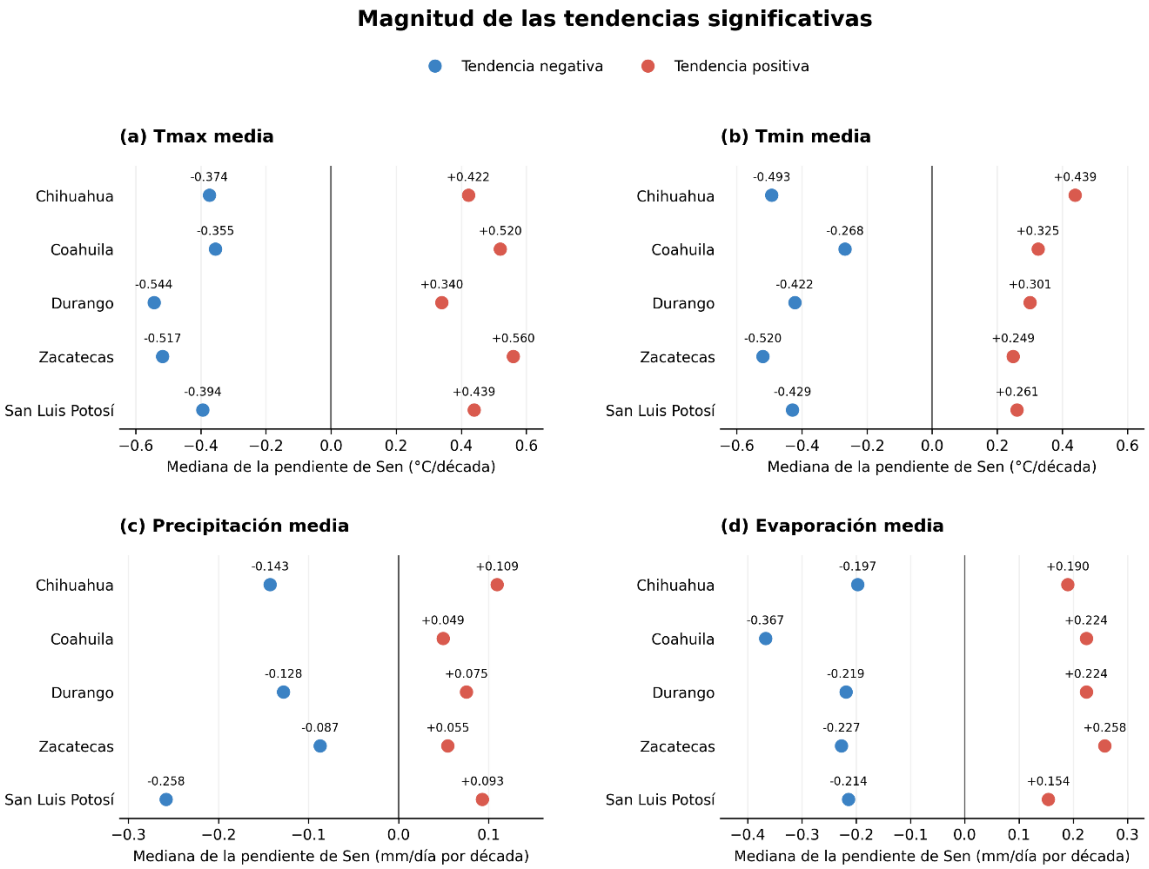


Figura 3. Magnitud de las tendencias significativas de las variables climáticas medias anuales. Los valores corresponden a la mediana de la pendiente de Sen de las estaciones con tendencia significativa, separadas según su dirección.

Los cambios también involucraron la variabilidad térmica (Figura 4). En Zacatecas, 60 % de las estaciones presentó incremento significativo en la desviación estándar de Tmin. Por otra parte, la amplitud de Tmin disminuyó significativamente en una proporción importante de estaciones de Chihuahua (58 %) y San Luis Potosí (42 %).

Los cambios en la variabilidad de Tmin pueden tener implicaciones agronómicas, ya que una mayor dispersión térmica puede aumentar la ocurrencia potencial de valores alejados de la media, tanto fríos como cálidos. Sin embargo, estos indicadores no permiten inferir directamente cambios en la frecuencia de heladas o noches cálidas, cuya evaluación requiere el análisis de umbrales térmicos específicos.

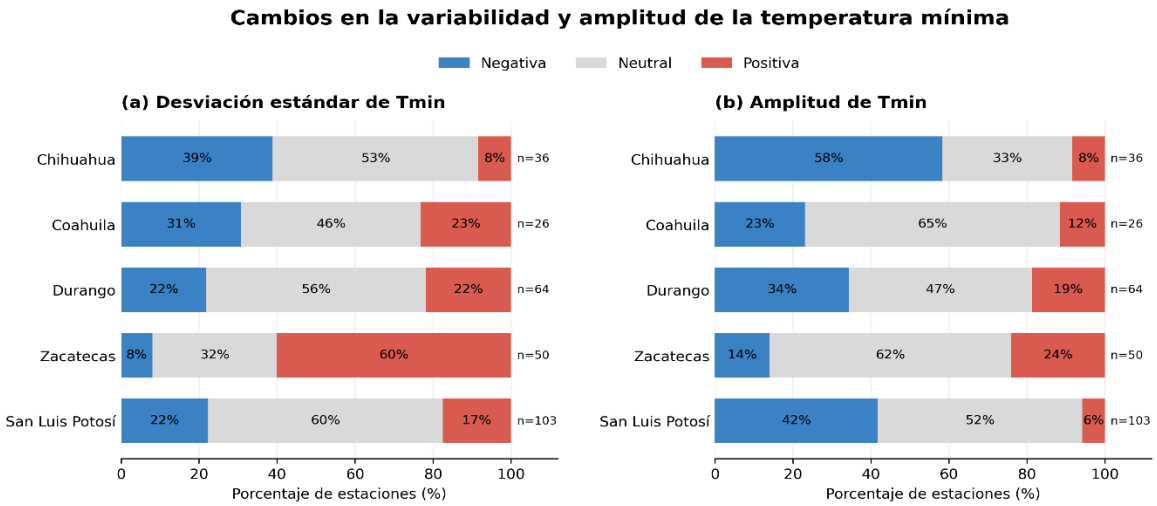


Figura 4. Tendencias de la desviación estándar y amplitud de la temperatura mínima.

Conclusiones

Las tendencias de las variables climáticas analizadas mostraron una marcada heterogeneidad espacial y entre variables en los cinco estados estudiados. Los cambios térmicos no presentaron una dirección uniforme; destacó el predominio de tendencias positivas de Tmax en San Luis Potosí y negativas de Tmin en Zacatecas. La precipitación permaneció predominantemente sin tendencia significativa, mientras que en evaporación fueron más frecuentes las tendencias negativas, particularmente en Zacatecas.

Los cambios no se limitaron a los valores medios, ya que también se identificaron modificaciones en la variabilidad y amplitud de Tmin, lo que evidencia cambios adicionales en el comportamiento térmico que pueden tener implicaciones agronómicas y requieren el análisis específico de indicadores de extremos. La menor disponibilidad de estaciones con registros de evaporación que cumplieron los criterios de selección limita su caracterización espacial en algunas entidades y evidencia la conveniencia de fortalecer el monitoreo de esta variable.

Referencias

Breña-Naranjo, J. A., Laverde-Barajas, M. Á., & Pedrozo-Acuña, A. (2017). Changes in pan evaporation in Mexico from 1961 to 2010. International Journal of Climatology, 37(1), 204–213. https://doi.org/10.1002/joc.4698

Cano-Villegas, O., Muro-Pérez, G., Jurado, E., Flores, J., Castañeda-Gaytan, J. G., Aguirre, O., & Sánchez, J. (2021). Tendencias de cambio climático para la parte media-baja de la cuenca endorreica Nazas-Aguanaval con un enfoque geográfico. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 8(3), e2704. https://doi.org/10.19136/era.a8n3.2704

Magallanes-Quintanar, R., López Hernández, A. M., & Galván-Tejada, C. E. (2017). Análisis de la evaporación y cambio climático en el centro de México. Nova Scientia, 9(18), 76–93. https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.750

Pavia, E. G., Graef, F., & Reyes, J. (2009). Annual and seasonal surface air temperature trends in Mexico. International Journal of Climatology, 29(9), 1324–1329. https://doi.org/10.1002/joc.1787

Pineda-Martínez, L. F., Carbajal, N., & Medina-Roldán, E. (2007). Regionalization and classification of bioclimatic zones in the central-northeastern region of México using principal component analysis (PCA). Atmósfera, 20(2), 133–145.

Vose, R. S., Easterling, D. R., & Gleason, B. (2005). Maximum and minimum temperature trends for the globe: An update through 2004. Geophysical Research Letters, 32(23), L23822. https://doi.org/10.1029/2005GL024379

EVALUACIÓN DE ALGORITMOS ESTADÍSTICOS VERSUS REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA LA CLASIFICACIÓN DE COBERTURA DEL SUELO CON IMÁGENES MULTIESPECTRALES

José Israel Casas Flores*, Alfonso Serna Pérez, Francisco Guadalupe Echavarría Cháirez

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Calera, Zac. México. C.P. 98500. *Autor para correspondencia: casas.israel@inifap.gob.mx

Introducción

El uso de imágenes multiespectrales para el análisis de los recursos del pastizal es fundamental para la planificación del manejo ganadero y su diagnóstico ambiental. Los métodos de clasificación supervisada son procedimientos empleados para la identificación de áreas espectralmente similares dentro de una imagen obtenida con sensores remotos. Debido al avance de los Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) y la geomática computacional, es pertinente probar la utilidad de modelos tradicionales de aprendizaje automático comparados con arquitecturas de Inteligencia Artificial (IA), como las Redes Neuronales Artificiales en el mapeo de la cobertura del suelo.

Estudios recientes han demostrado que algoritmos tradicionales basados en ensambles y árboles de decisión suelen ser más robustos en conjuntos de datos de tamaño de muestra limitado y sin escalar (Al-Najjar et al., 2019; Jamali, 2021) que algoritmos de IA. El objetivo de este trabajo fue comparar el rendimiento estadístico y la extrapolación espacial de la cobertura del suelo de tres algoritmos tradicionales (Random Forest, Decision Tree y K-Nearest Neighbors) contra una Red Neuronal Artificial, en un agostadero semiárido de Zacatecas.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en un agostadero de 32.2 ha en el municipio de Villa de Cos, Zacatecas (Latitud 23°36'6.59"N, Longitud 102°10'3.84"O). Mediante vuelos con un dron DJI Phantom 4 Multiespectral a 100 metros de altura se obtuvo un ortomosaico. Para la clasificación espacial, se definieron cuatro clases de cobertura del suelo: Arbustos, Cactáceas, Pastos y Suelo y Grava.

Para identificar las clases, se creó un mapa de vectores (shapefile) con polígonos de entrenamiento en QGIS. La extracción de firmas espectrales, balanceo de clases (oversampling) y validación cruzada (5-Fold Cross-Validation) se realizaron mediante un script desarrollado en Python utilizando scikit-learn, que es una biblioteca de código abierto enfocada en el aprendizaje automático. Se evaluaron cuatro algoritmos: vecinos cercanos (KNN), bosque aleatorio (RF), árbol de decisión (DT) y una red neuronal de percepción multicapa (MLP). Para evaluar la significancia estadística de las diferencias en el rendimiento de los modelos, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Finalmente, se extrapolaron los modelos entrenados sobre la totalidad de los píxeles del ortomosaico para cuantificar el porcentaje espacial de cada clase de cobertura.

Resultados y discusión

El análisis estadístico demostró discrepancias profundas en la capacidad de generalización y aprendizaje entre los algoritmos. La prueba de Kruskal-Wallis arrojó un estadístico H=17.85 con un valor de p = 0.00047 (p<0.05), demostrando que existen diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento de clasificación de los modelos evaluados. Los modelos estadísticos tradicionales lograron una alta separabilidad de las firmas espectrales. RF y DT obtuvieron una proporción de aciertos de 1.00 en casi todas las clases, mientras que KNN mantuvo precisiones superiores a 0.96 (Figura 1). Estos resultados coinciden con Abdi, 2020; y Talukdar et al., 2020 quienes destacan la capacidad de los modelos de ensamble para particionar datos espectrales crudos y no paramétricos sin requerir normalización, minimizando el sobreajuste. En contraste, la Inteligencia Artificial (Red Neuronal) presentó severos problemas de confusión interclase (Figura 1). El modelo solo acertó en el 75% de los casos para la Clase 1 (Arbustos), confundiendo un 21% de sus píxeles reales con la Clase 4 (Pastos), mientras que la Clase 4 (Pastos) sufrió una fuga del 13% de su superficie hacia la Clase 1 (Arbustos).

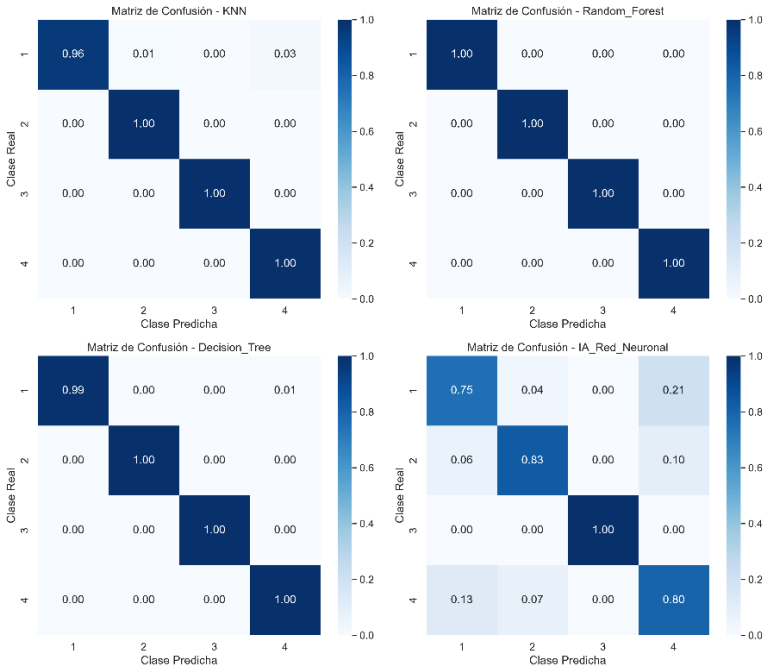


Figura 1. Matrices de confusión normalizadas para los cuatro algoritmos evaluados (KNN, RF, DT e IA_Red_Neuronal).

Las deficiencias de aprendizaje de la Red Neuronal se hicieron notorios al proyectar los modelos sobre la totalidad del ortomosaico. Los algoritmos estadísticos mostraron un alto grado de consenso en la estimación de la cobertura del suelo (Cuadro 1). Los tres modelos estadísticos concuerdan en que la Clase 1 es dominante, abarcando entre el 81% y el 86% de la superficie del agostadero. Sin embargo, la Red Neuronal colapsó espacialmente al clasificar la imagen completa ya que estimó apenas un 18.95% para la Clase 1, mientras que sobreestimó masivamente la Clase 3, asignándole un 64.49% de la superficie, además de sobreestimar la Clase 4 hasta un 12.10%.

Cuadro 1. Porcentajes de cobertura de suelo por modelo utilizado, Noria de Burros, Villa de Cos, Zacatecas.

Modelo	Clase			
	Arbustos (Clase1)	**Cactáceas (Clase 2)**	**Pastos (Clase 3)**	**Suelo y grava (Clase 4)**
KNN	81.95 %	4.83 %	7.81 %	5.41 %
RF	86.29 %	4.12 %	8.49 %	1.10 %
DT	85.50 %	4.14 %	6.50 %	3.85 %
RN	18.95 %	4.46 %	64.49 %	12.10 %

La cobertura espacial muestra que las arquitecturas profundas como el MLP fallan críticamente al procesar reflectancias multiespectrales crudas si no se aplican preprocesamientos estrictos de escalado (Osco et al., 2021). Los algoritmos basados en entropía espacial (RF) o distancias (KNN) demostraron mayor adaptación a esta varianza radiométrica. Los mapas espaciales resultantes de los cuatro modelos se muestran en la Figura 2.

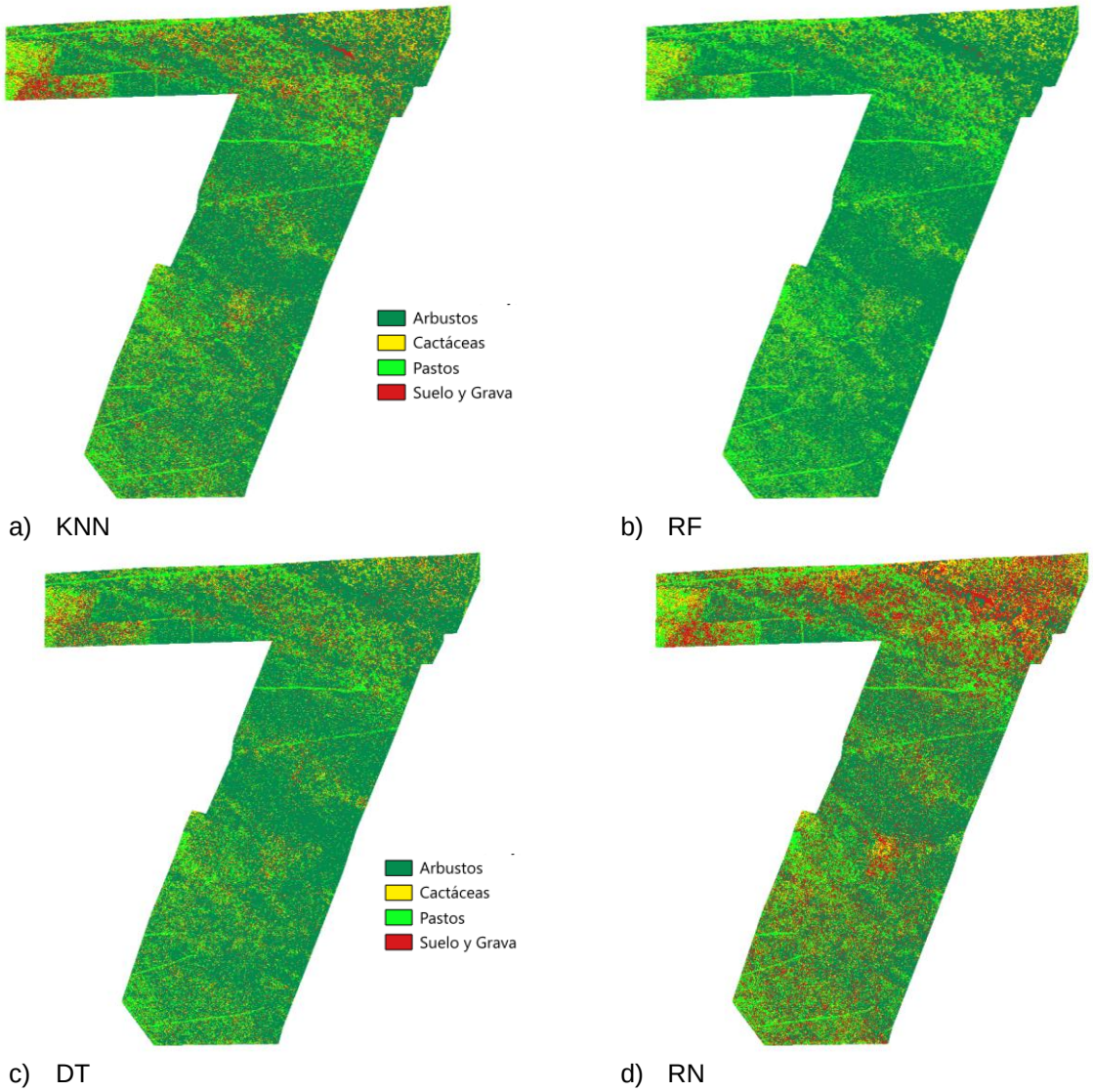


Figura 2. Mapa por Modelo de Clasificación a) KNN, b) RF, c) DT y d) RN, para Noria de Burros, Villa de Cos, Zacatecas.

Conclusiones

El uso de algoritmos de Inteligencia Artificial profunda no garantiza métricas superiores frente a la estadística tradicional en el procesamiento de imágenes UAV. La Red Neuronal exhibió una alta tasa de confusión interclase, lo cual provocó un colapso en la extrapolación espacial, invirtiendo la distribución real del agostadero. Por el contrario, los modelos estadísticos tradicionales demostraron ser herramientas altamente robustas optimizando la confiabilidad cartográfica para la toma de decisiones ecológicas y ganaderas.

Referencias

Abdi, A. M. (2020). Land cover and land use classification performance of machine learning algorithms in a boreal landscape using Sentinel-2 data. *GIScience & Remote Sensing, 57(1), 1-20.*

Al-Najjar, H. A., Kalantar, B., Pradhan, B., Saeidi, V., Halin, A. A., Ueda, N., & Mansor, S. (2019). Land cover classification from fused DSM and UAV images using convolutional neural networks, decision trees and random forests. ISPRS *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 153, 47-65*.

Jamali, A. (2021). Land use land cover mapping using advanced machine learning classifiers: A case study of Shiraz city, Iran. *Earth Science Informatics, 14, 1015-1030.*

Osco, L. P., Marcato Junior, J., Marques Ramos, A. P., de Castro Jorge, L. A., Fatholahi, S. N., de Andrade Silva, J., ... & Li, J. (2021). A review on deep learning in UAV remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 102, 102456*.

Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Shahfahad, Pal, S., Liou, Y. A., & Rahman, A. (2020). Land-use land-cover classification by machine learning classifiers for satellite observations—A review. *Remote Sensing, 12(7), 1135.*

CONTENIDO Y DISTRIBUCIÓN DE MICRONUTRIMENTOS EN TORNACHILE (*Capsicum annuum* L.) BAJO DIFERENTES POTENCIALES OSMÓTICOS

María Gabriela Ramírez-Valadez[1,2]*, Manuel Sandoval-Villa[2], M. Guadalupe Peralta-Sánchez[2], Erika Nava-Reyna[3], Juan J. Almaráz-Suárez[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana, km 4.5 carretera Durango−El Mezquital, Durango, Dgo., México. C. P. 34170. [2]Colegio de Postgraduados. Postgrado en Edafología. Carretera México−Texcoco, km 36.5, Montecillo, Texcoco, estado de México, México. C. P. 56264. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CENID−RASPA. margen derecha Canal de Sacramento, km. 6.5, Gómez Palacio, Durango, México. C. P. 35079. * Autor de correspondencia: ramirez.maria@inifap.gob.mx

Introducción

El cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) es una especie de alta importancia agrícola y alimentaria, cuyo crecimiento y productividad dependen de una adecuada disponibilidad de nutrimentos minerales (Salazar−Jara et al., 2013). La adquisición y translocación de estos elementos están estrechamente ligadas al flujo transpiratorio, dado que la absorción de agua impulsa el movimiento nutrimental desde la raíz hacia los órganos aéreos (White & Ding, 2023). En este proceso, el potencial osmótico (PO) del medio constituye un factor crítico en los sistemas de producción; modificaciones en la concentración de la solución nutritiva alteran el potencial hídrico externo y, con ello, el gradiente que impulsa la absorción de agua por las raíces. Estos cambios pueden limitar el flujo hídrico y modificar la adquisición y distribución de nutrimentos minerales (Chapman et al., 2012; Baca−Cabrera et al., 2024). En *C. annuum*, aunque se han empleado diferentes concentraciones de la solución nutritiva Steiner para evaluar el crecimiento y la extracción nutrimental, dichos estudios se han enfocado principalmente en macronutrimentos (Salazar−Jara et al., 2013; Valentin−Miguel et al., 2012). En consecuencia, existe menor información sobre la dinámica y partición de micronutrimentos en los diferentes órganos vegetales bajo diferentes potenciales osmóticos de la solución nutritiva. Evaluar la distribución de los nutrimentos en raíz, parte aérea y fruto permite determinar si las variaciones osmóticas afectan su absorción radicular, transporte hacia parte aérea y posterior partición hacia los órganos reproductivos, donde los frutos actúan como importantes órganos sumidero durante esta etapa (Kirkby et al., 2023). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes PO de la solución nutritiva sobre el contenido y distribución de B, Cu, Fe, Mn y Zn en raíz, parte aérea y fruto de tornachile.

Materiales y métodos

El experimento se estableció en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo (19° 27’ 51’’ N y 98° 54’ 15’’ O, y 2250 msnm), en condiciones de invernadero con cubierta de plástico UVII720, con 85 % de transmitancia de luz, y en un sistema hidropónico abierto. Plántulas de tornachile se trasplantaron en macetas de 12 L con tezontle rojo como sustrato. La nutrición del sistema hidropónico se basó en la solución nutritiva Steiner (1984). La concentración de micronutrimentos en todas las soluciones fue la recomendada por Steiner (1984): Fe 1.3, Mn 0.6, Zn 0.11, Cu 0.02, Mo 0.04 y B 0.05 mg L^{-1}. El pH de las soluciones se mantuvo en 5.5. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, donde la unidad experimental consistió en una maceta con una planta. Para determinar la concentración de los micronutrimentos, a los 134 días después del trasplante las plantas se separaron en sus diferentes órganos, los cuales se lavaron con agua destilada y se secaron en una estufa de aire forzado (Presicion Scientific, THELCO 18, Chicago, IL, EE. UU.) a 70 °C hasta peso constante. Las muestras secas se molieron en un molino de acero inoxidable.

Se realizó una digestión húmeda empleando una mezcla di−ácida de HNO_3 (J.T. Baker®) y $HClO_4$, en relación (2:1 v:v) (Alcántar−González & Sandoval−Villa, 1999); las lecturas se realizaron mediante un espectrómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP−OES; Agilent 725−OES, Australia).

Cuadro 1. Concentración de nutrimentos para obtener los diferentes potenciales osmóticos con base en la solución nutritiva Steiner empleadas como tratamientos.

Ψ_s (kPa)	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+
	meq L^{-1}					
−36	6.00	0.50	3.50	4.50	2.00	3.50
−54	9.00	0.75	5.25	6.75	3.00	5.25
−72	12.00	1.00	7.00	9.00	4.00	7.0

El contenido nutrimental de cada órgano se determinó multiplicando la concentración del elemento en cada órgano por su respectivo peso seco. El análisis estadístico se realizó mediante modelos lineales mixtos en R (v. 4.4.1), evaluando los efectos fijos del PO (−36, −54 y −72 kPa), el órgano vegetal (raíz, parte aérea y fruto) y su interacción, e incluyendo la planta como efecto aleatorio. Tras verificar los supuestos de normalidad (Shapiro–Wilk y Q–Q) y homogeneidad de varianzas (Levene), se aplicó una transformación logarítmica al contenido de B para cumplir con las condiciones del modelo. La significancia de los efectos fijos se evaluó mediante ANOVA de tipo III con aproximación de Satterthwaite, y las medias se compararon mediante Tukey ($\alpha = 0.05$), reportando los resultados en su escala original como media ± desviación estándar.

Resultados y discusión

El contenido de micronutrimentos presentó diferencias en función del órgano vegetal y del PO, aunque la magnitud y dirección de la respuesta dependieron del elemento evaluado. El análisis de varianza mostró un efecto altamente significativo del órgano sobre la acumulación de B, Cu, Zn, Mn y Fe ($p < 0.001$), mientras que la interacción entre PO y órgano resultó significativa para B, Cu, Zn y Mn ($p < 0.001$) pero no para Fe ($p = 0.397$). Esto indica que la respuesta de los micronutrimentos al PO dependió principalmente del órgano, con un comportamiento más estable para Fe. La marcada influencia del órgano sobre los cinco micronutrimentos coincide con lo reportado en *Capsicum*, donde su acumulación varía según el tejido y la etapa de desarrollo. En *C. chinense*, estos elementos tienden a concentrarse más en las raíces debido a su menor movilidad dentro de la planta (Meneses−Lazo et al., 2020), por lo que evaluar el órgano específico y la fase fenológica es esencial para interpretar correctamente el estado nutricional (Marcussi & Villas Bôas, 2003).

El B presentó una interacción significativa entre el PO y el órgano. En raíz, su contenido disminuyó progresivamente de 1.10 a 0.67 mg planta^{-1} al pasar de −36 a −72 kPa; en contraste, la parte aérea alcanzó el mayor contenido a −54 kPa (19.6 mg planta^{-1}), mientras que el fruto presentó un comportamiento similar, con un máximo de 6.03 mg planta^{-1} a −54 kPa (Cuadro 2). Este patrón de movilización hacia los órganos aéreos concuerda con lo observado por Marcussi y Villas Bôas (2003), quienes determinaron que el B presenta una alta movilidad hacia la parte aérea y frutos de plantas de pimiento sin estrés, a medida que avanza el desarrollo fenológico, acumulando la menor proporción en la zona radicular. Sin embargo, la condición de PO evaluada en este estudio alteró el ritmo habitual de acumulación al inducir una traslocación acentuada desde la raíz hacia los sumideros superiores bajo −54 kPa, priorizando el abastecimiento foliar y reproductivo.

Cuadro 2. Contenido de micronutrimentos en raíz, parte aérea y fruto de tornachile (*Capsicum annuum* L.) bajo diferentes potenciales osmóticos.

Micronutrimento	Órgano	Potencial osmótico (kPa)		
		−36	−54	−72
		mg planta^{-1}		
Boro	Raíz	1.10 ± 0.13 a	0.91 ± 0.14 b	0.67 ± 0.10 c
	PA	14.3 ± 0.53 b	19.6 ± 1.66 a	17.3 ± 0.98 a
	Fruto	4.22 ± 0.28 b	6.03 ± 0.23 a	4.96 ± 0.26 b
Cobre	Raíz	2.41 ± 0.14 a	1.55 ± 0.36 b	1.67 ± 0.11 b
	PA	5.07 ± 0.27 b	6.14 ± 0.62 a	5.99 ± 0.66 a
	Fruto	1.37 ± 0.19 a	2.0 ± 0.30 a	1.67 ± 0.11 a
Hierro	Raíz	63.6 ± 4.28 a	61.1 ± 9.61 a	59.1 ± 8.64 a
	PA	46.5 ± 4.24 a	53.5 ± 7.40 a	44.0 ± 4.24 a
	Fruto	12.7 ± 1.34 a	17.6 ±1.85 a	13.6 ± 2.35 a
Manganeso	Raíz	48.5 ± 5.60 a	41.4 ± 9.43 a	28.9 ± 8.19 b
	PA	22.6 ± 1.62 b	37.0 ± 5.07 a	26.5 ± 2.62 b
	Fruto	1.76 ± 0.27 a	2.26 ± 0.14 a	2.27 ± 0.09 a
Zinc	Raíz	1.11 ± 0.11 ab	1.49 ± 0.24 a	0.87 ± 0.10 b
	PA	3.19 ± 0.25 b	4.89 ± 0.46 a	4.45 ± 0.57 a
	Fruto	2.47 ± 0.12 a	2.50 ± 0.30 a	2.0 ± 0.19 a

* Los valores representan media ± desviación estándar. Dentro de cada órgano, medias con letras diferentes indican diferencias significativas entre potenciales osmóticos según la prueba de Tukey (α = 0.05). Para B, el análisis estadístico se realizó con los datos transformados mediante logaritmo natural; los valores se presentan en su escala original. PA = parte aérea.

Para el Cu, la interacción entre el PO y el órgano fue significativa ($p < 0.001$), demostrando que el PO altera el contenido de Cu de forma diferenciada según el tejido. El contenido en raíz disminuyó de 2.41 mg planta^{-1} a −36 kPa a 1.55 y 1.67 mg planta^{-1} en −54 y −72 kPa respectivamente, mientras que en la parte aérea aumentó de 5.07 a 6.14 mg planta^{-1} entre −36 y −54 kPa. El contenido del fruto no presentó diferencias significativas. La respuesta del Cu ratifica una redistribución tisular: el menor nivel radicular en los potenciales más negativos coincidió con un incremento en parte aérea, particularmente a −54 kPa. Por ende, el efecto del PO sobre este micronutrimento se relacionó con cambios en la distribución interna más que con una alteración generalizada en todos los órganos. Esta distribución contrasta con lo observado en pimiento sin condiciones de estrés (Marcussi & Villas Bôas, 2003) y en *C. chinense*, donde a −72 kPa el Cu mostró una marcada acumulación en raíz y una menor movilidad hacia los tejidos aéreos (Meneses−Lazo et al., 2020).

Para el Fe, el efecto del órgano fue altamente significativo ($p < 0.001$), sin registrarse efectos significativos del PO ($p = 0.168$) ni de su interacción ($p = 0.397$). La ausencia de interacción confirma que el contenido de Fe no presentó diferencias asociadas con el PO. La raíz concentró la mayor cantidad de Fe con 63.6, 61.1 y 59.1 mg planta^{-1} para −36, −54 y −72 kPa, de forma correspondiente. Seguida de la parte aérea y el fruto, que presentó los registros más bajos 12.7, 17.6 y 13.6 mg planta^{-1} (−36, −54 y −72 kPa, en el orden citado). La estabilidad del Fe frente al gradiente osmótico contrasta con la variabilidad observada en B, Cu, Zn y Mn, demostrando que la respuesta de los micronutrientes no es uniforme. La marcada acumulación en la raíz coincide con el patrón de baja movilidad descrito por Meneses−Lazo et al. (2020) en *C. chinense*. Asimismo, esta distribución es consistente con lo reportado por Marcussi y Villas Bôas (2003) en plantas de pimiento sin estrés, quienes observaron que el sistema radicular retiene de forma masiva el Fe, representando el 86 % del contenido total de la planta, mientras que la parte aérea y el fruto acumulan proporciones significativamente menores. Finalmente, la respuesta diferenciada del Fe respecto a los demás micronutrientes apoya lo planteado por Chatzistathis et al. (2022) en *C. annuum*, quienes señalan que la homeostasis y la respuesta nutricional ante modificaciones ambientales son altamente específicas para cada elemento mineral.

El Mn exhibió una interacción significativa entre el PO y el órgano ($p < 0.001$), además de efectos principales del PO ($p = 0.031$) y del órgano ($p < 0.001$). En la raíz, su contenido disminuyó de 48.5 mg planta^{-1} (−36 kPa) a 41.4 mg planta^{-1} (−54 kPa) y 28.9 mg planta^{-1} (−72 kPa), siendo esta última cifra significativamente menor. La parte aérea alcanzó su máximo con −54 kPa (37.0 mg planta^{-1}), superando los tratamientos de −36 y −72 kPa (22.6 y 26.5 mg planta^{-1}, respectivamente). En contraste, en el fruto los contenidos resultaron estadísticamente similares, con valores entre 1.76 y 2.27 mg planta^{-1}. La reducción de Mn en raíz a −72 kPa y su incremento en la parte aérea a −54 kPa evidencian una respuesta diferencial inducida por el PO. Este comportamiento difiere de lo reportado por Meneses−Lazo et al. (2020), quienes observaron una acumulación preferente de Mn en raíces de *C. chinense* bajo un PO de −72 kPa. En contraste, Marcussi y Villas Bôas (2003) reportaron mayor acumulación de Mn en la parte aérea, seguida de la raíz y el fruto en plantas de pimiento sin estrés. Asimismo, Julien et al. (2021) observaron reducciones de Mn en frutos de *C. annuum* bajo condiciones salinas. La estabilidad de Mn en el fruto en el presente experimento sugiere que, dentro del intervalo de PO evaluado, su distribución hacia el órgano reproductivo fue menos afectada que los tejidos vegetativos.

Por último, el contenido de Zn presentó efectos significativos del PO ($p = 0.0057$), del órgano y de la interacción entre PO y órgano ($p < 0.001$). El tratamiento de −54 kPa promovió la acumulación en raíz (1.49 mg planta^{-1}) y parte aérea (4.89 mg planta^{-1}), mientras que −72 kPa redujo el contenido en raíz (0.87 mg planta^{-1}) manteniendo elevada la parte aérea con 4.45 mg planta^{-1}. Por su parte, el fruto no mostró diferencias significativas. Esta respuesta indica que −54 kPa favoreció la acumulación de Zn en raíz y parte aérea, mientras que −72 kPa disminuyó el contenido en raíz. Los resultados concuerdan parcialmente con Meneses−Lazo et al. (2020), quienes observaron mayor acumulación de Zn en raíces de *C. chinense* y señalaron que la disponibilidad y absorción de este elemento dependen de la composición de la solución nutritiva. En el presente experimento, aunque el contenido de Zn fue mayor en la parte aérea, la respuesta diferencial de raíz y parte aérea al PO confirma que su distribución depende de las condiciones de nutrición y ambiente. Julien et al. (2021) reportaron una disminución del Zn en frutos de *C. annuum* con el incremento de la salinidad. En contraste, el fruto de tornachile no mostró diferencias entre PO, lo que sugiere una mayor estabilidad en la asignación de Zn durante el desarrollo reproductivo, aun cuando su distribución en los tejidos vegetativos fue modificada.

En conjunto, el PO modificó diferencialmente la distribución de B, Cu, Zn y Mn entre órganos, mientras que el Fe mostró mayor estabilidad. La raíz fue un sitio importante de acumulación de Fe y Mn, y el fruto presentó relativa estabilidad en el contenido de los micronutrimentos, particularmente Cu, Zn, Mn y Fe.

Conclusiones

Los diferentes PO de la solución nutritiva modificaron la distribución del B, Cu, Mn y Zn entre raíz, parte aérea y fruto, mientras que el contenido de Fe no presentó cambios asociados con el PO. La raíz presentó los mayores contenidos de Fe y Mn, mientras que la parte aérea concentró mayores cantidades de B, Cu y Zn. El PO de −54 kPa favoreció la acumulación de B, Cu, Mn y Zn principalmente en la parte aérea, y en algunos casos también en raíz y fruto. En contraste, −72 kPa redujo el contenido radicular de B, Mn y Zn. En conjunto, los resultados muestran que la respuesta de los micronutrimentos ante los diferentes PO fue específica del elemento y del órgano vegetal, evidenciando cambios en su partición interna.

Referencias

Alcantar−González, G., & Sandoval−Villa, M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal* (Publicación especial 10). Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.

Baca−Cabrera, J. C., Vanderborght, J., Couvreur, V., Behrend, D., Gaiser, T., Nguyen, T. H., & Lobet, G. (2024). Root hydraulic properties: An exploration of their variability across scales. *Plant Direct, 8*(4), e582. https://doi.org/10.1002/pld3.582

Chapman, N., Miller, A. J., Lindsey, K., & Whalley, W. R. (2012). Roots, water, and nutrient acquisition: Let's get physical. *Trends in Plant Science, 17*(12), 701–710. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.08.001

Chatzistathis, T., Tsaniklidis, G., Papaioannou, A., Giannakoula, A., & Koukounaras, A. (2022). Comparative approach on the effects of soil amendments and controlled−release fertilizer application on the growth, nutrient uptake, physiological performance and fruit quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *Agronomy, 12*(8), 1935. https://doi.org/10.3390/agronomy12081935

Julien, H. M., Vivien, N. G., Brice, T. L., Désiré, T. V., & Youmbi, E. (2021). Nutrient composition, antioxidant components and ascorbic acid content response of pepper fruit (*Capsicum annuum* L.) cultivars grown under salt stress. *Open Access Library Journal, 8,* e6830. https://doi.org/10.4236/oalib.1106830

Kirkby, E. A., Nikolic, M., White, P. J., & Xu, G. (2023). Mineral nutrition, yield, and source–sink relationships. En P. J. White & I. Cakmak (Eds.), Marschner's mineral nutrition of plants (4th ed., pp. 131–200). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978−0−12−819773−8.00015−0

Marcussi, F. F. N., & Villas Bôas, R. L. (2003). Marcha de absorção de micronutrientes em plantas de pimentão sob fertirrigação em ambiente protegido. *Irriga, 8*(3), 203–217. https://doi.org/10.15809/irriga.2003v08n3p203−217

Meneses−Lazo, R., Garruña, R., Echevarría−Machado, I., Alvarado−López, C., Villanueva−Couoh, E., García−Maldonado, J. Q., & Cristóbal−Alejo, J. (2020). Growth, chlorophyll fluorescence and gas exchange of pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) plants in response to uptake and partitioning of nutrients. *Chilean Journal of Agricultural Research, 80*(4), 585–596. https://doi.org/10.4067/S0718−58392020000400585

Salazar−Jara, F. I., Juárez−López, P., Bugarín−Montoya, R., Alejo−Santiago, G., García−Paredes, J.D., & Cruz−Crespo, E. (2013). Extracción de macronutrimentos en chile (*Capsicum annuum* L.) tipo húngaro. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7*(8): 2055−2061. https://doi.org/10.29312/remexca.v7i8.138

Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. En *Proceedings 6th international congress on soilless culture*. (pp. 633−650).

Valentín−Miguel, M. C., Castro−Brindis, R., Rodríguez−Pérez. J. E., & Pérez−Grajales, M. (2013). Extracción de macronutrimentos en chile de agua (*Capsicum annuum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura 19*(4): 71–78. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.02.013

White, P. J., & Ding, G. (2023). Long−distance transport in the xylem and phloem. En Z. Rengel, I. Cakmak, & P. J. White (Eds.), Marschner's mineral nutrition of plants (4th ed., pp. 73–104). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978−0−12−819773−8.00002−2

CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS TRAZA EN SUELO SUPERFICIAL Y TEJIDO VEGETAL EN PARQUES PÚBLICOS DE TORREÓN, COAHUILA

Luis Ángel Gonzalez-Espíndola[1], María del Rosario Jacobo-Salcedo[1*], Paul Eduardo Cervantes-Padrón[2], Erika Nava-Reyna[1], Valeria de los Ángeles Díaz Balderas[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Zona Industrial km 6.5 Canal Sacramento, CP. 35140. Gómez Palacio, Durango, México. (qfbgonzalez_espindola@hotmail.com). [2] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro -Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez, Valle Verde, 27054 Torreón, Coahuila, México. (paul.ecp212@hotmail.com) *Autor de correspondencia: jacobo.rosario@inifap.gob.mx

Introducción

Los elementos traza en suelos urbanos son relevantes para la calidad ambiental debido a su persistencia, acumulación y posible incorporación por la vegetación. Estudios en parques urbanos han documentado la presencia de Cd, Pb, Cu y Zn, y han destacado la importancia de evaluar conjuntamente el suelo y la vegetación (Gu et al., 2016; Gu & Gao, 2018; Khan et al., 2023). En la Región Lagunera se ha documentado la presencia de As en suelos superficiales, mientras que estudios recientes en parques públicos de Torreón han señalado la presencia de Pb en materiales superficiales e infraestructura urbana (Sariñana-Ruiz et al., 2017; Ríos-Sánchez & García-Vargas, 2025). Se planteó como hipótesis que los elementos traza estarían presentes en el suelo superficial y tejido vegetal, con asociaciones diferenciadas entre ambas matrices. El objetivo fue identificar y cuantificar estos elementos en suelo y tejido vegetal en seis parques públicos de Torreón, Coahuila, generando así una caracterización inicial que contribuya a futuras evaluaciones de la calidad ambiental.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en septiembre de 2026 en seis parques públicos de Torreón, Coahuila, México, donde se recolectaron 24 muestras de suelo superficial (0–5 cm) y 24 muestras de hojas de *Neltuma glandulosa (Torr.) Britton & Rose*. El procesamiento y análisis de las muestras se realizaron en el Laboratorio de Agua-Suelo-Planta del INIFAP-CENID-RASPA, Gómez Palacio, Durango. El muestreo y manejo del suelo se realizaron conforme a la NMX-AA-132-SCFI-2016 y la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Las muestras fueron homogenizadas y sometidas a digestión ácida con HNO_3, filtradas y aforadas a 50 mL. Las concentraciones de Mn, Cu, Zn, Fe, Pb, Cd y As se determinaron mediante espectrometría de absorción atómica con un PerkinElmer Analyst 700, utilizando curvas de calibración y blancos analíticos. Los resultados se expresaron en mg kg^{-1}, considerando la masa de muestra, el volumen final y los factores de dilución correspondientes. Los datos se procesaron mediante IBM SPSS Statistics 18.0. Los estadísticos realizados fueron una prueba de correlación de Pearson (P) para suelo y tejido vegetal, considerando $p < 0.05$ como criterio de significancia estadística.

Resultados y discusión

El análisis de correlación permitió evaluar los patrones de asociación entre los elementos determinados en las 24 observaciones de suelo y las 24 observaciones de tejido vegetal, correspondientes a seis sitios de muestreo. En el suelo, la Figura 1(a) muestra correlaciones positivas entre varios elementos. La asociación más elevada correspondió a Mn–Fe (P = 0.946; $p < 0.001$), seguida de Cu–Zn (P = 0.895; $p < 0.001$), Zn–Cd (P = 0.875; $p < 0.001$), Zn–Pb (P = 0.852; $p < 0.001$) y Cu–Pb (P = 0.843; $p < 0.001$).

Asimismo, As presentó asociaciones positivas con Fe (P = 0.820; $p < 0.001$) y Mn (P = 0.769; $p < 0.001$), mientras que Mn presentó asociaciones débiles y no significativas con Zn (P = 0.202; $p = 0.344$) y Cd (P = 0.129; $p = 0.547$). En conjunto, estos resultados muestran dos patrones principales de covariación: Mn–Fe–As y Cu–Zn–Pb–Cd. El segundo patrón es comparable con el descrito por Gu et al. (2016) en suelos de parques urbanos de Guangzhou, donde Cd, Pb, Cu y Zn mostraron asociaciones que los autores relacionaron con posibles fuentes antropogénicas comunes. No obstante, los mismos autores señalaron la participación de fuentes naturales y antropogénicas para diferentes elementos, por lo que las correlaciones no permiten establecer por sí solas su procedencia.

La comparación de las concentraciones con la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 proporciona un marco regulatorio para interpretar As, Cd y Pb. Los intervalos obtenidos en suelo para As (0.18–1.87 mg kg^{-1}), Cd (0.54–12.46 mg kg^{-1}) y Pb (0.58–182.33 mg kg^{-1}) se encuentran por debajo de las concentraciones de referencia establecidas para uso agrícola/residencial/comercial, correspondientes a 22, 37 y 400 mg kg^{-1}, respectivamente. Estos valores deben interpretarse como criterios de referencia para la evaluación de suelos potencialmente contaminados y no como límites universales de calidad para cualquier tipo de suelo o uso. La evaluación de contaminación también requiere considerar el fondo geoquímico y el contexto de uso del suelo (SEMARNAT, 2004; Kowalska et al., 2018).

El intervalo de As (0.18–1.87 mg kg^{-1}) resulta particularmente relevante por el contexto regional. Sariñana-Ruiz et al. (2017) reportaron concentraciones de As de 2.7–78.6 mg kg^{-1} en suelos superficiales de sitios contaminados de la Comarca Lagunera, además de evaluar su bioaccesibilidad y movilidad. En comparación, el intervalo obtenido en el presente estudio es considerablemente menor, lo que indica que los sitios evaluados no presentan el mismo grado de enriquecimiento de As descrito en las áreas regionales estudiadas por estos autores. Esta comparación debe considerarse contextual debido a las diferencias en uso del suelo, antecedentes ambientales y características fisicoquímicas entre los sitios.

El Pb adquiere especial relevancia en el contexto local. El intervalo obtenido en suelo (0.58–182.33 mg kg^{-1}) permaneció por debajo del valor de referencia de 400 mg kg^{-1} establecido por la NOM-147 para uso agrícola/residencial/comercial. Ríos-Sánchez y García-Vargas (2025) evaluaron 13 parques y plazas públicas de Torreón y documentaron Pb en pinturas de infraestructura, además de detectar concentraciones superiores a 400 mg kg^{-1} en polvo superficial en uno de los sitios. Los autores identificaron las pinturas con Pb como una fuente potencial de exposición en estos espacios públicos. No obstante, los resultados del presente estudio no permiten atribuir el Pb encontrado en suelo a las pinturas ni a una fuente antropogénica específica.

Los resultados también presentan correspondencia con investigaciones internacionales realizadas en espacios públicos. Gu et al. (2016) encontraron que Fe y Mn presentaron las concentraciones totales más elevadas en suelos de parques de Guangzhou, mientras que Cd, Pb, Cu y Zn mostraron patrones de asociación. Por otra parte, Gu y Gao (2018) demostraron que la concentración total no necesariamente representa la fracción ambientalmente disponible, ya que Cd presentó una accesibilidad considerablemente mayor que Pb, Fe y otros elementos. De manera similar, Khan et al. (2023) encontraron que las concentraciones de Cd y Pb en suelos de parques urbanos podían diferir sustancialmente de sus concentraciones totales y que la incorporación de la bioaccesibilidad modificaba las estimaciones de riesgo. Por ello, las concentraciones determinadas en el presente estudio permiten caracterizar la distribución elemental, pero no permiten inferir directamente la fracción disponible para absorción vegetal ni el riesgo asociado a la exposición humana.

La Figura 1(a) también permite contextualizar los patrones de correlación con estudios que han empleado herramientas estadísticas para explorar posibles fuentes de metales en parques urbanos. Li et al. (2023) combinaron correlaciones de Pearson, análisis espacial y un modelo de receptor PMF para identificar posibles fuentes de Cd, Cr, Cu, Zn, Ni y Pb en parques urbanos de Wuhan, incluyendo contribuciones asociadas con tráfico, emisiones industriales, agricultura y fuentes naturales. En este contexto, las asociaciones observadas en el presente estudio permiten identificar elementos con variación conjunta, pero requieren análisis complementarios para establecer posibles fuentes.

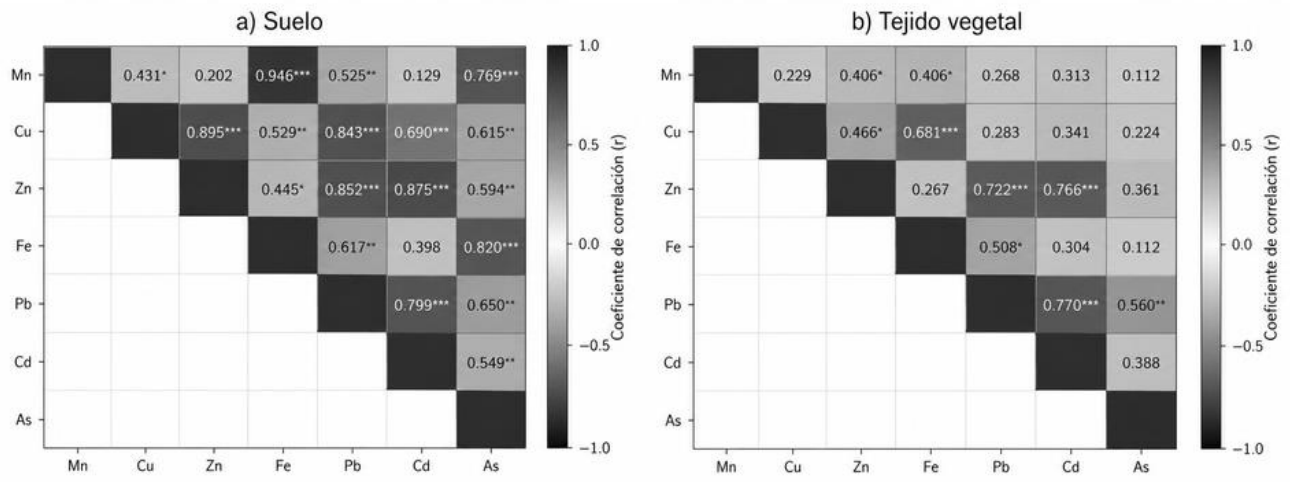


Figura 1. Matrices de correlación de Pearson (r) entre elementos traza en (a) suelo superficial y (b) tejido vegetal de parques públicos de Torreón, Coahuila. Solo se muestra el triángulo superior de la matriz. Los valores corresponden al coeficiente de correlación de Pearson. * p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001.

En el tejido vegetal, la Figura 1(b) mostró un patrón de asociación más específico. Las correlaciones más elevadas correspondieron a Zn–Cd (P = 0.856; $p < 0.001$), Pb–Cd (P = 0.849; $p < 0.001$) y Zn–Pb (P = 0.835; $p < 0.001$), mientras que Cu–Fe presentó una asociación positiva (P = 0.681; $p < 0.001$). La estructura observada difirió de la registrada en suelo, donde las asociaciones abarcaron un conjunto más amplio de elementos. Esta diferencia puede relacionarse con procesos de absorción, transporte y regulación fisiológica que modifican la proporción relativa de los elementos acumulados en los tejidos vegetales. Esta interpretación es consistente con estudios que han demostrado que las concentraciones totales del suelo no necesariamente predicen su disponibilidad biológica (Gu & Gao, 2018; Khan et al., 2023).

Asimismo, Brtnický et al. (2019) encontraron en suelos de parques urbanos que Zn, Cd y Pb podían presentar señales de enriquecimiento antropogénico mediante índices como el factor de enriquecimiento y el índice de geoacumulación, aunque los resultados de riesgo global y fitotoxicidad no necesariamente indicaron efectos adversos. Estos resultados refuerzan la necesidad de diferenciar entre presencia, concentración, enriquecimiento, disponibilidad y riesgo, conceptos que no son equivalentes.

En conjunto, la Figura 1(a) y la Figura 1(b) evidencian que los patrones de covariación dependieron de la matriz analizada. El suelo mostró una estructura multielemental más amplia, caracterizada principalmente por las asociaciones Mn–Fe–As y Cu–Zn–Pb–Cd, mientras que el tejido vegetal presentó una asociación más definida entre Zn–Pb–Cd. Estos resultados son compatibles con investigaciones realizadas en parques urbanos de diferentes regiones, donde la distribución de elementos traza se ha relacionado con una combinación de características del suelo y posibles aportes naturales y antropogénicos (Gu et al., 2016; Li et al., 2023; Brtnický et al., 2019).

Por tanto, los resultados obtenidos no permiten establecer por sí mismos contaminación ambiental ni identificar fuentes específicas, pero sí muestran la presencia de elementos traza y asociaciones multielementales diferenciadas entre suelo y tejido vegetal. La incorporación de determinaciones fisicoquímicas del suelo, fracciones disponibles y análisis de transferencia suelo–planta permitiría profundizar en los factores que controlan la distribución y acumulación de estos elementos. Esta aproximación es consistente con las recomendaciones metodológicas para diferenciar entre concentración, enriquecimiento, disponibilidad y fondo geoquímico en la evaluación de elementos traza en suelos (Kowalska et al., 2018).

Conclusión

Los elementos traza evaluados estuvieron presentes en el suelo superficial y tejido vegetal de los parques estudiados y mostraron patrones de asociación diferenciados entre matrices. El suelo presentó asociaciones principalmente entre Mn–Fe–As y Cu–Zn–Pb–Cd, mientras que el tejido vegetal mostró una asociación predominante entre Zn–Pb–Cd. Estos resultados proporcionan una caracterización inicial de la presencia, concentración y asociación de los elementos traza evaluados en ambas matrices.

Referencias

Brtnický, M., Pecina, V., Hladký, J., Radziemska, M., Koudelková, Z., Klimánek, M., Richtera, L., Adamcová, D., Elbl, J., Galiová, M. V., Baláková, L., Kynický, J., Smolíková, V., & Houška, J. (2019). Assessment of phytotoxicity, environmental and health risks of historical urban park soils. *Chemosphere, 220*, 678–686. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.188

Gu, Y.-G., Gao, Y., & Lin, Q. (2016). Contamination, bioaccessibility and human health risk of heavy metals in exposed-lawn soils from 28 urban parks in southern China's largest city, Guangzhou. *Applied Geochemistry, 67*, 52–58. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.02.004

Gu, Y.-G., & Gao, Y.-P. (2018). Bioaccessibilities and health implications of heavy metals in exposed-lawn soils from 28 urban parks in the megacity Guangzhou inferred from an in vitro physiologically-based extraction test. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 148*, 747–753. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.039

Khan, M. A., Nawab, J., Khan, A., Brusseau, M. L., Khan, S. N., Ali, N., Bahadur, S., Khan, S., & Huang, Q. (2023). Human health and ecological risks associated with total and bioaccessible concentrations of cadmium and lead in urban park soils. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 110*(3), 61. https://doi.org/10.1007/s00128-023-03703-x

Kowalska, J. B., Mazurek, R., Gąsiorek, M., & Zaleski, T. (2018). Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination—A review. *Environmental Geochemistry and Health, 40*, 2395–2420. https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z

Li, D., Lu, Q., Cai, L., Chen, L., & Wang, H. (2023). Characteristics of soil heavy metal pollution and health risk assessment in urban parks at a megacity of Central China. *Toxics, 11*(3), 257. https://doi.org/10.3390/toxics11030257

Ríos-Sánchez, E., & García-Vargas, G. G. (2025). Lead measurement in public parks in Torreón, Coahuila, a northern city of Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 41*, 667–676. https://doi.org/10.20937/RICA.55409

Sariñana-Ruiz, Y. A., Vazquez-Arenas, J., Sosa-Rodríguez, F. S., Labastida, I., Armienta, M. A., Aragón-Piña, A., Escobedo-Bretado, M. A., González-Valdez, L. S., Ponce-Peña, P., Ramírez-Aldaba, H., & Lara, R. H. (2017). Assessment of arsenic and fluorine in surface soil to determine environmental and health risk factors in the Comarca Lagunera, Mexico. *Chemosphere, 178*, 391–401. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.032

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, & Secretaría de Salud. (2004). *NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.* Diario Oficial de la Federación.

AVANCES EN LA EVALUACIÓN FENOLÓGICA DE DIFERENTES VARIEDADES DE FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.)

Nadiezhda Ramírez-Cabral1*, Jorge Martínez Robles2, Ricardo Sánchez-Gutiérrez1, José Cruz Jiménez-Galindo[3], José Ángel Cid-Ríos[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP. Campo Experimental Zacatecas. km 24.5, Zacatecas - Fresnillo, CP. 98500, Fresnillo, Zacatecas. Unidad Académica de Agronomía. UAZ. [3]INIFAP. Campo Experimental Valle de Guadiana. Km. 4.5 Durango - El Mezquital, C.P. 34170. *Autor de Correspondencia: ramirez.nadiezhda@inifap.gob.mx

Introducción

Las leguminosas son una fuente importante de proteínas, y aunque no todas contienen los nueve aminoácidos esenciales que no produce el cuerpo humano, éstas se pueden combinar con otros alimentos para obtener una proteína completa. En este contexto, el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) al combinarlo con cereales o semillas se complementan, pudiendo combinar frijoles con arroz, frijoles con trigo, o frijoles con maíz que es la base de la dieta mesoamericana. Además de ser importante por su valor nutricional, en México y otros países en desarrollo tiene un importante papel socioeconómico, por ser un cultivo estratégico, base de la alimentación popular y sustento de un gran número de familias rurales que usan el grano como autoconsumo, no sin antes mencionar el beneficio ambiental y agrícola que tiene la siembra de esta leguminosa, pues ayuda a la fijación del nitrógeno, mejorando la fertilidad del suelo (Sangerman et al., 2010). Sin embargo, esta leguminosa presenta algunos desafíos en el crecimiento, desarrollo y productividad, que se ven influenciados por los factores ambientales, principalmente la temperatura. Aún, cuando el frijol puede cultivarse en una gran variedad de climas, la temperatura es un factor crítico que influye de forma directa en su metabolismo, velocidad de crecimiento y rendimiento. A temperaturas mayores de 25°C la planta comienza a experimentar estrés provocando pérdidas en rendimiento hasta en un 50%, problemas de floración al disminuir la viabilidad del polen y caída de flores. Debido a la gran influencia que tiene la temperatura en el cultivo, el aumento de temperatura con el cambio climático se convierte en una amenaza para el frijol con pérdidas directas en las áreas con idoneidad climática donde se proyecta qué áreas con alto potencial productivo se reducirán a corto y mediano plazo, además de tener una influencia directa en la biología de la planta (Ramírez-Cabral et al., 2016; Hernández et al., 2025). Una medida de mitigación es la generación de variedades tolerantes al estrés térmico y variedades de ciclo corto que puedan completar su madurez fisiológica en un periodo corto para poder escapar de periodos de estrés por altas temperaturas o sequías. Esta madurez se puede medir a través de las unidades calor (UC), también llamadas grados días de desarrollo, donde se cuantifica la energía térmica que la planta va acumulando para completar sus diferentes etapas biológicas, superando las limitaciones de los días calendario tradicionales. La evaluación de la fenología en condiciones de invernadero resulta fundamental para identificar el potencial de adaptación, precocidad y respuesta térmica de diversas variedades de frijol y tener una base para futuras cruzas que tengan resistencia a estrés térmico. El objetivo de esta investigación fue documentar el avance fenológico de 12 materiales de frijol establecidos en macetas.

Materiales y métodos

El experimento se estableció el 11 de julio de 2026. Se evaluaron 12 variedades de frijol, las cuales incluyeron materiales comerciales, líneas avanzadas y colectas silvestres: Alubia blanca chica, Alubia blanca mediana, Alubia blanca grande, Flor silvestre Mena, Flor silvestre CEZAC, Línea avanzada JC, Café Punteado Negro, Café Liso Jalpa, Ariguelo Jalpa y las variedades comerciales Negro San Luis, Pinto Saltillo y Tepehuan-RS, de reciente liberación.

Las evaluaciones siguieron un método descriptivo, y sólo contemplaron el crecimiento hasta los 69 días de evaluación, sin llegar a madurez fisiológica.

El sistema de siembra consistió en seis macetas por cada variedad, utilizando un sustrato homogéneo, con una mezcla de tres partes de tierra por una de peat-moss para asegurar el correcto drenaje de las raíces. El 26 de agosto se realizó una fertilización de 30-50-00 NPK (nitrógeno, fósforo y potasio), agregando 6 gramos de fertilizante a cada maceta. Los riegos se realizaron cada tercer día y se revisaron, diariamente, para contener cualquier problema fitosanitario.

Se registraron las etapas fenológicas al 17 de septiembre (69 días después de la siembra), utilizando la escala estándar para frijol, que divide el ciclo en etapas vegetativas (V) y reproductivas (R) (Fernández et al., 1985). También se registraron, diariamente, las temperaturas máximas y mínimas (°C) ambientales registradas en la estación automatizada climatológica del CEZAC. Los datos que se reciben cada 15 minutos fueron convertidos a datos diarios, promediando los valores. Los valores diarios se usaron para calcular las UC diarias acumuladas (desde la siembra hasta los 69 días después de la siembra), tomando una temperatura base 10°C y usando la fórmula:

$$UC = \frac{Tmax + Tmin}{2} - Tbase$$

Resultados y discusión

Durante los 69 días de evaluación, la temperatura máxima promedio registrada fue de 26 °C, con una mínima promedio de 12 °C y una temperatura media de 19 °C. Esta dinámica ambiental resultó en una acumulación térmica total de 618 UC, con un promedio diario de 9 UC. Las variedades y líneas en estudio mostraron heterogeneidad en su desarrollo. El estado fenológico se detalla en el siguiente Cuadro:

Cuadro 1. Avance del estado fenológico de los materiales de frijol en estudio

Num.	Variedad / Línea	Repetición						Observaciones Generales
		1	2	3	4	5	6	
1	Alubia blanca chica	R6	R6	R6	Marchita	R6	R6	Mayoría en etapa R6 (Madurez de corte)
2	Alubia blanca mediana	R6	R6	R6	R5	R6	R6	Etapa reproductiva avanzada (R6 dominante)
3	Alubia blanca grande	R6	R6	R6	R6	R5	R5	Transición avanzada de R5 a R6
4	Flor Silvestre Mena	V4	V4	V4	V4	V4	V4	Completamente vegetativo uniforme (V4)
5	Línea avanzada JC	R6	R6	R6	R6	R5	R6	Etapa reproductiva avanzada (R6 dominante)
6	Café Punteado Negro	V4	V4	V4	V4	V4	V4	Desarrollo vegetativo tardío (V4 uniforme)
7	Café Liso Jalpa	V4	R5	V4	V4	V4	V4	Mayoría vegetativo (V4); una planta inició R5
8	Negro San Luis	R5	R5	R5	R5	R5	R5	Reproductivo uniforme en etapa R5 (Floración).
9	Pinto Saltillo	R5	R6	R6	R5	R5	R5	Reproductivo intermedio entre R5 y R6
10	Flor Silvestre CEZAC	V2	V2	V2	V2	V2	V2	Retraso marcado, estrictamente vegetativo (V2)
11	Tepehuan-RS	R5	R5	R5	R5	Marchita	R5	Reproductivo establecido en R5
12	Ariguelo Jalpa	V2	V4	No germinó	V4	V4	V4	Falla de germinación en rep. 3; estatus vegetativo (V4)

Los materiales precoces fueron las alubias, la Línea Avanzada y las variedades comerciales Pinto Saltillo y Tepehuán-RS, completando sus bases vegetativas y alcanzando etapas avanzadas de reproducción. Variedades mejoradas como Pinto Saltillo, NSL, y Tepehuán-RS están fisiológicamente seleccionadas para ciclos más cortos como estrategia de escape a sequías tempranas en zonas agrícolas. La variedad Tepehúan-RS también está diseñada para tolerar temperaturas más altas que el promedio de las variedades comerciales (Jiménez et al., 2025). Un contraste total con los materiales silvestres y nativos, que permanecieron en las etapas vegetativas, llamando más la atención el material Flor Silvestre CEZAC que registró un marcado retraso vegetativo, permaneciendo en etapa V2, se ha observado que este material en campo produce semilla aún en condiciones de estrés hídrico muy marcado. El retraso se puede deber a que las poblaciones silvestres de *P. vulgaris* suelen poseer un hábito de crecimiento indeterminado y una marcada respuesta adaptativa al fotoperiodo (sensibilidad a días largos o cortos) que les impide iniciar la diferenciación floral hasta que se cumplen ciertos estímulos lumínicos, además de que sus requerimientos calóricos son más elevados como mecanismo evolutivo para prolongar la etapa vegetativa, maximizar el área foliar y asegurar la supervivencia de la descendencia en entornos naturales variables (Flores et al., 2018). La variedad *Café Liso Jalpa* tuvo una sola repetición en etapa reproductiva (R5) y el resto en estado V4, lo que puede deberse a una segregación genética interna, por lo que se puede pensar que no es una variedad estabilizada pues la descendencia se sigue segregando (Acosta y Shibata, 1989).

Conclusión

Los materiales evaluados de frijol mostraron diferencia en los avances fenológicos, demostrando que la respuesta fenológica de *P. vulgaris* responde de manera directa al origen genético y al nivel de mejoramiento de los materiales. Mientras que las variedades comerciales y líneas avanzadas logran tienen un mayor avance y logran llegar a etapas reproductivas avanzadas, los materiales silvestres tienen respuestas morfológicas e inductivas complejas que los ayuda en la supervivencia de su descendencia a costa de un retraso floral. Es importante recalcar que los resultados de esta investigación son preliminares y se evaluaron hasta los 69 días después de la siembra, sin evaluar hasta la madurez fisiológica, por lo tanto, es necesario llevar los materiales hasta madurez fisiológica para tener más información de su comportamiento, y para conocer cuántas unidades calor requieren a madurez fisiológica, así como medir otras características como tamaño de grano, peso de 100 semillas y tiempo de cocción.

Referencias

Aguilar, C. G. H., Martínez, G. M. S., Maldonado, J. R., Hidalgo, E. C., Trejo, S. L., & Salas, M. P. J. 2025. El Cambio Climático y su Efecto en Cultivos Agrícolas de México. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 9(6), 10275-10293.

Fernández, F., Gepts, P. L., & López, M. 1985. Etapas de desarrollo en la planta de frijol.

Flores de la Cruz, M. J., García Esteva, A., García Nava, J. R., Kohashi Shibata, J., & Ybarra Moncada, M. C. 2018. Diferencias fenológicas, morfológicas y de componentes del rendimiento entre una forma silvestre y domesticada de frijol común. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 9(1), 137-149.

Gallegos, J. A. A., & Shibata, J. K. 1989. Effect of water stress on growth and yield of indeterminate dry-bean (Phaseolus vulgaris) cultivars. Field Crops Research, 20(2), 81-93.

Jiménez-Galindo, J. C., Padilla-Chacón, D., Anaya-López, J. L., Acosta-Gallegos, J. A., Ramírez-Cabral, N., Sánchez-Gutiérrez, R. A., ... & Figueroa-Gonzalez, J. J. 2025. 'Tepehuán-RS 'a new drought tolerant, high grain yield in low plant densities and slow darkening pinto bean cultivar. Journal of Plant Registrations, 19(1), e220420.

Ramirez-Cabral, N. Y. Z., Kumar, L., & Taylor, S. 2016. Crop niche modeling projects major shifts in common bean growing areas. Agricultural and Forest Meteorology, 218, 102-113.

Sangerman-Jarquín, D. M., Acosta-Gallegos, J. A., Schwenstesius de Rindermann, R., Damián Huato, M. Á., & Larqué Saavedra, B. S. 2010. Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 1(3), 363-380.

EL PROPÓLEO DE *Apis mellifera* L. COMO BIOMONITOR DE ELEMENTOS TRAZA EN ZONAS ÁRIDAS: UNA REVISIÓN DE SUS ALCANCES Y LIMITACIONES

Paloma Fraire Galindo[1]*; Karen Fraire-Galindo[2]; Jorge Luis Becerra-López[3]

[1]Galvatek, servicios de acabados electrolíticos, Gómez Palacio, Durango [2]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango, México [3]Laboratorio de Cambio Climático y Conservación de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango *Autor de correspondencia: frairegalindopaloma@gmail.com

Introducción

La evaluación de la contaminación atmosférica por elementos traza en zonas áridas enfrenta una dificultad práctica: las redes instrumentales de monitoreo son costosas y su densidad espacial es baja, de modo que amplias superficies del territorio carecen de información. Frente a esta limitación, el biomonitoreo ofrece una alternativa que aprovecha organismos ya presentes en el ambiente como integradores de la señal de contaminación.

La abeja melífera, *Apis mellifera* L., ha sido propuesta desde hace décadas para este propósito. Se comporta simultáneamente como bioindicador y como bioacumulador pasivo, lo que la convierte en un agente adecuado para vigilar superficies extensas a bajo costo. La colonia recorre el entorno del apiario e incorpora material del aire, la vegetación, el suelo y el agua, y parte de ese material queda retenido en los productos de la colmena (Conti y Botrè, 2001; Herrero-Latorre et al., 2017).

No todos los productos de la colmena tienen la misma utilidad como matriz de análisis. Conti y Botrè (2001) establecieron que las abejas y, en menor medida, el polen, el propóleo y la cera —pero no la miel— pueden considerarse bioindicadores representativos de la contaminación ambiental. Trabajos posteriores han situado al propóleo como el producto más susceptible de reflejar la contaminación por metales tóxicos (Balderrama-Carmona et al., 2024), con las mayores concentraciones de elementos entre las matrices comparadas (Matin et al., 2016; Montiel et al., 2020). Esta ventaja, sin embargo, se acompaña de limitaciones que rara vez se discuten con detalle, en particular la dependencia del propóleo respecto de la flora resinosa disponible, que determina su composición base.

Un aspecto adicional, poco explorado, es el origen geográfico de la evidencia. La mayor parte de los estudios disponibles se ha desarrollado en climas templados, cuyas condiciones florales, de disponibilidad hídrica y de deposición de polvo difieren sustancialmente de las que caracterizan a las zonas áridas y semiáridas. México, cuyos ecosistemas áridos y semiáridos abarcan cerca de 57 millones de hectáreas (CONAFOR, s.f.), cuenta con escasos antecedentes en esta línea. El objetivo de este trabajo es revisar el estado del conocimiento sobre el uso del propóleo como biomonitor de elementos traza, identificar las limitaciones metodológicas recurrentes y discutir en qué medida la evidencia disponible resulta transferible a las condiciones de las zonas áridas del norte de México.

Materiales y métodos

La búsqueda se acotó al periodo 2010-2026. Los trabajos fundacionales anteriores a esa ventana se incorporaron mediante rastreo de citas hacia atrás a partir de los artículos recuperados. La búsqueda se efectuó en Google Scholar, ScienceDirect, SpringerLink, SciELO y Redalyc durante septiembre de 2026, empleando las cadenas siguientes: En inglés: ("*Apis mellifera*" OR "honey bee") AND propolis AND (biomonitor* OR bioindicator*) AND (metal* OR "trace element*"). En español: propóleo AND (bioindicador OR biomonitoreo) AND (metales OR "elementos traza").

Se consideraron trabajos que cuantificaran al menos un elemento traza en propóleo u otros productos de la colmena de *A. mellifera*, con descripción del contexto ambiental del sitio de muestreo. Se excluyeron estudios centrados exclusivamente en la actividad biológica o la composición nutricional del propóleo, así como trabajos sobre residuos de plaguicidas sin determinación elemental. Se incorporaron fuentes latinoamericanas recuperadas de repositorios regionales, con el fin de contrastar la evidencia generada en climas templados con la disponible para el continente americano; esta búsqueda dirigida implica que la representación latinoamericana del corpus es mayor a la que arrojaría una búsqueda no estratificada.

De cada trabajo se registró el país y el tipo de clima, la matriz analizada, los elementos determinados, el método de digestión y la técnica analítica empleada, y si el estudio reportaba el origen botánico del propóleo, la caracterización del entorno del apiario y el contraste contra un método instrumental de referencia.

Resultados y discusión

Distribución de la evidencia disponible. El corpus revisado se integró por nueve estudios empíricos y tres revisiones previas sobre la materia (Herrero-Latorre et al., 2017; Végh et al., 2023; Balderrama-Carmona et al., 2024). La distribución geográfica y climática de los estudios empíricos se presenta en la Figura 1. Estos se concentran en países de clima templado, particularmente de Europa, mientras que los realizados en zonas áridas o semiáridas son minoritarios; de estos últimos, una fracción corresponde a caracterizaciones del propóleo con finalidades distintas al monitoreo ambiental.

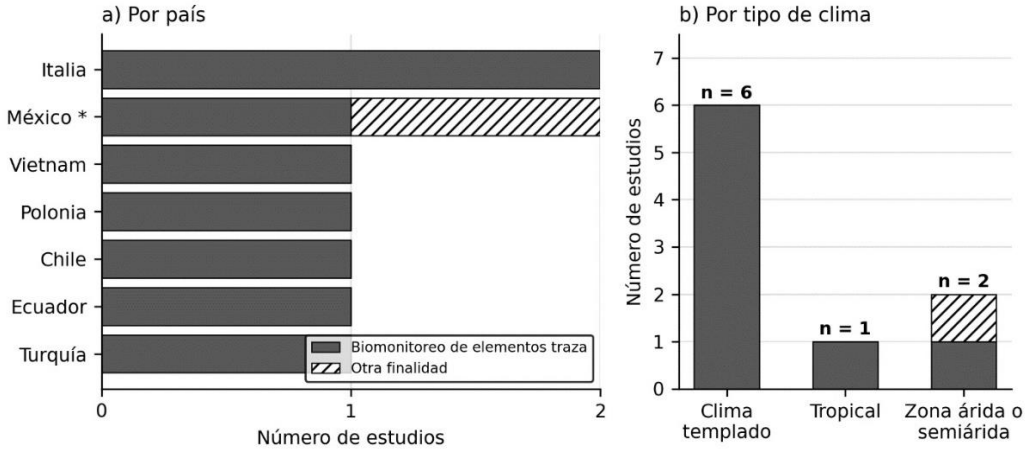


Figura 1. Distribución de los estudios revisados sobre propóleo de *Apis mellifera* L. como matriz de análisis ambiental, por país (a) y por tipo de clima (b). n = 9 estudios empíricos.

Desempeño comparativo del propóleo frente a otras matrices. El trabajo de Conti y Botrè (2001) constituye el antecedente más citado en esta línea. Los autores midieron cadmio, cromo y plomo por espectroscopía de absorción atómica en abejas y en productos de la colmena —miel, polen, propóleo y cera— en cinco puntos de muestreo, cuatro en áreas circundantes a Roma y uno en el centro de la ciudad sometido a tráfico vehicular intenso. Un detalle metodológico relevante es que los apiarios empleados se construyeron sin partes metálicas, precisamente para evitar la contaminación de los materiales analizados. Los datos mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de fondo de los sitios de referencia y los registrados en el centro urbano.

La jerarquía entre matrices se ha reproducido en contextos distintos, Montiel et al. (2020), en Hidalgo, México, cuantificaron cadmio, cromo y plomo en abejas y sus productos en tres zonas con diferente uso de suelo, y reportaron que las concentraciones variaron entre zonas en el orden urbana, agrícola y rural, y entre productos en el orden propóleo, cera y miel. La coincidencia entre un estudio europeo y uno mexicano en cuanto al desempeño del propóleo refuerza la elección de esta matriz para fines de monitoreo.

En un distrito industrial de Izmir, Turquía, Matin et al. (2016) emplearon abejas, propóleo y hojas de pino como indicadores biológicos, determinando cadmio, plomo, arsénico y mercurio. Los resultados mostraron niveles elevados de contaminación, especialmente en las muestras de propóleo. El contraste entre propóleo y miel ha sido abordado de manera específica por Roman et al. (2011), y el enfoque se ha extendido a otras regiones, como el norte de Vietnam (Ngat et al., 2020). En el ámbito latinoamericano, los trabajos desarrollados en Cuenca, Ecuador, han empleado productos apícolas con el doble propósito de evaluar la contaminación urbana y determinar la aptitud alimenticia de los productos (Aguilar et al., 2011), enfoque que también se ha aplicado al análisis de mieles en Chile (Fredes y Montenegro, 2006).

Limitaciones recurrentes de la evidencia. La revisión permite identificar tres limitaciones que atraviesan la literatura consultada.

La primera es la ausencia de calibración contra métodos instrumentales de referencia. La mayoría de los trabajos establece que el propóleo acumula elementos traza y que sus concentraciones discriminan entre sitios contrastantes, pero no relaciona esas concentraciones con valores de deposición atmosférica medidos por métodos convencionales. Existen aproximaciones en esta dirección para la matriz abeja, como el trabajo de Costa et al. (2019), planteado explícitamente como una prueba de concepto sobre la correspondencia entre los metales presentes en abejas y su concentración en la atmósfera. No se identificó, en la literatura consultada, un equivalente para propóleo. Sin esa correspondencia, el dato obtenido permite comparar sitios entre sí, pero no interpretarlo en términos de calidad del aire.

La segunda es la escasa documentación del origen botánico del propóleo. Dado que la matriz se construye a partir de resinas vegetales, su composición base varía con la flora disponible, lo que introduce un factor de confusión al comparar resultados entre regiones. La literatura sobre propóleo de zonas áridas mexicanas ha abordado esta cuestión con detalle, aunque con fines farmacológicos: Alday et al. (2019) establecieron que el perfil del propóleo del Desierto Sonorense corresponde cualitativamente a las resinas de *Populus fremontii*, y lo caracterizaron como un propóleo tipo álamo procedente de una región semiárida. Este antecedente ofrece una base metodológica aprovechable, pero no ha sido articulado con fines de biomonitoreo.

La tercera es la heterogeneidad metodológica. Los estudios revisados emplean digestiones y técnicas analíticas diversas, y el reporte de materiales de referencia certificados y porcentajes de recuperación es irregular. Végh et al. (2023), al revisar el contenido de elementos traza potencialmente tóxicos en productos apícolas, documentan intervalos de concentración que abarcan varios órdenes de magnitud para un mismo elemento. Esta variabilidad dificulta la comparación cuantitativa entre trabajos y limita la construcción de valores de referencia regionales.

Implicaciones para zonas áridas. Las condiciones de las zonas áridas plantean factores que la literatura de clima templado no contempla. La menor disponibilidad floral amplía el radio de pecoreo de la colonia, de modo que la señal captada se promedia sobre una superficie mayor y de límites menos definidos, lo que reduce la resolución espacial del método.

La deposición de polvo atmosférico, particularmente intensa en estos ambientes, constituye una vía de aporte que puede dominar sobre otras fuentes. Finalmente, la flora resinosa disponible difiere de la de regiones templadas, lo que modifica la matriz sobre la que se realiza la determinación.

En el caso del norte de México, la escasez de antecedentes es notoria. La investigación sobre propóleo de zonas áridas mexicanas se ha orientado a su actividad biológica, mientras que la necesidad de información sobre deposición atmosférica en la región permanece sin cubrir. Esta combinación —una matriz caracterizada químicamente pero no empleada como biomonitor, y una necesidad de monitoreo no atendida— define el vacío principal identificado en esta revisión.

Conclusiones

El propóleo es la matriz de la colmena con mayor capacidad de concentración de elementos traza y menor biotransformación, característica confirmada tanto en estudios europeos como en el antecedente mexicano disponible. Su utilidad como biomonitor está documentada en contextos urbanos e industriales.

No obstante, la evidencia presenta tres limitaciones consistentes: la ausencia de calibración contra métodos instrumentales de referencia, la escasa documentación del origen botánico de la matriz y la heterogeneidad de los protocolos analíticos. Estas limitaciones restringen la interpretación de los resultados a comparaciones relativas entre sitios.

Para las zonas áridas del norte de México, la transferibilidad de la evidencia disponible no puede asumirse. La ampliación del radio de pecoreo por escasez floral, el aporte de polvo atmosférico y la diferencia en la flora resinosa constituyen factores que requieren evaluación específica. Cerrar este vacío exigiría estudios que contrasten las concentraciones en propóleo contra mediciones instrumentales de deposición en sitios pareados, con documentación del origen botánico de la matriz y del entorno de cada apiario.

Se reconoce como limitación del presente trabajo su carácter narrativo, que no permite descartar la existencia de estudios no recuperados por las cadenas de búsqueda empleadas.

Referencias

Aguilar, J., Álvarez, P., Molina, P., y Zárate, E. (2011). Algunos productos de las colmenas de la abeja melífera (*Apis mellifera*) como indicadores para el monitoreo de metales pesados en el ambiente urbano de Cuenca. *Universidad Verdad*, (54), 77-98.

Alday, E., Navarro-Navarro, M., Garibay-Escobar, A., Robles-Zepeda, R. E., Hernandez, J., y Velazquez, C. (2019). Plant origin authentication of Sonoran Desert propolis: An antiproliferative propolis from a semi-arid region. *The Science of Nature, 106*(5-6), 25. https://doi.org/10.1007/s00114-019-1620-2

Balderrama-Carmona, A. P., Ramos-García, V., Ruiz-López, L., y Felipe-Ortega-Fonseca, X. (2024). Propolis as a bioindicator of contamination with toxic metals. En N. Kumar (Ed.), *Heavy metal remediation* (Earth and Environmental Sciences Library). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53688-5_13

Comisión Nacional Forestal. (s.f.). *Las zonas áridas son más que desierto*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/conafor/articulos/las-zonas-aridas-son-mas-que-desierto

Conti, M. E., y Botrè, F. (2001). Honeybees and their products as potential bioindicators of heavy metals contamination. *Environmental Monitoring and Assessment, 69*(3), 267-282. https://doi.org/10.1023/A:1010719107006

Costa, A., Veca, M., Barberis, M., Tosti, A., Notaro, G., Nava, S., Lazzari, M., Agazzi, A., y Tangorra, F. M. (2019). Heavy metals on honeybees indicate their concentration in the atmosphere: A proof of concept. *Italian Journal of Animal Science, 18*(1), 309-315.

Fredes, C., y Montenegro, G. (2006). Contenido de metales pesados y otros elementos traza en mieles de abeja en Chile. *Ciencia e Investigación Agraria, 33*(1), 57-66.

Herrero-Latorre, C., Barciela-García, J., García-Martín, S., y Peña-Crecente, R. M. (2017). The use of honeybees and honey as environmental bioindicators for metals and radionuclides: A review. *Environmental Reviews, 25*(4), 463-480. https://doi.org/10.1139/er-2017-0029

Matin, G., Kargar, N., y Buyukisik, H. B. (2016). Bio-monitoring of cadmium, lead, arsenic and mercury in industrial districts of Izmir, Turkey by using honey bees, propolis and pine tree leaves. *Ecological Engineering, 90*, 331-335.

Montiel, J., Marmolejo, Y., Castellanos, I., Pérez, F., Gaytán, J., y Fonseca, M. (2020). Niveles de cadmio, cromo y plomo en abejas (*Apis mellifera*) y sus productos en Hidalgo, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias, 7*(1), 57-68.

Ngat, T. T., Lam, T. X., Minh, H. G., y Lien, N. T. P. (2020). Honeybee products as potential bioindicators of heavy metals contamination from Northern Vietnam. *Vietnam Journal of Biotechnology, 18*(2), 373-384. https://doi.org/10.15625/1811-4989/18/2/15086

Roman, A., Madras-Majewska, B., y Popiela-Pleban, E. (2011). Comparative study of selected toxic elements in propolis and honey. *Journal of Apicultural Science, 55*(2), 97-106.

Végh, R., Csóka, M., Mednyánszky, Z., y Sipos, L. (2023). Potentially toxic trace elements in bee bread, propolis, beeswax and royal jelly: A review of the literature and dietary risk assessment. *Chemosphere, 339*, 139571. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139571

CAMBIOS EN LA IDONEIDAD CLIMÁTICA DE MAÍZ Y EL GUSANO COGOLLERO EN MÉXICO

Nadiezhda Ramírez-Cabral[1]*, Ricardo Sánchez-Gutiérrez[1], José Ángel Cid-Ríos[1], José Cruz Jiménez-Galindo[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP. Campo Experimental Zacatecas. km 24.5, Zacatecas - Fresnillo, CP. 98500, Fresnillo, Zacatecas. [2]INIFAP. Campo Experimental Valle de Guadiana. Km. 4.5 Durango - El Mezquital, C.P. 34170. *Autor de Correspondencia: ramirez.nadiezhda@inifap.gob.mx

Introducción

En la República Mexicana el maíz (*Zea mays* L.), es un grano básico que no sólo se usa como alimento, sino como biodiesel o en ceremonias, con un origen espiritual, de identidad. El país es centro de origen del maíz, domesticado a partir del teocintle, su antigüedad data de más de 7,000 años, y se cuenta con una gran diversidad genética. Es tal la importancia de este grano que el 29 de septiembre se celebra el “Día Nacional del Maíz” el cual nació debido a la campaña ciudadana “Sin maíz, no hay país”. A nivel mundial, el país ocupa el octavo lugar en producción, se siembra en todos los estados (adaptándose a una gran diversidad de climas), principalmente, el grano blanco. Los principales estados productores son Sinaloa, Jalisco, Estado de México, Michoacán y Guanajuato (SADER, 2021).

La mayor parte de las siembras se realiza en condiciones de temporal, entre el 75 y 80%. Lo que tiene implicaciones en la productividad como lo son la vulnerabilidad climática, donde la siembras se vuelven altamente susceptibles a las sequías prolongadas, lluvias torrenciales, desfases entre la época de siembra y el inicio de lluvias, o heladas tempranas, condiciones que se incrementan debido a la variabilidad climática que se ha venido presentando en las últimas décadas. Históricamente, existe una marcada diferencia en las producciones de maíz bajo sistema de riego y temporal, donde se han registrado rendimientos en riego de más de 10 ton/ha, y en temporal de menos de 2 ton/ha. Por lo tanto, aun cuando se siembren grandes extensiones de maíz se tiene déficit del grano, por lo que se deben importar, generalmente, grano amarillo, para forraje y la industria (Inzunza et al., 2018).

Otra de las limitantes importantes en la productividad es el ataque de plagas y enfermedades, el cual también se ve exacerbado por los cambios en los patrones de clima. El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), representa una amenaza significativa para la producción de maíz en México. Se ha reportado daños del 10% hasta el 100% (pérdida total, se necesita resembrar) debido al ataque de las larvas de este gusano. Anteriormente, se consideraba endémico de América, sin embargo, a partir del 2016 comenzó a dispersarse en el resto de los continentes. Su capacidad de dispersión rápida y su plasticidad fenotípica la convierten en un organismo de especial interés para modelación bajo escenarios de cambio climático. Existen diferentes modelos para conocer el impacto del cambio del clima, estos modelos de nichos ecológicos nos ayudan a conocer que tan propicia es una región para el establecimiento o supervivencia de alguna especie con base en sus variables ambientales (Szanyi et al., 2025).

Tomando en cuenta lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue modelar el cambio en la idoneidad climática en el cultivo del maíz y de una de sus principales plagas, el gusano cogollero, en territorio mexicano.

Materiales y métodos

Como primer paso se recolectó información de ocurrencias del maíz y del gusano cogollero (puntos referenciados de la especie a modelar, las incidencias), mediante bases de datos climáticas como GBIF (https://www.gbif.org/), ALA (https://www.ala.org.au/), CONABIO (http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/) y referencias bibliográficas. Posteriormente, se obtuvieron variables climáticas (https://www.climond.org/) y parámetros fisiológicos que definen las tolerancias y requisitos del organismo en estudio, estos se obtuvieron de literatura. La información climática necesaria para correr el modelo son valores mensuales promedio de temperatura mínima, máxima, precipitación, así como humedad relativa por la mañana y por la tarde. El modelado se realizó con CLIMEX, modelo de nichos ecológicos, que es ampliamente usado para estimar la abundancia potencial de diferentes organismos en determinadas áreas, usando información climática, parámetros biológicos y ocurrencias georreferenciadas de los organismos en estudio. Algunos de los parámetros biológicos usados se enlistan en el Cuadro 1. El modelo se valida dejando un área geográfica sin modelar y comparándola al final del modelado. El modelado se realizó para condiciones históricas y proyecciones de cambio climático para el 2050 y 2100, con un escenario de proyecciones de emisiones intermedias-altas, caracterizadas por crecimiento económico regional y desarrollo tecnológico heterogéneo.

La combinación de las entradas del sistema genera un índice ecoclimático que refleja la abundancia de las especies en estudio. Este índice se genera multiplicando el índice de crecimiento anual con el índice de estrés anual. Los estreses que se combinan son calor, frío, humedad y sequía. Para mayores detalles de los métodos usados consultar (Ramírez-Cabral et al., 2017).

Cuadro 1. Parámetros usados para la calibración de los modelos de nicho ecológico en maíz y gusano cogollero.

Especie	Parámetro	Valor		Especie	Parámetro	Valor
Maíz	Temp. mínima óptima	9°C		Gusano cogollero	Temp. mínima óptima	12°C
Maíz	Temp. máxima óptima	32°C		Gusano cogollero	Temp. máxima óptima	35°C
Maíz	Temp. inicio estrés calor	35°C		Gusano cogollero	Temp. inicio estrés calor	38°C
Maíz	Temp. inicio estrés frío	4°C		Gusano cogollero	Humedad relativa crítica	60%

Resultados y discusión

Bajo escenario de proyecciones de emisiones intermedias-altas, caracterizadas por crecimiento económico regional y desarrollo tecnológico heterogéneo, la tendencia revela un cambio dramático para 2100, más de dos tercios del territorio mexicano podría perder aptitud climática, lo que implica desafíos significativos para la seguridad alimentaria nacional. El estrés por calor muestra incremento progresivo, el cual, anteriormente, estaba limitado a zonas aisladas del norte, esta expansión coincide con proyecciones de aumento de temperatura promedio entre 2-4°C para finales de siglo en regiones agrícolas mexicanas. Un comportamiento similar se observa por el estrés hídrico. La combinación de mayor temperatura y patrones de precipitación erráticos crea condiciones de evapotranspiración que exceden los umbrales de tolerancia del maíz en muchas regiones. En cuanto a la modelación de gusano cogollero, ésta muestra patrones similares al maíz en términos de pérdida de idoneidad climática, aunque con ligeras diferencias que revelan importantes implicaciones para el manejo de esta plaga (Figura 1), (Torres et al., 2025; Carranza y Vásquez, 2020).

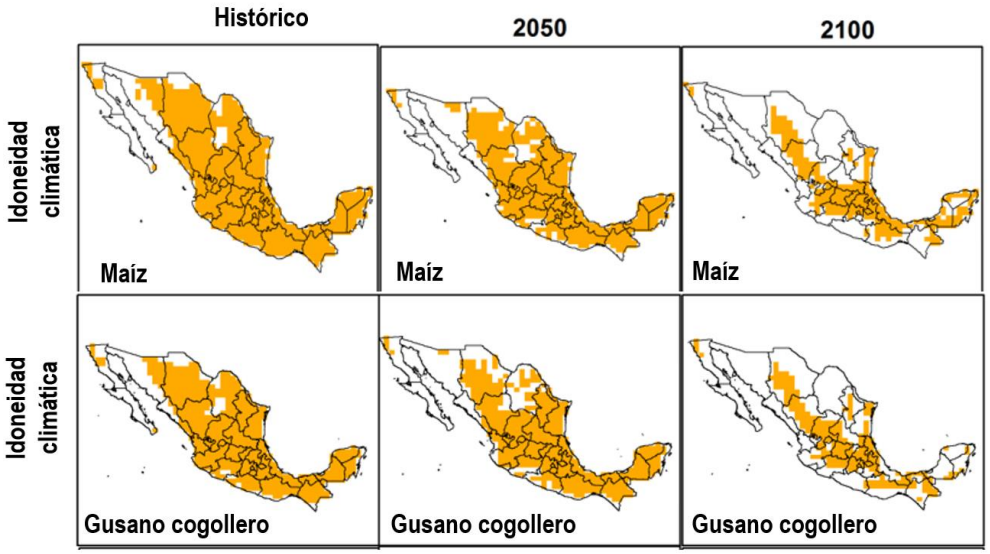


Figura 1. Modelado de la idoneidad climática de maíz bajo escenarios de cambio climático (*Zea mays*) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

Un hallazgo que llama la atención es que, aunque ambos organismos muestran pérdidas similares, la distribución espacial de estas pérdidas difiere significativamente, lo que puede llevar a nuevas dinámicas plaga-hospedero, como: áreas donde el maíz pierde aptitud, pero cogollero la mantiene, en estas regiones existe la posibilidad de riesgos elevados de infestación, con un hospedero bajo estrés, más vulnerables y una plaga con buena idoneidad climática para sobrevivir y reproducirse. Otro escenario más favorable para el cultivo del maíz es que cogollero pierda aptitud, y no el cultivo, pudiendo existir una reducción temporal del riesgo por el ataque de la plaga, sin embargo, hay que considerar que *S. frugiperda* tiene una gran capacidad de dispersión en su estado adulto (Huang et al., 2024; Díaz et al., 2023).

La relación planta-plaga bajo condiciones climáticas cambiantes presenta dinámicas complejas, como lo son la respuesta diferencial al estrés al tener diferentes umbrales térmicos, ventanas fenológicas críticas: que puedan ocurrir, por ejemplo, en etapas sensibles del maíz el estrés térmico puede comprometer rendimientos, además de la posible coincidencia de estos eventos con picos poblacionales del gusano cogollero, incrementando el daño.

Se debe contemplar que el modelado ecoclimático presenta múltiples fuentes de incertidumbre que pueden afectar las proyecciones como el uso de diferentes modelos de circulación global (MCG) que puede producir variaciones significativas en las proyecciones climáticas. Otra posibilidad es usar escenarios alternativos que pueden arrojar resultados variables. Además, los umbrales fisiológicos utilizados tienen variabilidad natural que debe considerarse (factores como la respuesta al CO_2 atmosférico o la adaptación genética evolutiva).

Conclusiones

En el país se proyectan disminuciones significativas en la idoneidad climática tanto para maíz como para una de sus principales plagas, el gusano cogollero. Es importante mencionar las limitaciones de este modelado al no contemplar interacciones completas con otras plagas, enfermedades, u otros organismos, ni considerar cambios evolutivos en las especies para adaptarse a nuevas condiciones climáticas. Los resultados deben interpretarse como tendencias direccionales más que predicciones puntuales, enfatizando la necesidad de enfoques flexibles, regionalizados y resilientes en las políticas agrícolas del país (evitando enfoques únicos para todo el país). Finalmente, es importante mencionar algunas medidas para mitigar los efectos del cambio climático como el desarrollo de variedades tolerantes, el manejo integrado de plagas y adaptación de prácticas agrícolas sustentables.

Referencias

Carranza Arévalo, G. E., & Vásquez Freytez, C. L. 2020. Predicción de los efectos del cambio climático sobre el daño potencial de una especie de cogollero en el cultivo de maíz (*Zea mays*) en la provincia de Tungurahua. Tésis. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Díaz-Álvarez, E. A., Martínez-Zavaleta, J. P., López-Santiz, E. E., De La Barrera, E., Larsen, J., & Del-Val, E. 2023. Climate change can trigger fall armyworm outbreaks: A developmental response experiment with two Mexican maize landraces. International Journal of Pest Management, 69(2), 184-192.

Huang, Y., Dong, Y., Huang, W., Guo, J., Hao, Z., Zhao, M., Hu, B., Cheng, X., & Wang, M. 2024. Predicting the Global Potential Suitable Distribution of Fall Armyworm and Its Host Plants Based on Machine Learning Models. Remote Sensing, 16(12), 2060. https://doi.org/10.3390/rs16122060

Inzunza-Ibarra, M. A., Villa-Castorena, M. M., Catalán-Valencia, E. A., López-López, R., & Sifuentes-Ibarra, E. 2018. Rendimiento de grano de maíz en déficit hídrico en el suelo en dos etapas de crecimiento. Revista Fitotecnia Mexicana, 41(3), 283-290.

Ramirez-Cabral, N. Y., Kumar, L., & Shabani, F. 2017. Global alterations in areas of suitability for maize production from climate change and using a mechanistic species distribution model (CLIMEX). Scientific Reports, 7(1), 5910.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. 2021. La riqueza de México es el maíz. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-riqueza-de-mexico-es-el-maiz

Szanyi, S., Barta, M., Velchev, D., Beshkov, S., Mumford, S., Todorov, I., Nagy, A., Varga, Z., Tóth, M., & Toshova, T. 2025. First Report of a Migratory Pest, the Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera, Noctuidae) from Bulgaria. Insects, 16(2), 134. https://doi.org/10.3390/insects16020134

Torres-Márquez, Nelly Azucena, & Martínez-Damián, Miguel Ángel. 2025. Impacto del cambio climático en el precio del maíz, un análisis actual. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 16(7), e3872. Epub 13 de febrero de 2026.https://doi.org/10.29312/remexca.v16i7.3872

EXTRACTO HIDROETANÓLICO DE HOJA DE Larrea tridentata COMO ALTERNATIVA ANTIHELMÍNTICA EN CAPRINOS

Gabriel M. Medellín-Rodríguez[1], Viridiana Contreras-Villareal[1], Miguel Á. Mellado-Bosque[2], Francisco A. Rodríguez-Huerta[2], Cayetano Navarrete-Molina[1]*

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Unidad Laguna, Periférico Raúl López Sánchez, Col. Valle Verde, Torreón, Coahuila, México. [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Unidad Saltillo, Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. *Autor de correspondencia: navarretemolina1977@gmail.com

Introducción

En México, la ganadería caprina ha experimentado un gran auge debido a la adaptabilidad de los animales, posicionando al país como el segundo con mayor número de cabezas de ganado en el continente americano (SADER, 2024). Entre los estados con mayor número de cabezas de ganado caprino se encuentran: Puebla (15.4%), Oaxaca (12.0%), San Luis Potosí (10.5%), Guerrero (7.9%) y Zacatecas (6.1%) (SIAP, 2024). Los principales estados productores de leche de cabra son: Coahuila (42.3%), Guanajuato (24.1%) y Durango (15.6%) (SIAP, 2024). Sin embargo, la producción caprina podría reducirse entre 15 y 25% en casos de parasitismo severo causado por *Haemonchus contortus* (Rudolphi, 1803) Cobb, 1898 o *Trichostrongylus* spp. (Githigia et al., 2001; Sharma et al., 2014). Considerando que, las lesiones causadas por los helmintos, afecta la absorción de nutrientes provocando anemia en los animales, lo cual se ha relacionado con una reducción del 20 al 40% en la ganancia de peso (Suarez et al., 2017). Para contrarrestar los casos de parasitismo, los métodos de control químico son altamente efectivos, pero también tienen la desventaja de que esta efectividad disminuye con el uso constante del mismo fármaco (Rolbiecki & Izdebska, 2024).

En este sentido, la resistencia antihelmíntica se ha convertido en una de las mayores amenazas para la producción caprina, considerando que los nematodos desarrollan defensas genéticas, las cuales incluyen modificaciones genómicas en los sitios de unión en los canales de iones de cloruro y vías de desintoxicación enzimática (Cortes-Morales et al., 2026, Hassan & Ghazy, 2021). Por lo tanto, la gobernadora (*Larrea tridentata* ((Sessé & Moc. ex DC.) Coville) emerge como una alternativa sostenible contra los helmintos, debido su amplia variedad de metabolitos antimicrobianos reportados, lo que pudiera dificultar la generación de resistencia, por parte de los parásitos (García et al., 2018). En este sentido, una investigación realizada *in vitro*, con extracto hidrometanólico de hoja de *L. tridentata* evidencio una eficacia significativa en la eliminación de larvas de *Haemonchus contortus*, en comparación con el grupo control; sin embargo, el extracto mostró resultados inferiores, al compararle con el uso de ivermectina, donde se evidencio una diferencia significativa (García et al., 2018). El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficacia *in vivo* del extracto hidroetanólico de hoja de *L. tridentata* contra los helmintos, mediante la determinación de la reducción de huevos por gramo en heces caprinas manejadas en condiciones extensivas.

Materiales y métodos

El estudio fue realizado en la comunidad de Potrero de Abrego, Arteaga, Coahuila (25° 17′ N, 100° 20′ O, elevación 1,779 msnm), entre el 5 de abril y 5 de mayo del 2026. Fueron seleccionadas tres granjas caprinas de traspatio, las cuales contaban con 80, 72 y 85 vientres en producción. Las cuales eran animales criollos, encastados con razas Alpina francesa y Anglo-nubia y, su última desparasitación fue en enero del 2025 utilizando ivermectina vía subcutánea, al mismo tiempo fueron vitaminadas con Iverfull® Macrovit ADE (Laboratorios Aranda, Querétaro, México). Dichas granjas están enfocadas a la producción de leche para la elaboración de dulces.

Los animales eran pastoreados entre las 1000 y las 1800 horas. Cada una de las granjas constituyo una unidad experimental, conformada por 30 animales. Para determinar si un animal podría pertenecer al grupo, fue determinado el grado de anemia, a través de la colorimetría de la conjuntiva interna del parpado basado en la escala FAMACHA©, donde una coloración rosa o rojiza, indica animales sanos (grado 1) mientras que un color blanquecino o pálido es señal de animales enfermos (grado 5). Para conformar los grupos, solo se tomaron en cuenta animales con un grado 4 y 5 de acuerdo a la escala (Van Wyk & Bath, 2002). Todos los métodos, procedimientos y manejo de los animales, incluidos en el experimento, fue en estricto apego a las normas internacionales y nacionales, para el uso ético, el cuidado y el bienestar de los animales en investigación (FASS, 2010; NAM, 2002). Como tratamiento de rescate, se seleccionó la aplicación de menbutona vía intramuscular a una dosis de 1 mL por cada 10 kg^{-1}, el cual normaliza la actividad a nivel hepático y gastrointestinal, además de servir como desintoxicante, sin embargo, ningún animal presento signos. Recibiendo la aprobación institucional con el número de referencia UAAAN-425502002-2598.

A cada unidad experimental (granja) le fue asignado un tratamiento completamente al azar, con apoyo de una urna. Los tratamientos fueron aplicados todos el mismo día y solamente el día 0. En este sentido, a los animales de la granja 1 se le administró ivermectina al 1.5% (Laboratorios Aranda, Querétaro, México) vía subcutánea (15 mg 50 kg^{-1}) y agua destilada vía oral (60 mL). A los animales de la segunda granja se les suministro vía oral 60 mL del extracto hidroetanólico de hoja de *L. tridentata*, el cual es una solución acuosa proveniente de la mezcla de dos extractos. El primer extracto se obtiene a partir de hervir un litro de agua y verter 166 gramos de polvo de hoja de *L. tridentata*, para posteriormente mezclar por 15 minutos y pasarlo por papel filtro para retirar residuos sólidos; el segundo extracto se consigue mezclando un litro de etanol al 96% y 166 gramos de polvo de hoja de *L. tridentata* los cuales se mezclan por 15 minutos y se pasan por papel filtro para eliminar impurezas. Adicionalmente a estos animales les fue aplicado un 1 mL de solución salina (PiSA Farmacéutica, Jalisco, México) de manera subcutánea y, por último, los animales de la tercera granja, a los cuales se les administro solución salina vía subcutánea (1 mL) y agua destilada vía oral (60 mL).

Fueron recolectados cuatro gramos de heces, directamente del canal rectal para evitar contaminaciones; al inicio (día 0) y al final (día 30) del estudio. La mitad de la muestra fue utilizada para realizar un conteo de huevos por gramo (Hpg) en heces, para lo cual fue utilizada la técnica modificada de McMaster con una sensibilidad de 50 huevos por gramo (Coles et al., 1992); mediante la utilización de una solución sacarosa, para la técnica de flotación. Con la otra mitad de las muestras, se realizaron coprocultivos por grupo, utilizando el método de Corticelli-Lai, donde se agruparon las muestras individuales de heces para crear un solo coprocultivo los cuales permitieron la recolección y reconocimiento a través de las larvas en estadio tres (L_3), recolectando 25 larvas del grupo 1 (ivermectina), 18 del grupo 2 (*L. tridentata*) y 30 del grupo 3 (control) (Herrera et al., 2013).

Las variables de respuesta consideradas en este estudio fueron los Hpg y el grado de anemia. Los efectos de los tratamientos sobre las variables de respuesta en caprinos, fueron analizados mediante un ANOVA, utilizando el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, Inc., Cary, NC, EE. UU.). El modelo incluyó los efectos del tratamiento, día de recolección y su interacción sobre las variables de respuesta. Cuando se detectaron efectos significativos, el método de Tukey para la comparación post hoc de las medias fue empleado. Los datos fueron sometidos a la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y, para comprobar la homogeneidad de varianzas, el test de Levene fue utilizado. La significancia estadística se definió como $p < 0.05$.

Resultados y discusión

El conteo de Hpg en heces del día 0, permitió comprobar que todos los animales presentaban una carga parasitaria similar (p > 0.05), por lo tanto, no se evidenciaron diferencias entre grupos (Cuadro1). Para el segundo muestreo (día 30), fueron determinadas diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos. En este sentido, la reducción de Hpg de la ivermectina fue del 89.95%, seguido del 75.78% del extracto de hoja de *L. tridentata*, finalmente, el grupo (granja) control, donde los animales presentaron un incremento del 6.65% en su carga parasitaria. Estos resultados confirman lo reportado por García et al. (2018), quienes utilizaron un extracto hidrometanólico en condiciones *in vitro* y, aunque en ese estudio, evidenciaron resultados inferiores a la lactona macrocíclica. En este mismo sentido, la actividad antihelmíntica evidenciada por *L. tridentata* fue significativa. Sin haber sido determinada en este estudio, esta eficacia pudiera relacionarse con la variedad de metabolitos secundarios que componen esta alternativa fitoterapéutica, los cuales pueden legar a dañar la cutícula del parasito, causando perdida de material interno, lo cual pudiera llegar a inducir la muerte (García et al., 2018).

Cuadro 1. Cantidad de huevos de helmintos, por gramo en heces (Hpg, n), determinado mediante la técnica de McMaster modificada utilizando solución sacarosa en cabras criollas del Potrero de Abrego, Arteaga, Coahuila, México.

Tratamiento	Día 0	Día 30
Ivermectina	1,320.00±138.56 a A	132.60±9.57 c C
Larrea tridentata	1,323.80±239.80 a A	320.60±90.66 b B
Control	1,368.00±220.54 a A	1,459.00±197.68 a A

Los valores representan la media ± error estándar de la media. a-c: Los valores con una letra minúscula diferente, representan diferencias significativas ($p<0.05$) entre tratamientos para el mismo día. A-C: Los valores con una letra mayúscula diferente, representan diferencias significativas ($p<0.05$) para la interacción tratamiento x día.

Las L_3 recuperadas de los cultivos Corticelli-Lai permitieron la identificación de los géneros de helmintos, a través de las claves taxonómicas, utilizando los parámetros morfológicos para la caracterización de especies de helmintos en rumiantes sugeridos por Liébano et al. (2011), logrando identificar ocho taxones dispersos en los distintos grupos (Cuadros 2 - 4).

Cuadro 2. Porcentaje de larvas en estadio tres (%) para los distintos taxones de helmintos identificados en el cultivo Corticelli-Lai del tratamiento ivermectina en cabras criollas del Potrero de Abrego, Arteaga, Coahuila, México.

Taxon	Porcentaje
Strongyloides spp.	40.0
Cooperia spp.	32.0
Haemonchus spp.	16.0
Chabertia ovina	8.0
Oesophagostomum spp.	4.0

Cuadro 3. Porcentaje de larvas en estadio tres (%) para los distintos taxones de helmintos identificados en el cultivo Corticelli-Lai del tratamiento *Larrea tridentata* en cabras criollas del Potrero de Abrego, Arteaga, Coahuila, México.

Taxon	Porcentaje
Cooperia spp.	38.9
Strongyloides spp.	27.8
Nematodirus spp.	16.7
Trichostrongylus spp.	11.1
Bunostomum spp.	5.6

Cuadro 4. Porcentaje de larvas en estadio tres (%) para los distintos taxones de helmintos identificados en el cultivo Corticelli-Lai del tratamiento control en cabras criollas del Potrero de Abrego, Arteaga, Coahuila, México.

Taxones	Porcentaje
Cooperia spp.	23.3
Strongyloides spp.	23.3
Trichostrongylus spp.	20.0
Chabertia ovina	20.0
Nematodirus spp.	10.0
Bunostomum spp.	3.3

Una posible causa, a la presencia de anemia entre los distintos sitios, puede estar relacionada a las parasitosis mixtas, presentes en los animales, las cuales dificultan la correcta absorción de nutrientes (Varcasia et al., 2022). En este sentido, la coloración de la conjuntiva interna del parpado, evidencio un cambio posterior a la aplicación del extracto hidroetanólico de hoja de *L. tridentata,* sin embargo, los resultados observados estuvieron por debajo de los determinados para el tratamiento ivermectina. Por otra parte, un incremento en el grado de anemia en el grupo control fue evidenciado (Cuadro 5).

Cuadro 5. Grado anémico determinado, a través de las conjuntivas oculares bajo la escala FAMACHA© en cabras criollas del Potrero de Abrego, Arteaga, Coahuila, México.

Tratamiento	Día 0	Día 30
Ivermectina	4.30±0.48 a A	1.10±0.32 c C
Larrea tridentata	4.40±0.52 a A	1.60±0.52 b B
Control	4.30±0.48 a A	4.60±0.52 a A

Los valores representan la media ±: error estándar de la media. a-c: Los valores con una letra minúscula diferente, representan diferencias significativas (p<0.05) entre tratamientos para el mismo día. A-C: Los valores con una letra mayúscula diferente, representan diferencias significativas (p<0.05) para la interacción tratamiento x día.

Un estudio previo, realizado en condiciones *in vitro*, por García y otros (2018), quienes utilizaron un extracto hidrometanólico de hoja de *L. tridentata*, observaron la presencia de flavonoides (galocatequina, metil galangina, epigalocatequina 7-O-glucurónido y epigalocatequina), lignanos (sesamina) y antocianinas (peonidin-3-O-rutinoside) utilizando la técnica de cromatografía líquida de alta resolución acoplada a espectrometría de masas.

Conclusiones

A pesar que el extracto hidroetanólico de hoja de *L. tridentata* mostro resultados inferiores a la ivermectina, estos fueron superiores al grupo control. Los cuales sugieren un posible efecto sobre la carga de huevos por gramo de heces en caprinos, por lo tanto, son necesarias investigaciones complementarias para determinar su real potencial antihelmíntico, así como la determinación de dosis seguras para los animales.

Referencias

Coles, G., Bauer, C., Borgsteede, F., Geerts, S., Klei, T., Taylor, M., & Waller, P. (1992). Methods for the detection of anthelmintic resistance in nematodes of veterinary importance. *Veterinary Parasitology, 44*(1-2), 35-44. https://doi.org/10.1016/0304-4017(92)90141-u

Cortes-Morales, J. A., Olmedo-Juárez, A., González-Cortazar, M., Zamilpa, A., López-Arellano, M. E., Flores-Bustamante, H., Avilés-Montes, D., Rivas-González, J. M., Sotelo-Leyva, C., & Salinas-Sánchez, D. O. (2026). Anthelmintic Activity of Protocatechuic Acid Against Ivermectin-Susceptible and Resistant Haemonchus contortus Strains. Pathogens, 15(1), 117. https://doi.org/10.3390/pathogens15010117

Federation Animal Science Society (FASS). (2010). *Guide for the care and use of agricultural animals in agricultural research and teaching*, 3rd ed.; Federation Animal Science Society: Champaign, IL, USA, p. 177.

García, J. E., Gómez, L., Mendoza-de-Gives, P., Rivera-Corona, J. L., Millán-Orozco, J., Ascacio, J. A., Medina, M. A., & Mellado, M. (2018). Anthelmintic efficacy of hydro-methanolic extracts of *Larrea tridentata* against larvae of *Haemonchus contortus*. *Tropical Animal Health and Production, 50*(5), 1099–1105. https://doi.org/10.1007/s11250-018-1535-5

Githigia, S., Thamsborg, S., Munyua, W., & Maingi, N. (2001). Impact of gastrointestinal helminths on production in goats in Kenya. Small Ruminant Research, 42(1), 21-29. https://doi.org/10.1016/s0921-4488(01)00240-1

Hassan, N. M. F., & Ghazy, A. A. (2021). Advances in diagnosis and control of anthelmintic resistant gastrointestinal helminths infecting ruminants. *Journal of Parasitic Diseases, 46*(3), 901-915. https://doi.org/10.1007/s12639-021-01457-z

Herrera, M., Medina, L., Cardona, J., Ríos, L. y Zapata, R. (2013). Frecuencia de la infección por nemátodos gastrointestinales en ovinos y caprinos de cinco municipios de Antioquia. *Revista MVZ Córdoba, 18*(3), 3851-3860. https://doi.org/10.21897/rmvz.157

Liébano, H. E., López, A. M. E., Mendoza, de G. P., & Aguilar, M. L. (2011). *Manual de diagnóstico para la identificación de larvas de nematodos gastrointestinales en rumiantes* (Publicación Especial No. 2). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

National Academy of Medicine (NAM). (2002). *Guide for the care and use of laboratory animals*, 1st ed.; Co-Produced by the National Academy of Medicine—Mexico and the Association for Assessment and Accreditation of Laboratory Animal Care International: Harlan, KY, USA; Mexico City, Mexico.

Rolbiecki, L., & Izdebska, J. N. (2024). Modern strategies for diagnosis and treatment of parasitic diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, *25*(12), 6373. https://doi.org/10.3390/ijms25126373

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2024). *Descubriendo la caprinocultura: Un mundo de oportunidades.* Obtenido de: https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/descubriendo-la-caprinocultura-un-mundo-de-oportunidades?idiom=es

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). *Anuario estadístico de la producción ganadera*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_pecuario/

Sharma, D., Vatsya, S., & Kumar, R. R. (2014). Impact of treatment of gastrointestinal nemathelminths on body weight of sheep and goats. Journal Of Parasitic Diseases, 40(3), 801-804. https://doi.org/10.1007/s12639-014-0581-9

Suarez, V. H., Martínez, G. M., Viñabal, A. E., & Alfaro, J. R. (2017). Epidemiology and effect of gastrointestinal nematodes on dairy goats in Argentina. Onderstepoort Journal Of Veterinary Research, 84(1), e1-e5. https://doi.org/10.4102/ojvr.v84i1.1240

Varcasia, A., Tamponi, C., Ahmed, F., Cappai, M. G., Porcu, F., Mehmood, N., Dessì, G., & Scala, A. (2022). *Taenia multiceps* coenurosis: A review. *Parasites & Vectors*, *15*(1), 84. https://doi.org/10.1186/s13071-022-05210-0

Van Wyk, J. A., & Bath, G. F. (2002). The FAMACHA system for managing haemonchosis in sheep and goats by clinically identifying individual animals for treatment. *Veterinary Research, 33*(5), 509-529. https://doi.org/10.1051/vetres:2002036

PRESENCIA DE HONGOS MICROSCÓPICOS EN BOVINOS LECHEROS DE GÓMEZ PALACIO, DURANGO, MÉXICO

Tamara López Wong[1], Lilia Domínguez Zuñiga[2], David Aguillón Gutierrez[3*]

[1]Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Carretera Torreón Matamoros Km. 7.5, Ejido el Águila, 27275 Torreón, Coahuila, México.[2]Laboratorio de Micología, Universidad Autónoma de Querétaro, carretera a Chichimequillas s/n, ejido Bolaños, C.P. 76140, Santiago de Querétaro, Querétaro, México. [3]Centro de Investigación y Jardín Etnobiológico, Universidad Autónoma de Coahuila, Dr. Francisco González 37, C.P. 27480, Viesca, Coahuila, México. *Autor de correspondencia: david_aguillon@uadec.edu.mx.

Introducción

La actividad ganadera, representa una actividad de relevancia económica a nivel nacional por la producción de carne, leche y sus derivados. México ocupa el puesto 16 entre los países productores de leche a nivel mundial (Loera y Banda 2017). En 2019, el país contaba con 34,037,141 cabezas de ganado bovino, de las cuales el 45.3% correspondía a vacas lecheras (INEGI, 2019). La producción lechera ha mostrado un incremento, destacando la participación de la Comarca Lagunera por su elevado nivel de producción dentro de las principales cuencas lecheras de México (Aguilar y Luevano 2001).

El ganado bovino es de gran importancia económica en la región; sin embargo, puede verse afectado por diversos microorganismos, entre ellos destacan virus, bacterias y hongos. Estos últimos son organismos eucariotas, heterótrofos, de distribución cosmopolita, que se reproducen mediante esporas. Algunos hongos pueden ocasionar enfermedades en el ganado bovino, como abortos, mastitis y dermatofitosis destacando géneros como *Aspergillus* (que puede causar abortos)*, Candida* (que puede causar mastitis) y *Trichophyton* (que puede causar infecciones en la piel) (García y Blanco 2000). La mastitis representa un problema económico para los productores, ya que puede ocasionar pérdidas de hasta 30% en la producción de leche, además de los costos asociados al tratamiento y recuperación de los animales (Wallenberg et al. 2002; Bedolla y Ponce-de León 2008). Asimismo, *Aspergillus* se relaciona con abortos en bovinos, mientras que la dermatofitosis es ocasionada principalmente por *Trichophyton verrucosum* (Jungerman y Schwartzman 1977; Espi, 1998; Chermette et al. 2008). La distribución y frecuencia de estas enfermedades dependen de la interacción entre el agente patógeno, el hospedador y las condiciones ecológicas (Rojas-Martínez et al. 2021). Por lo anterior, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la presencia de hongos microscópicos en ganado bovino lechero de Gómez Palacio, Durango, México, mediante la toma de muestras de tres diferentes áreas corporales como la vagina, la ubre y la piel. Cabe destacar que en la región existe poca información sobre los hongos presentes en el ganado bovino lechero.

Materiales y métodos

El muestreo se realizó durante el mes de diciembre de 2019 en dos establos ganaderos ubicados en el Ejido Huitrón y la localidad El Fresnedo, en Gómez Palacio, Durango, México, (Figura 1), donde se crían bovinos lecheros de las razas Holstein Friesian y Jersey.

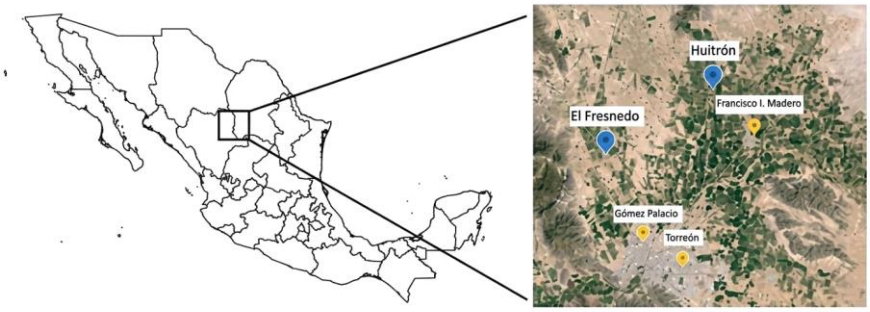


Figura 1. Mapa de localidades muestreadas en el municipio de Gómez Palacio, Durango, México (GoogleMaps, 2021).

La metodología de campo se adaptó de Koneman et al. (2008) y ANEDIDIC (2010), de los cuales se tomaron en cuenta los materiales utilizados para la toma de muestras, así como la higiene y seguridad. Se seleccionaron aleatoriamente 41 vacas lecheras, 20 del primer establo y 21 del segundo, de las cuales se obtuvieron muestras de piel, ubre, y vagina mediante hisopos estériles. La persona que toó la muestra usó guantes estériles cada vez que tomaba una muestra. El hisopo se abría inmediatamente antes de tomar la muestra. Primeramente, se limpió con solución antiséptica y alcohol isopropílico al 70% la zona en la cual se hizo el raspado. Para el muestreo en ubre se procedió a un lavado y desinfección de los pezones del bovino por la parte externa, se lavaron con agua y posteriormente se desinfecto con solución antiséptica, así mismo se limpiaron con torundas de alcohol isopropílico al 70%, se utilizó uno por cada pezón a muestrear; posteriormente se desinfecto el pezón más alejado del operador al más cercano. Para la toma de muestra se utilizaron hisopos estériles que fueron pasados por la punta de la ubre (órgano mamario de las vacas). Por último, el muestreo vaginal se llevó a cabo iniciando con un enjuague de la zona vaginal con agua, posteriormente se introdujo cuidadosamente el hisopo y se realizó el raspado por la pared de la vagina para la toma de muestra; los hisopos con la muestra se colocaron y transportaron en tubos de ensayo con agua destilada estéril en una hielera con gel congelante. Se eligió a través de una página de internet sobre selección de números aleatorios un número al azar correspondiente a la identificación del ejemplar. Los animales seleccionados cumplieron con los siguientes criterios de inclusión. Ser animales sanos (no estar bajo tratamiento de alguna enfermedad), ser productores activos, adultos, no presentar heridas evidentes o problemas de movimiento y no presentar desnutrición o bajo peso. Las muestras fueron transportadas al Laboratorio de Bioindicadores del Centro de Investigación y Jardín Etnobiológico de la Universidad Autónoma de Coahuila, conservadas en una hielera con gel congelante. El tiempo transcurrido entre la toma de muestra y el inicio del procesamiento fue de un día. El trabajo en laboratorio se realizó en dos fases, consistiendo en la siembra y aislamiento de hongos. Para la siembra se esterilizaron los materiales a utilizar, así como el agar papa dextrosa (PDA); iniciando con la preparación del área, la cual fue esterilizada con anterioridad para proceder a la siembra de las muestras tomadas. Las muestras tomadas se sembraron en cajas Petri grandes con PDA con asas bacteriológicas. Las cajas fueron incubadas durante tres semanas a 25º C. las muestras fueron incubadas durante tres semanas a 25°C. Posteriormente, se realizaron resiembras consecutivas para obtener cultivos puros de las colonias, considerando sus características morfológicas (identificando únicamente la diferenciación macroscópica de las colonias) de acuerdo con Carter (1969), Carter y Chengappa (1994), Guevara et al. (2007) y Arenas (2008). Además, se registró la producción media de leche (L/día) de cada vaca (estos datos fueron proporcionados por los establos) para analizar su relación con la presencia de hongos. Los datos fueron sometidos a pruebas de normalidad y posteriormente a un análisis de correlación de Pearson, que se usa para medir la relación entre dos variables cuantitativas, mediante SPSS Statistics 29 (Figura 2).

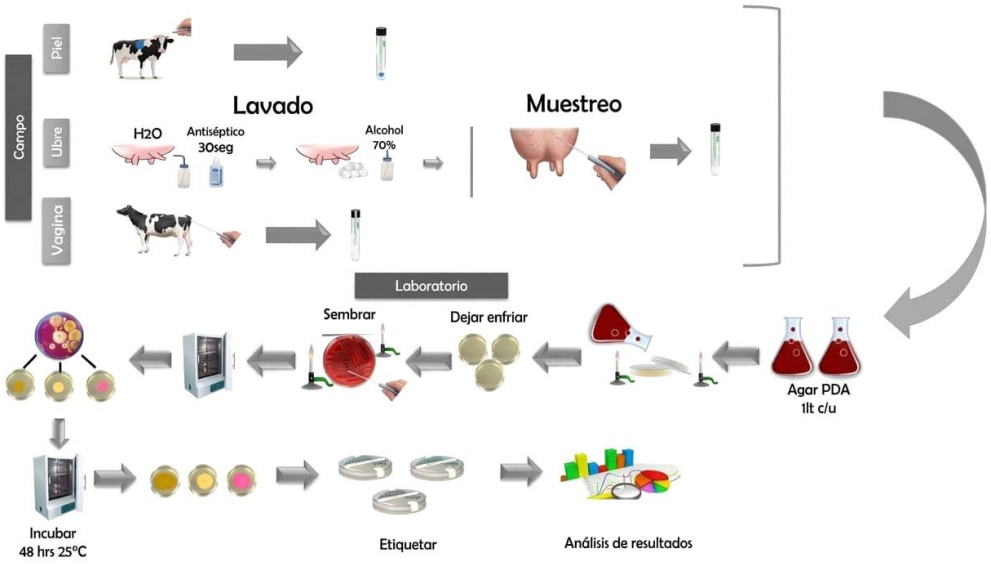


Figura 2. Diagrama de metodología realizada en campo y laboratorio.

Resultados y discusión

Como resultados, se obtuvieron hongos filamentosos y levaduras con diversas características morfológicas en los 41 bovinos muestreados (se obtuvo crecimiento fúngico en los 41 animales muestreados), destacando los hongos filamentosos (Figura 3 y 4).

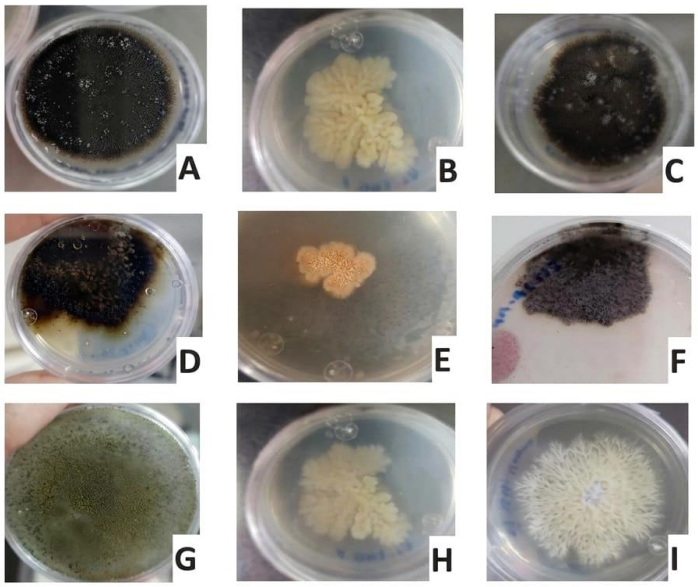


Figura 3. Colonias de hongos aislados de vacas del establo 1 (Ejido Huitrón): A, B y C: hongos aislados de piel; D, E y F: hongos aislados de ubres; G, H e I: hongos aislados de vagina.

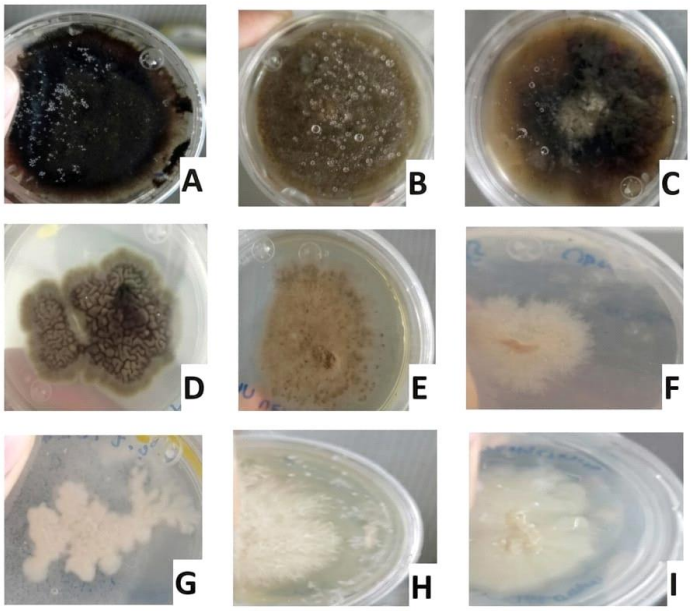


Figura 4. Colonias de hongos aislados de vacas del establo 2 (Localidad El Fresnedo): A, B y C: hongos aislados de piel; D, E y F: hongos aislados de ubres; G, H e I: hongos aislados de vagina.

La piel presentó la mayor presencia de hongos, con 55% de los bovinos en el establo 1 y 53% en el establo 2; seguida de la vagina, con 28% y 31%, respectivamente, mientras que la ubre presentó la menor presencia, con 17% y 16% (Figura 5).

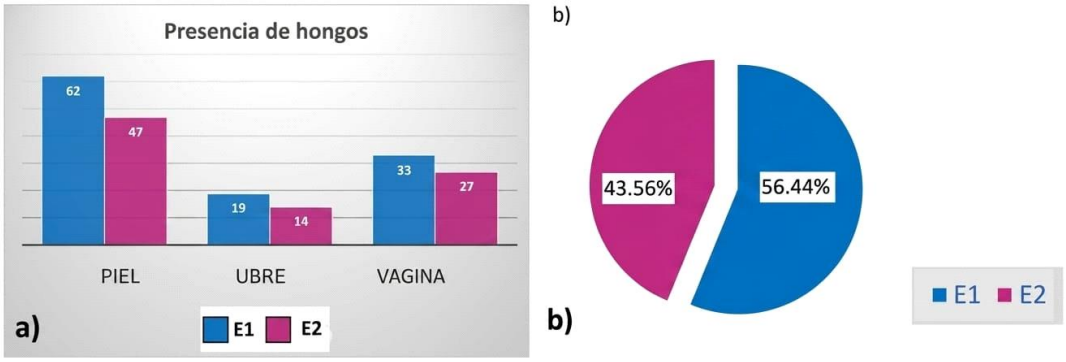


Figura 5. a) Comparación sobre la cantidad de hongos (colonias diferentes macroscópicamente) presentes en cada área corporal muestreada del ganado bovino lechero de los establos E1 (Ejido Huitrón) y E2 (Localidad El Fresnedo). b) Porcentaje total de hongos aislados de los individuos muestreados según el establo.

Los datos de producción de leche por día fueron sometidos a pruebas de normalidad, obteniendo para el establo 1 una p=0.200 de acuerdo con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y de p=0.449 con la prueba de Shapiro-Wilk, mientras que para el establo 2 se obtuvo un resultado de p=0.200 y p=0.867 para las pruebas Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk respectivamente. En todos los casos se cumple con la normalidad, por lo que se realizó un coeficiente de correlación lineal de Pearson.

En el establo 1 la correlación entre la producción láctea de los bovinos muestreados con respecto a la cantidad de colonias de hongos aislados totales resultó positiva baja (r = 0.040, significancia = 0.866) y negativa baja con respecto a colonias aisladas de ubres (r = -0.156, significancia = 0.511). En el establo 2 tanto la correlación entre la producción láctea con respecto a la cantidad de colonias de hongos aislados totales (r = -0.070, significancia = 0.764) como con respecto a colonias aisladas de ubre (r = -0.016, significancia = 0.944) resultaron negativas bajas. No existió correlación entre la producción láctea y el número de colonias aisladas de piel y vagina.

Se obtuvieron un total de 202 colonias fúngicas. Las pruebas de normalidad indicaron una distribución normal de los datos de producción láctea en ambos establos, por lo que se realizó una correlación de Pearson. En el establo 1 se obtuvo una correlación positiva baja entre la producción láctea y el número total de colonias (r= 0.040; p = 0.866), mientras que en él establo 2 fue negativa baja (r = -0.070; p = 0.764), sin encontrarse una correlación significativa entre la producción de leche y la presencia de hongos en piel ubre o vagina.

La mayor presencia de hongos en la piel coincide con la importancia de los microorganismos fúngicos como agentes asociados a afecciones en bovinos (García y blanco, 2000), además de que son un problema cosmopolita, pueden llegar a ser zoonóticos y que al crecer en la piel, pueden afectar diferentes partes del cuerpo (Shihab et al, 2023). Asimismo, las diferencias observadas entre los establos podrían relacionarse con las condiciones de higiene y manejo, ya que un adecuado control sanitario contribuye a disminuir la presencia de microorganismos (DOF, 1996). Aunque no se encontró una relación significativa entre la presencia de hongos y la producción láctea, se recomienda realizar la identificación molecular de los aislados para determinar las especies presentes y su posible relación con enfermedades como mastitis, dermatitis y abortos, también se considera importante fortalecer las medidas preventivas y sanitarias en los establos para reducir los riesgos asociados a infecciones fúngicas.

Conclusiones

No se encontró una relación significativa entre la presencia de hongos en las tres zonas corporales muestreadas ni específicamente en la ubre y la producción láctea. Sin embargo, se evidenció una presencia de microorganismos fúngicos, con un total de 202 colonias aisladas entre ambos establos, siendo el mayor número de colonias en el establo 1. La piel fue el área corporal con mayor número de colonias, seguida de la vagina y la ubre. Estas diferencias podrían estar relacionadas con las condiciones de higiene y manejo de los establos. Los resultados resaltan la importancia de realizar la identificación morfológica y molecular de los hongos aislados para determinar su posible importancia sanitaria en el ganado bovino lechero.

Referencias:

Aguilar A, Luevano A. 2001. Situación actual de la Cuenca Lechera de la Comarca Lagunera, México. ITEA 97A(1): 47-66.

Arenas R. 2008. Micología médica ilustrada. Tercera edición. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana. 425 p.

ANEDIDIC. 2010. Protocolo toma de muestras para el diagnóstico de micosis en piel y uñas. Enferm Dermatol. 11:50.

Bedolla C, Ponce de León M. 2008. Pérdidas económicas ocasionadas por la mastitis bovina en la industria lechera. Rev Electrón Vet. 9(4):1-26.

Carter GR. 1969. Procedimientos de diagnóstico en bacteriología y micología veterinarias. España: Acribia. 332 p.

Carter GR, Chengappa MM. 1994. Bacteriología y micología veterinarias. México D.F.: El Manual Moderno. 518 p.

Chermette R, Ferreiro l, Guillot J. 2008. Dermatophytosis in animals. Mycopathologia 166(5-6): 385-405.

DOF (1996). NOM-050-ZOO-1995 Norma Oficial Mexicana, características y especificaciones zoosanitarias para las instalaciones, equipo y operación de unidades de producción controlada para ganado bovino. Estados Unidos Mexicanos: Diario Oficial de la Federación DXIV. 96 p.

Espi A. 1998. Diagnóstico laboratorial de los problemas reproductivos en el ganado vacuno. Aborto de etiología no vírica. Producción Animal 129: 2-22.

García ME, Blanco JL. 2000. Principales enfermedades fúngicas que afectan a los animales domésticos. Rev Iberoamer Micol. 17: S2-S7.

Guevara M, Urisia F, Casquero J. 2007. Manual de procedimientos y técnicas de laboratorio para la identificación de los principales hongos oportunistas causantes de micosis humanas. Lima, Perú: Fimart SAC. 100 p.

INEGI [Internet]. 2019. Encuesta Nacional Agropecuaria, Ciudad de México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía; [visitada 17 de enero de 2024]. Disponible en: https://cuentame.inegi.org.mx/economia/primarias/gana/default.aspx?tema=e.

Jungerman PF, Schwartzman RM. 1977. Micología médica veterinaria. México D.F.: CECSA. 240 p.

Koneman EW, Allen D, Dowell VR, Sommers HM. 2008. Diagnóstico microbiológico. Texto y atlas color. 6ª Ed. Buenos Aires, Argentina: Editorial Panamericana. 1696 p.

Loera J, Banda J. 2017. Industria lechera en México: parámetros de la producción de leche y abasto del mercado interno. Rev Investig Altoandin. 19(4): 419-426.

Rojas-Martínez C, Loza-Rubio E, Rodríguez Camarillo SD, Figueroa Millán JV, Aguilar-Romero F, Lagunes-Quintanilla RE, Morales-Álvarez JF, Santillán-Flores MA, Socci-Escatell GA, Álvarez-Martínez. Antecedentes y perspectivas de algunas enfermedades prioritarias que afectan a la ganadería bovina en México. Rev Mex Cienc Pecuarias. 12(Supl. 3): 111-148.

Shihab TJ., Ibrahim ZI, Jumma QS, Khorsheed HH. 2023. Dermatophytosis in Bovine, Recent Clinical analysis, Treatment, and updated zoonotic infection: A Review Article. Tikrit Journal of Veterinary Sciences 1(1):119-132.

Wallenberg G, Van der Poel W, Van Oirschot J. 2002. Viral infections and bovine mastitis: a review. Vet Microbiol. 88(1): 27-45.

FACTORES DE RIESGO Y ETIOLOGÍA DE MASTITIS BOVINA EN HATOS LECHEROS DE LA COMARCA LAGUNERA

Aurora Martínez-Romero[1]*, José Luis Ortega-Sanchez[2], Omar Alejandro Gallardo-Anaya [1], Francisco Yair Reyes-Delgado [1], José de Jesús Alba-Romero[1]

[1]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Químicas, Unidad Gómez Palacio [2]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango, México. *Autor de correspondencia: aurora.martinez@ujed.mx

Introducción

En México, la producción de leche de bovino, es una de las ramas de la ganadería de mayor importancia, ya que no solo se le confiere de un alto valor por el tipo de alimento que aporta, sino que juega un papel fundamental dentro de la economía del sector primario e industrial. Además de presentar el mayor potencial de expansión a fin de sustituir el importante componente de abasto procedente del exterior (Quevedo-Winston, 2018). La mastitis, definida como la inflamación de la glándula mamaria, se debe a varios factores. Los agentes infecciosos pueden ser virus, micoplasmas u hongos, pero la mayoría son bacterias. El daño tisular causado por el proceso inflamatorio puede persistir mucho tiempo después de la eliminación de la infección causada por el patógeno (Merin, 2024). El inicio y la propagación de la respuesta inflamatoria inmunovascular están mediadas por mediadores moleculares, de los cuales se ha demostrado que los mediadores lipídicos desempeñan un papel importante en el ganado lechero (Seroussi, 2018). El tratamiento de la mastitis clínica es obligatorio debido a las normas de bienestar animal. Por lo tanto, el control de la mastitis clínica durante la lactancia incluye la administración de antibióticos o antiinflamatorios no esteroideos. Sin embargo, el tratamiento antibiótico de la mastitis no es completamente eficaz contra los patógenos ambientales. Además, durante el tratamiento, se descarta leche debido a la presencia de leche anormal y residuos de antibióticos, lo que aumenta considerablemente las pérdidas económicas (Leitner, 2018). Por lo tanto, es necesario desarrollar nuevos enfoques para el tratamiento de la mastitis subclínica, como lo reflejan los estudios destinados a disminuir el uso de antibióticos en la producción lechera. La mastitis bovina puede ser causada por una variedad de agentes patógenos, incluidas bacterias, hongos y virus, que ingresan al tejido mamario a través de la ubre y desencadenan una respuesta inflamatoria. La predisposición de las vacas a esta enfermedad puede estar influenciada por una serie de factores, que van desde prácticas de manejo inadecuadas hasta condiciones ambientales desfavorables y factores genéticos. La Comarca Lagunera se caracteriza por tener un clima semiárido y condiciones de manejo intensivas en muchos de sus hatos lecheros, lo que puede crear un ambiente propicio para el desarrollo y la propagación de la mastitis bovina. Factores como la higiene deficiente y el mal manejo y microorganismos son las principales causas de la mastitis bovina reduciendo la cantidad y calidad de la leche, afectando la economía de los productores. Estudiar estos factores permitirá mejorar las prácticas de manejo y prevención, beneficiando tanto a productores como a consumidores. El objetivo de la presente investigación fue analizar los principales factores de riesgo y la etiología de mastitis bovina en hatos lecheros de la Comarca Lagunera.

Materiales y métodos

Investigación transversal, analítica, comparativa y observacional. El estudio se llevó a cabo en dos hatos lecheros ubicados en la Comarca Lagunera. Durante el primer día de trabajo se visitaron el establo El Salitre, rancho lechero y unidad de producción pecuaria, altitud 2539 msnm, 25. 8488573º N de latitud y -106.0634417º O de longitud y el establo El Potrero, altitud 1140 msnm, 25.509716° N de y -103.535965° O de longitud, localizados en el municipio de Lerdo, Durango, los cuales forman parte del sector de ganado bovino lechero en la región de la Comarca Lagunera. Se evaluaron las condiciones sanitarias, prácticas de manejo y estado general de los animales. Se realizaron entrevistas a veterinarios y propietarios responsables de los hatos. El propósito fue obtener información sobre la prevalencia de mastitis en sus animales, los factores de riesgo identificados en las granjas y las medidas preventivas que implementan para el control de esta enfermedad. Estas entrevistas permitieron complementar la observación directa con datos sobre manejo, higiene, cambios climáticos, rutina de ordeño y antecedentes de mastitis.

El muestreo fue consecutivo, seleccionado por casuística 120 muestras de leche del establo El salitre y 310 muestras de leche del establo El Potrero, de bovino hembra adultos lecheros de raza Holstein de 38 a 48 meses de edad. Los criterios de inclusión fueron vacas Holstein no gestantes y con más de 60 días en producción láctea, siguiendo las normas mexicanas que establecen los métodos de prueba para aislamiento de microorganismos NOM-210-SSA1-2014 y la NOM-110-SSA1-1994 para la preparación y dilución de muestras. Estas normas enmarcan el proceso de muestreo y diagnostico microbiológico. Para toma de muestra aséptica, los pezones se lavaron con solución desinfectante de hipoclorito de sodio al 0.2%, se secaron con toallas de papel desechable y se les desinfectó el meato del pezón, con torundas humedecidas en alcohol etílico al 70%, antes de recolectar la leche en un frasco estéril. La conservación y transporte, las muestras deben mantenerse en refrigeración a 4°C y procesarse idealmente dentro de las primeras 24 h para evitar la alteración o muerte de los patógenos. Medios de cultivo principales: Agar sangre: se utilizó como medio base para el aislamiento de bacterias aerobias y anaerobias, permitiendo observar reacciones de hemólisis características de estreptococos y estafilococos. Agar Baird-Parker o específicos: Empleados para la identificación selectiva de especies como *Staphylococcus aureus*.

Toma de muestras de leche y análisis microbiológico. Se recolectaron muestras de leche de las vacas que presentaban signos clínicos compatibles con mastitis. Las muestras fueron obtenidas de cuartos individuales siguiendo medidas de higiene y posteriormente transportadas al laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Químicas de la UJED en condiciones de refrigeración. En el laboratorio, las muestras fueron sembradas en medios de cultivo específicos: agar MacConkey para el aislamiento de bacterias Gram (-) y agar sangre para la recuperación de microorganismos Gram (+) y detección de hemólisis. Posteriormente, los cultivos se incubaron a 37°C durante 18 horas. Tras la incubación, se realizaron observaciones de crecimiento bacteriano y se procedió a efectuar la tinción de Gram, con el fin de identificar preliminarmente los microorganismos asociados al cuadro de mastitis. La caracterización inicial permitió orientar la identificación de agentes etiológicos como *Staphylococcus* spp y Enterobacteriaceae. El análisis estadístico de la información se efectuó por medio de estadística descriptiva, análisis de razón de prevalencias.

Resultados y discusión

Durante las visitas realizadas a los hatos lecheros El Potrero y El Salitre, se efectuó una evaluación visual de las condiciones sanitarias, prácticas de manejo y estado general de los animales. Ambos establos presentaron espacios amplios y limpios, así como ganado aparentemente sano y con una alimentación adecuada (Cuadro 1). Estas condiciones reflejan un manejo apropiado de los animales y del entorno productivo. Sin embargo, se detectaron diferencias relevantes relacionadas con el proceso de ordeño. En El Potrero, la ordeña no se realiza con la misma rigurosidad sanitaria observada en El Salitre, donde se registró una rutina de trabajo más cuidadosa. Estas variaciones podrían influir en la incidencia de mastitis dentro de cada hato. Las entrevistas realizadas a los veterinarios y propietarios de los hatos permitieron identificar factores de riesgo que podrían favorecer la presentación de mastitis bovina en las unidades de producción.

Cuadro 1. Estado general de los hatos.

Observaciones	El Potrero	El Salitre
Infraestructura	Amplio	Amplio
Limpieza	Limpio	Limpio
Prácticas de Manejo	Adecuadas	Adecuadas
Estado de Salud de las vacas	Vacas aparentemente sanas	Vacas aparentemente sanas
Alimentación	Buena alimentación	Buena alimentación
Proceso de Ordeño	La ordeña no estan adecuada	Buen cuidado en la ordeña

En El Potrero, los factores de riesgo mencionados fueron los cambios climáticos (particularmente las lluvias y la variación brusca de temperatura), estrés del animal, mala alimentación y deficiencias asociadas a la higiene del pezón durante la ordeña. También se señaló la mala desinfección y la falta de higiene en el equipo. Por otro lado, en El Salitre, se mencionaron factores climáticos extremos, así como deficiencias en el manejo sanitario del proceso de ordeña, incluyendo la ausencia de un método definido y la falta de desinfección del equipo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Factores de riesgo observados en los hatos.

Factor de Riesgo	El Potrero	El Salitre
Estrés del Animal	✓	—
Calor Extremo	✓	✓
Lluvia y Humedad	✓	✓
Mala Alimentación	✓	—
Mala Práctica de Ordeño	✓	✓
Mala Higiene	✓	—
Mala Desinfección del Pezón	✓	—
No Se Desinfecta El Equipo	—	✓
No Existe Método Definido de Ordeña	—	✓

En lo que respecta al análisis microbiológico e identificación bacteriana, la tinción de Gram y las pruebas bioquímicas confirmaron género y especie presentes en cada unidad de producción. En el hato El Potrero se identificaron *Klebsiella pneumoniae* y *Streptococcus agalactiae* (13.4%), mientras que en El Salitre se identificaron *Streptococcus agalactiae* y *Escherichia coli* (6.9%). Estos microorganismos son ampliamente reconocidos como agentes etiológicos de mastitis bovina, tanto ambiental como contagiosa.

Los microorganismos aislados concuerdan con el trabajo realizado por Brisuela-Raygoza y colaboradores (2018), quienes aislaron *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp y *Streptococcus* spp, entre otras. Los patógenos ambientales se encuentran comúnmente en los corrales y bebederos, al identificar la especie que está provocando esta condición, se puede deducir y reducir la fuente de infección, diseñar programas de prevención y control, y orientar una estrategia terapéutica. Asimismo, Ramírez-Vasquez y colaboradores (2011) mencionan que los factores de riesgo para la presentación de la mastitis bovina pueden ser del animal, ambientales o del agente patógeno; quienes obtuvieron una prevalencia de mastitis subclínica del 39.5% y de mastitis clínica 1.7%. Efectuaron 648 cultivos de muestras de leche, de las cuales 23.9% fueron negativas, 34% positivas a *Streptococcus agalactiae* y 10.2% a estafilococo coagulasa negativo. Es así como la incidencia de la infección aumenta con la edad, manejo deficiente, alojamiento inadecuado, viabilidad, virulencia del agente y su susceptibilidad frente a los antimicrobianos.

Entre los factores de riesgo más fuertemente asociados con mastitis se han encontrado: alta producción de leche, bajo recuento de células somáticas y sellado de los pezones. Así mismo, son determinantes el tamaño del hato, hacinamiento, tipo de ordeño, materiales de cama, etapa productiva, higiene y técnicas de ordeño (Quezada & Morales, 2022). La enfermedad aparece también cuando los factores del medio y el manejo de los animales interactúan de tal manera que la ubre es expuesta a microorganismos patógenos (Bonifaz et al., 2024). Quevedo (2018) publica que existen los factores asociados al animal: Presencia o ausencia de resistencia natural a la mastitis y mecanismos de defensa está relacionada con la predisposición genética, anatomía, estado nutricional, parto y lactancia. Todo esto tiene incidencia directa sobre la susceptibilidad de la glándula mamaria a la infección. Los hallazgos de factores de riesgo del establo El Potrero son consistentes con los reportados por Rosero y colaboradores (2022), quienes identificaron mala alimentación, estrés del animal y la humedad en la prevalencia de mastitis.

De la misma manera, Iturralde-García y colaboradores (2022) comentan que la mastitis clínica se caracteriza por presentar cambios exteriores como inflamación de la ubre aspecto y consistencia de la leche producida, de ahí que la mayoría de los productores se centren en ésta. Al respecto, en Quito, Ecuador, Puga-Torres y colaboradores (2024), después de implementar un programa de capacitación enfocado en trabajar en el manejo de los animales, mejorar la alimentación y administrar suplementos nutricionales a vacas lecheras, se evidenció que la capacitación en buenas prácticas de ordeño fue beneficiosa, pues los productores siguieron a cabalidad las recomendaciones indicadas, lo que conllevó a una disminución numérica considerable en el conteo de células somáticas, lo que se traduce en aumento del volumen de producción de leche de los pequeños productores. Sin embargo, se recomienda reforzar la capacitación de nutrición, alimentación, manejo de pasturas para mejorar la calidad de la leche.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio permiten concluir que la mastitis bovina continúa representando un problema sanitario relevante en los hatos lecheros evaluados. Las visitas a los establos y las entrevistas realizadas evidencian que los factores ambientales, particularmente el calor extremo, humedad y prácticas de higiene durante el ordeño, incrementan la susceptibilidad de las vacas a desarrollar infecciones mamarias. El análisis microbiológico de las muestras de leche permitió identificar bacterias asociadas tanto a mastitis ambiental como contagiosa, lo que demuestra que la enfermedad tiene un origen multifactorial en los hatos estudiados.

La mastitis bovina, es la enfermedad que más afecta a la industria lechera, porque ocasiona disminución de fertilidad y producción, así como también, menor calidad de la leche, pérdidas económicas y, potencialmente un problema de salud pública. El éxito económico en la ganadería de producción láctea no es sólo depende del nivel de producción de leche, sino también que las vacas cuenten con longevidad y buena calidad de vida.

Referencias

Bonifaz, N., Galarza, X., Fuertes, B., & Beltrán, J. (2024). Determinación molecular del agente etiológico de la mastitis bovina de muestras provenientes de unidades productoras andinas. La Granja. Revista de Ciencias de la Vida, 39(1):139-55.

Brisuela-Raygosa, J., Palacios-Torres, J., López-Valencia, G., Hori-Oshima, S., Herrera-Ramírez, J. C., Pujol-Manríquez, L. C., ... & Medina-Basulto, G. E. (2018). Identificación molecular y frecuencia de patógenos aislados de mastitis bovina en establos de la Península de Baja California, México. Revista mexicana de ciencias pecuarias, 9(4), 754-768.

Iturralde-García, R. D., Borboa-Flores, J., Sánchez-Maríñez, R. I., Cortez-Rocha, M. O., Cinco-Moroyoqui, F. J., & Wong-Corral, F. J. (2022). Prevalencia y relación de mastitis con niveles séricos de vitaminas E y A y estatus microbiológico en vacas criollas doble propósito, en época de verano. Biotecnia, 24(1), 79-86.

Leitner, G., Zilberman, D., Papirov, E., & Shefy, S. (2018). Assessment of acoustic pulse therapy (APT), a non-antibiotic treatment for dairy cows with clinical and subclinical mastitis. PLoS One, 13(7), e0199195.

Merin, U., Gilad, D., Jacoby, S., Keynan, B., Hefer, Y., Lavon, Y., & Leitner, G. (2024). Retrospective evaluation of udder recovery of cows with subclinical mastitis following treatment with acoustic pulse technology (APT) on commercial dairy farms and its economic impact. Plos one, 19(5), e0303947.

Puga-Torres, B., Meneses-Cunama, D.C, Meneses-Pineda, J.O., Montenegro-Almeida, M.C., Morales-Pérez, I.D., & Villarreal, T. (2024). Plan piloto para el mejoramiento de la calidad nutricional y conteo de células somáticas de leche bovina, producida por pequeños productores de la provincia de Pichincha-Ecuador, aplicando un programa de capacitación. Siembra 11 (1): e4493.

Quevedo, W. (2018). Recuento de celulas somaticas (rsc), como indicador en la resistencia de la mastitis bovina. Revista Ciencia, Tecnología e Innovación, 16(17), 1001-1012.

Quezada, M. M., & Morales-Cauti, S. (2022). Evaluación de la resistencia antibiótica de bacterias aisladas de mastitis subclínica en bovinos de establos lecheros de Lurín, Lima. Salud y Tecnología Veterinaria, 10(1), 8-15.

Ramírez-Vásquez, N., Arroyave-Henao, O., Cerón-Muñoz, M., Jaramillo, M., Cerón, J., & Palacio, L. G. (2011). Factores asociados a mastitis en vacas de la microcuenca lechera del altiplano norte de Antioquia, Colombia. Rev Med Vet, (22), 31-42

Rosero, E. M. I., Montenegro, D. J. O., Abad, R. J. R., & Ordoñez, D. S. H. (2022). Mastitis bovina en el cantón Montufar–Carchi. Prevalencia, agente causal y factores de riesgo. AXIOMA, (26), 5-10.

Seroussi, E., Blum, S. E., Krifucks, O., Lavon, Y., & Leitner, G. (2018). Application of pancreatic phospholipase A2 for treatment of bovine mastitis. PLoS One, 13(8), e0203132.

IMPORTANCIA DE LA EVALUACIÓN CLÍNICA PARA EL MANEJO SANITARIO DEL GANADO CAPRINO AMENAZADO POR BRUCELOSIS

Aurora Martínez-Romero[1]*, José Luis Ortega-Sanchez[2], José de Jesús Alba-Romero[1]

[1]Facultad de Ciencias Químicas Unidad Gómez Palacio. Universidad Juárez del Estado de Durango. [2]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango, México. *Autor de correspondencia: aurora.martinez@ujed.mx

Introducción

La brucelosis es una enfermedad zoonótica causada por bacterias pertenecientes al género *Brucella*. Tiene gran impacto en los países mediterráneos. La implantación de programas de saneamiento ganadero ha permitido la reducción drástica del número de casos humanos y alcanzar el estatus de país libre de infección por *B. abortus*, *B. melitensis* y *B. suis* en ganado bovino, ovino y caprino. En este contexto, la vigilancia epidemiológica de cualquier caso humano, sumada a la vigilancia activa y pasiva de los establecimientos de especies ganaderas y otras susceptibles, cobra especial importancia y debe servir para identificar posibles fuentes de infección residuales que puedan ser indicativas de cambios en la situación epidemiológica (Granero-Melcón et al., 2026). A pesar de los esfuerzos de control a nivel mundial, la brucelosis sigue siendo endémica en diversas regiones, y la aparición de nuevas especies y huéspedes complica su epidemiología. Los mecanismos de supervivencia intracelular de *Brucella*, incluyendo la evasión de las respuestas inmunitarias del huésped y la manipulación de los procesos celulares, contribuyen a su persistencia y patogenicidad. Los desafíos diagnósticos se abordan mediante métodos basados en cultivos, pruebas serológicas y ensayos moleculares. El tratamiento implica una terapia antibiótica prolongada, consistente en regímenes combinados adaptados a la gravedad de la enfermedad y a factores específicos del paciente. Sin embargo, la aparición de cepas resistentes a los antibióticos exige una vigilancia continua y la aplicación de estrategias terapéuticas alternativas. Los programas de prevención hacen hincapié en la vigilancia y vacunación del ganado, las medidas de bioseguridad y la educación pública diseñadas para reducir la transmisión. Los protocolos de seguridad de laboratorio son cruciales para prevenir la contaminación durante la manipulación de muestras sospechosas de brucelosis (Lavigne et al., 2025). En relación a la enfermedad zoonótica de la *Brucella* surge la necesidad de realizar un estudio en el cual se logre evaluar la presencia de dicha enfermedad, ya que esta es de gran riesgo para la salud humana y animal, en el caso de la industria agropecuaria refleja grandes pérdidas debido a los abortos y a la posibilidad de que los subproductos puedan ser contaminados con la bacteria. La Comarca Lagunera, es una zona endémica de brucelosis, enfermedad que tiende a la cronicidad por el desconocimiento en su diagnóstico, tratamiento e implicaciones en salud pública, ya que causa artritis, endocarditis, meningitis y osteomielitis, aunque conlleva a grandes pérdidas económicas al ser una zoonosis. Enfermedad económicamente importante para los seres humanos y ganadería, de distribución mundial causada por bacterias Gram (-), intracelular facultativo. La identificación y diferenciación de las especies de *Brucella* se basa en el cultivo, proceso largo y laborioso además de que existe riesgo de infección. Existe escasa información acerca del perfil clínico sanguíneo en cabras que padecen brucelosis, por lo que es pertinente conocer los cambios entre los metabolitos bioquímicos y hematológicos que puedan reflejar los efectos de la brucelosis en la salud de los animales. Debido a que es una zoonosis es imprescindible realizar una evaluación clínica sanguínea, para conocer indicadores esenciales para llevar a cabo evaluaciones diagnósticas de salud, tanto a nivel individual como poblacional. El disponer de datos de referencia suministrados por individuos sanos contribuye a la detección temprana de enfermedades individuales y/o disfunciones orgánicas. La hipótesis de la presente investigación fue que los valores de referencia en hematología y bioquímica sanguínea son clave en la evaluación clínica y en el manejo sanitario del ganado caprino amenazado por la brucelosis.

Materiales y métodos

Investigación transversal, analítica, comparativa y observacional. El trabajo de campo se realizó en los Ejidos La Victoria (Hato I), Municipio de Tlahualilo (Hato II), San José de Bellavista (Hato III) y Bermejillo (Hato IV), Municipio de Mapimi, Durango, febrero de 2025 a febrero de 2026. Aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la FCQ de la UJED N°123301538X0201 COFEPRIS. Se muestrearon 109 cabras de raza criolla cruzadas con Saanen y Alpina. Se realizaron reuniones con los productores para explicarles los objetivos y beneficios que se obtuvieron con la realización de esta investigación y a su vez para poder detectar los hatos disponibles para el respectivo muestreo de los animales que se analizaron. Posteriormente, se realizó la recolección de aproximadamente 10 mLde sangre por cabra, recolectada en tubos vacutainer, que se transportaron en hieleras para su posterior centrifugación. Se separó el suero de la sangre por centrifugación a 3000 rpm durante 20 min, para realizar la prueba de rosa de bengala (RBT). Cada muestra se marcó utilizando códigos que describen a cada animal. Al suero sanguíneo se le analizaron los siguientes analitos bioquímicos como es el caso de proteína total (g/dl), albúmina (g/dl), globulina (g/dl), glucosa (mg/dl), creatinina, triglicéridos (mg/dl), calcio (mg/l), colesterol (mg/dl), urea (mg/dl), nitrógeno (mg/dl), aspartato transaminasa (U/L), alanina transaminasa (U/L). A la muestra de sangre total se le analizaron los siguientes analitos hematológicos: leucocitos, eritrocitos, hemoglobina, hematocrito, volumen corpuscular medio (VCM), hemoglobina corpuscular media (HCM), concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM), linfocitos, monocitos y segmentados.

Selección de dos variables (causa y efecto):

- Variable dependiente (causa): Brucelosis
- Variable independiente (efecto): Analitos bioquímicos y analitos hematológicos

Los datos obtenidos se colectaron en una base de datos y se analizaron a través de estadística descriptiva, determinando la seroprevalencia general y por hato muestreado. Los cálculos estadísticos para los parámetros hematológicos y bioquímicos se realizaron por medio de una prueba T de Student para datos relacionados y comparación de dos medias entre el valor promedio de cada variable y los valores promedio de referencia. En todos los casos se consideró significativa una $p \leq 0.5$

Si la probabilidad asociada al estadístico calculado es $p \leq 0.05$, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna (Ha).

Resultados y discusión

Se obtuvieron 109 muestras de los diferentes hatos estudiados de los cuales 30 sueros fueron positivos lo cual corresponde a una seroprevalencia del 26.83% de brucelosis con la RBT y que corresponde a un porcentaje de enfermedad del municipio del 35%. Al respecto, es importante analizar que están siendo infectados los caninos vinculados a granjas de pequeños rumiantes, ya que han mostrado una tasa de infección elevada 23.52% (Dadar et al., 2025). Asimismo, en Francia entre 2021 y 2023, aproximadamente 900 perros fueron importados con fines comerciales, lo que lo convirtió en la tercera mayor fuente de importación de *B. canis* (Mvumbi et al., 2026), lo que sugiere que la frecuencia observada en esos estudios podría estar influenciada por condiciones locales específicas, como el manejo sanitario, la interacción interespecífica y la dinámica epidemiológica del sistema. El Hato I presento una seroprevalencia del 58.06%, seguida del Hato IV con 26.83%, el Hato II está libre de brucelosis, y el Hato III mostro una seroprevalencia del 4%.

Por lo que se observa de esta zoonosis, un serio problema de salud pública. Incluso, en China, entre 2017 y 2023 se aislaron e identificaron un total de 514 cepas de *B. melitensis*; de ellas, 498 pertenecían al biovar (bv.) 3 y 16 al bv. 1 (Yang et al., 2026). Estos datos pueden proporcionar pistas vitales para adaptar las medidas de vigilancia epidemiológica y control de la brucelosis animal y por ende la humana.

En el **Cuadro 1** se puede observar la comparación de medias y cálculo del estadístico en los analitos bioquímicos, en los cuales no se observó diferencia significativa entre estos parámetros obtenidos entre las cabras sanas y enfermas.

Cuadro 1. Comparación de medias y cálculo del estadístico en los analitos bioquímicos.

Valores	Unidades	Rangos Normales*	Cabra Sana Media ± SD	Cabra Infectada Media ± SD	P
Proteína Total	g/L	64 – 70	47.45±8.65	45.82±8.97	0.38
Albumina	g/L	27 – 39	25.5±0.25	25.1±0.23	0.44
Globulina	g/L	27 – 41	35.44±9.47	33.94±9.48	0.46
A/G	NR	NR	0.97±0.92	1±0.99	0.91
Glucosa	mmol/L	2.78 – 4.16	2.62±0.15	2.59±0.19	0.38
Triglicéridos	NR	NR	0.32±0.03	0.32±0.02	0.82
Colesterol	mmol/L	2.07 – 3.37	18.79±0.72	18.8±0.58	0.94
Urea	mmol/L	7.14 – 14.28	4.35±5.95	4.38±4.82	0.85
BUN	NR	NR	4.46±1.01	4.5±0.82	0.85
Aspartato transaminasa	U/L	167 – 513	133.42±2.77	133.52±2.25	0.86
Alanina transaminasa	U/L	24 – 83	59.72±2.77	59.82±2.25	0.85
ALKP	U/L	93 - 387	71.96±5.95	72.18±4.82	0.85
Ca	NR	NR	9.35±0.25	9.31±0.23	0.44

BUN: Nitrógeno (Nitrógeno ureico en sangre). ALKP: Fosfatasa alcalina. Ca: Calcio. NR: No reportado. *KANEKO. J.J.. ed. Clinical chemistry of domestic animals. Academic Press. 1989: 886-891. En todos los casos se considera significativa una $p \leq 0.5$.

En el **Cuadro 2** se puede observar la comparación de medias y cálculo del estadístico en los analitos hematológicos. Observándose solo diferencia entre cabras sanas y enfermas en la variable de leucocitos.

Cuadro 2. Comparación de medias y cálculo del estadístico en los analitos hematológicos.

Valores	Unidades	Rangos Normales*	Cabra Sana Media±SD	Cabra Infectada Media±SD	P
Leucocitos	millones/mm	4 a 13	14.18±2.43	15.15±2.37	0.05
Eritrocitos	millones/mm	8 a 18	2.03±0.35	2.06±0.38	0.64
Hemoglobina	g/dl	8 a 12	8.04±0.36	8.06±0.38	0.7
Hematocritos	%	22 a 26	5.95±038	5.96±0.38	0.86
VCM	fl	16 a 25	31.05±0.38	31.06±0.38	0.86
HCM	Pg	5.2 a 8	39.65±1.23	39.74±1.17	0.69
CHCM	g/dl	30 a 35	134.73±1.29	134.95±1.49	0.43
Linfocitos	%	50 a 70	67.73±1.29	67.96±1.49	0.42
Monocitos	%	0 a 4	27.74±1.29	27.95±1.49	0.46
Granulocitos	millones/mm	8 a 18	8.74±1.29	8.95±1.49	0.46

VCM: volumen corpuscular medio. HCM: hemoglobina corpuscular media. CCHM: concentración de hemoglobina corpuscular media. (*) Rangos normales de referencia hematológica para cabras según The Merck Veterinary Manual (2011).

Los grados de libertad (*gl*) para una prueba t de dos muestras independientes se calculó de la siguiente manera:

$$gl = \mathrm{n}_1 + \mathrm{n}_2 - 2$$

De acuerdo con la tabla de seroprevalencia. el total de muestras analizadas es:
N=109. divididas en: n_1 =79 (cabras sanas)
n_2 =30 (cabras infectadas)

$$gl = 79 + 30 = 107$$

Utilizando la tabla de distribución *t* de Student para una prueba de dos colas. con *gl*=107 y un nivel de significancia α=0.05

$$t_{\text{critico}} \approx \pm 1.982$$

El valor de p exacto reportado para la variable de Leucocitos en la tabla es exactamente 0.05
En la distribución estandarizada de *t* de Student. una probabilidad bi-caudal de 0.05 con 107 *gl* arroja un valor calculado que iguala exactamente el umbral crítico:

$$t_{\text{calculado}} = 1.982 \ (-1.982)$$

Dado que el valor de probabilidad obtenido para los leucocitos es exactamente:
p=0.05 se encuentra justo en el límite del criterio de decisión estadístico ($p \leq 0.05$)

Por lo tanto: Se rechaza la Ho y se acepta la Ha para un parámetro hematológico (leucocitos). Hay suficiente evidencia estadística para afirmar que los valores difieren entre ambos grupos. Para los analitos bioquímicos y el resto de los hematológicos. como $p > 0.05$ se acepta la Ho. reflejando que no hay diferencias significativas en los parámetros bioquímicos entre las cabras sanas e infectadas.

Conclusiones

La diferencia significativa detectada únicamente en el parámetro hematológico de Leucocitos (14.18 $\pm$ 2.43 millones/mm^3 en cabras sanas contra 15.15 $\pm$ 2.37 millones/mm^3 en cabras infectadas; *p* = 0.05) demuestra una respuesta celular inflamatoria e infecciosa activa en el ganado caprino afectado por *Brucella*. Ambas medias se encuentran por encima del rango normal de referencia (4 a 13 millones/mm^3). lo que sugiere un reto sanitario general en los hatos caprinos. agudizado en las cabras infectadas. La ausencia de diferencias significativas en los parámetros bioquímicos como proteínas. enzimas hepáticas (AST. ALT. ALKP) y analitos como Urea y BUN. indica que. en los estadios evaluados. la brucelosis no ha generado daño orgánico severo. crónico o sistémico que altere las constantes metabólicas de las cabras analizadas.

De acuerdo a la estratificación por hato caprino (I. II. III. IV). es necesario focalizar intervención sanitaria urgente en el Hato I (seroprevalencia del 58.06%) y el Hato IV (26.83%). El Hato II se mantiene libre (0%) de brucelosis. por lo que requiere medidas estrictas de bioseguridad y cuarentena para evitar el ingreso de animales infectados. asimismo. el Hato III que mostro una seroprevalencia del 4% es necesario evitar el hacinamiento entre las cabras. separar del hato las cabras infectadas para impedir el contagio de brucelosis hacia las cabras identificadas como sanas en el mismo Hato. Para futuras investigaciones es recomendable utilizar para diagnóstico de las diferentes especies del género *Brucella* la PCR múltiple porque amplifica simultáneamente diferentes secuencias diana. así como la identificación simultánea de diversos genes. Se recomienda procesar la PCR múltiple con técnicas como Western-blot que detecta proteínas específicas porque hay casos en que se detectan genes que codifican toxinas u otros factores de virulencia.

Referencias

Dadar. M. Fakhri. Y. Shahali. Y. Tittarelli. M. Sacchini. F. & De Massis. F. (2025). Global epidemiology and diagnostic insights into canine brucellosis: A comprehensive meta-analysis and meta-regression. *One Health*. 101225.

Granero-Melcón. B. Rodríguez-Campelo. D. Amillategui-Dos Santos. R. Alonso-Colón. M. Valdezate. S. Medina-Pascual. M. J. ... & Estévez-Reboredo. R. M. (2026). Brucelosis en España: situación epidemiológica 2014-2023 y perspectivas de futuro. *Boletín epidemiológico semanal.* 34(1). 15-27.

Lavigne. J. P. Magnan. C. Loubet. P. Sotto. A. O'Callaghan. D. & Keriel. A. (2025). What's new in the diagnosis and treatment of human brucellosis? *Infectious Diseases Now*. 105121.

Mvumbi. P. Zanella. G. & Crozet. G. (2026). Risk Assessment and Management of *Brucella canis* Introduction via Commercial Dog Imports Into France. *Risk Analysis*. 46(4). e70217.

Yang. Q. Wang. P. Shao. Z. Yang. X. Yang. F. Yang. J. ... & Yu. B. (2026). Geographic distribution and genetic diversity of *Brucella melitensis* from Yunnan province. China. *BMC microbiology*. 26(1). 48.

MANEJO NUTRICIONAL DE *Apis mellifera* L. EN ZONAS ÁRIDAS: RESULTADOS PRELIMINARES DE LOS CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE SUPLEMENTACIÓN ENERGÉTICA Y PROTEICA

Karen Fraire-Galindo[1,2]*, Jorge Luis Becerra-López[2], Saúl Santana-Espinoza[3], Susana Torres Valles[4]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango, México. [2]Laboratorio de Cambio Climático y Conservación de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, México. [4]Universidad Politécnica de La Región Laguna (UPRL), Ejido Santa Teresa, San Pedro de las Colonias, Coahuila. * Autor de correspondencia: biolfraire@gmail.com

Introducción

La apicultura constituye una actividad productiva de importancia económica y ecológica por la obtención de miel y otros productos de la colmena, así como por el servicio de polinización que *Apis mellifera* proporciona a cultivos agrícolas y especies silvestres (Klein et al., 2006; FAO, 2023). La productividad y estabilidad de las colonias dependen, entre otros factores, de la disponibilidad y calidad de los recursos florales, de los cuales las abejas obtienen los carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas y minerales necesarios para su mantenimiento y desarrollo (Brodschneider & Crailsheim, 2010; Di Pasquale et al., 2013; Paray et al., 2021).

En regiones áridas y semiáridas, la marcada estacionalidad de las floraciones, las precipitaciones irregulares, las sequías prolongadas y otros factores ambientales pueden generar periodos de escasez de néctar y polen, incrementando el riesgo de estrés nutricional en las colonias (Ansaloni et al., 2025). Ante estas condiciones, la alimentación suplementaria constituye una estrategia de manejo para compensar temporalmente la limitada disponibilidad de recursos florales (Noordyke & Ellis, 2021). Sin embargo, la suplementación energética y proteica responde a necesidades fisiológicas diferentes, por lo que su aplicación debe sustentarse en el diagnóstico nutricional de la colonia, la disponibilidad de recursos florales y los objetivos de manejo (Delaplane et al., 2013; Branchiccela et al., 2019).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue integrar y sintetizar la evidencia científica disponible sobre nutrición suplementaria de *Apis mellifera*, con énfasis en condiciones de zonas áridas y semiáridas, para establecer criterios técnicos que orienten la selección de suplementos energéticos y proteicos y apoyen la toma de decisiones en el manejo nutricional de las colonias.

Materiales y métodos

El presente estudio se desarrolló mediante una revisión integradora de literatura científica, metodología que permite recopilar, evaluar, comparar y sintetizar información proveniente de diferentes tipos de investigaciones para generar una visión integral del conocimiento disponible y desarrollar herramientas aplicables a la práctica (Whittemore & Knafl, 2005; Torraco, 2016; Snyder, 2019). La búsqueda bibliográfica se realizó entre enero y abril de 2026 en las bases de datos Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar, complementándose con libros especializados, manuales técnicos y documentos elaborados por organismos nacionales e internacionales relacionados con la apicultura. Se emplearon combinaciones de palabras clave en español e inglés, entre ellas: *Apis mellifera*, honey bee nutrition, supplemental feeding, protein supplementation, carbohydrate supplementation, bee nutrition y nutritional management.

Como criterios de inclusión se consideraron artículos científicos arbitrados, revisiones, manuales técnicos y documentos institucionales publicados preferentemente entre 2010 y 2025, priorizando aquellos con información relacionada con la fisiología nutricional de las abejas, requerimientos nutricionales, suplementación energética, suplementación proteica y estrategias de manejo nutricional. Asimismo, se incluyeron publicaciones clásicas ampliamente reconocidas por su relevancia científica cuando constituyeron la base conceptual del tema. Posteriormente, la información recopilada fue organizada y analizada mediante un proceso de clasificación temática, considerando cuatro componentes principales: i) requerimientos nutricionales de las colonias; ii) características, funciones y aplicaciones de la suplementación energética; iii) características, funciones y aplicaciones de la suplementación proteica; y iv) criterios utilizados para seleccionar el tipo de suplementación de acuerdo con el estado nutricional de la colonia y las condiciones del apiario.

Con base en el análisis comparativo de la literatura se identificaron los principales consensos científicos relacionados con el uso de suplementos nutricionales y se integraron las recomendaciones con mayor respaldo experimental. A partir de esta síntesis se desarrolló una herramienta técnica para la toma de decisiones, integrada por un esquema de selección del tipo de suplementación, una tabla comparativa entre suplementación energética y proteica y una lista de verificación para apoyar el diagnóstico nutricional de las colonias. Finalmente, las recomendaciones fueron revisadas considerando su congruencia técnica, consistencia con la evidencia científica y aplicabilidad en sistemas de producción apícola, con el propósito de facilitar su adopción por productores, técnicos y programas de extensión rural.

Resultados y discusión

La revisión integradora permitió sintetizar la información científica disponible sobre nutrición suplementaria en *Apis mellifera* e identificar criterios consistentes para orientar la selección de suplementos energéticos y proteicos durante el manejo de las colonias. El análisis de la literatura evidenció que la eficacia de la suplementación depende del nutriente limitante presente en la colonia, así como de las condiciones ambientales y de los objetivos productivos del apiario (Branchiccela et al., 2019).

Como resultado del proceso de integración se identificaron dos estrategias de suplementación claramente diferenciadas. La suplementación energética se recomienda principalmente cuando existe escasez de néctar o disminución de las reservas de miel, debido a que proporciona carbohidratos que permiten mantener la actividad metabólica de las obreras, favorecer el pecoreo y reducir el consumo de las reservas energéticas de la colonia. Por su parte, la suplementación proteica se asocia con escenarios de baja disponibilidad de polen o escaso desarrollo de la cría, ya que aporta aminoácidos, lípidos y otros nutrientes indispensables para la producción de jalea real, el desarrollo larval y el fortalecimiento de la población (Branchiccela et al., 2019; Ansaloni et al., 2025). Estas diferencias funcionales se sintetizan en el cuadro 1, donde se comparan las condiciones de aplicación, objetivos y efectos esperados de ambos tipos de suplementación.

La información recopilada también permitió integrar indicadores prácticos para el diagnóstico nutricional de las colonias. A partir de la evidencia científica se desarrolló una lista de verificación basada en variables fácilmente observables durante las inspecciones rutinarias, entre ellas la disponibilidad de reservas de miel, la entrada de polen, la presencia de área de cría, la oferta floral del entorno y los objetivos de producción del apiario (cuadro 2). Estos indicadores constituyen criterios técnicos que facilitan la evaluación del estado nutricional de la colonia antes de implementar cualquier estrategia de suplementación.

Con base en la síntesis de la evidencia se elaboró un esquema de apoyo para la toma de decisiones (Figura 1), el cual integra la secuencia lógica de evaluación del estado nutricional de la colonia y orienta la selección del tipo de suplemento de acuerdo con el recurso limitante identificado. La herramienta propuesta traduce la información científica en un procedimiento práctico que puede emplearse durante las inspecciones de campo, favoreciendo decisiones objetivas y reduciendo la aplicación empírica de suplementos.

Los resultados obtenidos muestran que la literatura especializada mantiene un consenso respecto a que la suplementación energética y la proteica no son estrategias intercambiables, ya que responden a necesidades fisiológicas distintas. Brodschneider y Crailsheim (2010) y Di Pasquale et al. (2013) señalaron que los carbohidratos sostienen principalmente las actividades metabólicas y de vuelo, mientras que las proteínas determinan el desarrollo de la cría y la capacidad de renovación poblacional. Estudios más recientes han confirmado que el éxito de la suplementación depende de identificar correctamente el nutriente limitante antes de suministrar cualquier alimento artificial (Branchiccela et al., 2019; Ansaloni et al., 2025).

Cuadro 1. Comparación entre la suplementación energética y proteica en colonias de *Apis mellifera*.

Aspecto	Suplementación Energética	Suplementación Proteica
¿Cuándo utilizarla?	Escasez de néctar, bajas reservas de miel, antes de floraciones importantes o durante la formación de núcleos.	Baja entrada de polen, poco desarrollo de la cría, producción de reinas o fortalecimiento de colonias.
¿Qué ocurre en la colonia ante la falta de energía y proteína?	Disminuye la disponibilidad de energía y aumentan el consumo de reservas de miel.	Se limita el desarrollo de la cría y disminuye el crecimiento de la población.
Objetivo de la suplementación	Mantener la actividad de las abejas y conservar las reservas energéticas.	Favorecer el desarrollo de la cría y fortalecer la población de la colonia.
¿Cómo aplicarla?	Administrar jarabe de azúcar.	Colocar tortas o suplementos proteicos.

Cuadro 2. Criterios para la selección de la suplementación energética y proteica en abejas melíferas.

✔	Pregunta de Verificación
☐	¿Las reservas de miel son insuficientes?
☐	¿Se observa poca entrada de polen?
☐	¿Existe escasez de floración en el entorno?
☐	¿La colonia presenta poca área de cría?
☐	¿Las condiciones climáticas limitan el pecoreo (sequía o lluvias)?
☐	¿Se requiere fortalecer la colonia antes de una floración importante?
☐	¿La colonia será utilizada para producción de reinas o formación de núcleos?

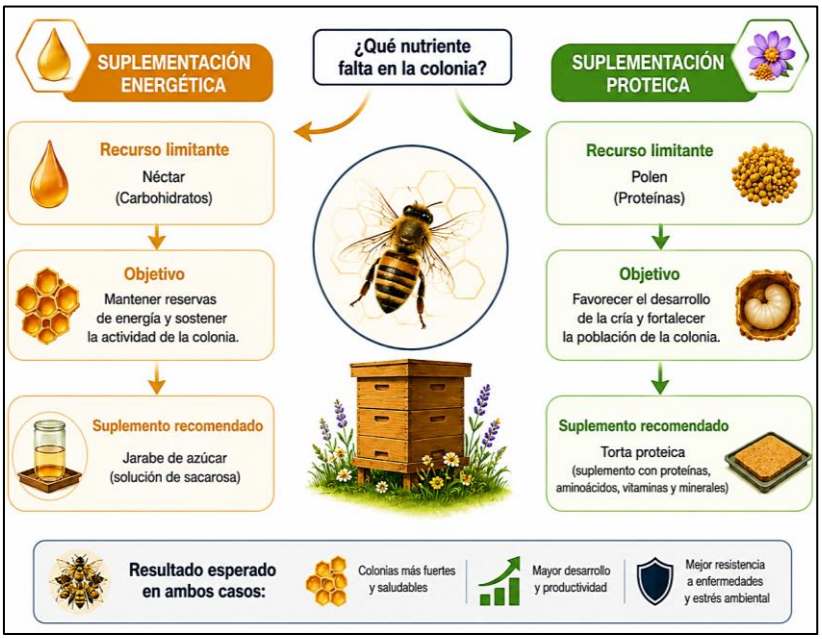


Figura 1. Esquema para la selección del tipo de suplementación nutricional en colonias de *Apis mellifera*.

Conclusiones

Desde la perspectiva de las Buenas Prácticas Apícolas, estos resultados resaltan que la alimentación suplementaria debe considerarse una estrategia de manejo basada en evidencia y no una práctica rutinaria aplicada de manera uniforme a todas las colonias. La utilización de herramientas de diagnóstico como las desarrolladas en este trabajo permite disminuir la subjetividad durante la inspección de los apiarios, optimizar el uso de suplementos y favorecer decisiones acordes con las condiciones fisiológicas de las colonias y la disponibilidad de recursos florales. Asimismo, la integración del conocimiento científico en formatos de fácil interpretación representa un mecanismo eficiente para fortalecer la transferencia tecnológica hacia el sector apícola. El esquema de decisión, la tabla comparativa y la lista de verificación desarrollados durante esta revisión facilitan la adopción de recomendaciones sustentadas en evidencia científica y constituyen herramientas prácticas para mejorar el manejo nutricional de *Apis mellifera*, particularmente en regiones donde la disponibilidad de recursos florales presenta una marcada variabilidad estacional.

Referencias

Ansaloni, L., Kristl, J., Domingues, C. E. C., & Gregorc, A. (2025). An overview of the nutritional requirements of honey bees (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758). *Insects*, 16(1), 97. https://doi.org/10.3390/insects16010097

Branchiccela, B., Castelli, L., Corona, M., Díaz-Cetti, S., Invernizzi, C., Martínez de la Escalera, G., Mendoza, Y., Santos, E., Silva, C., & Antúnez, K. (2019). Impact of nutritional stress on the honeybee colony health. *Scientific Reports*, 9, 10156. https://doi.org/10.1038/s41598-019-46453-9

Brodschneider, R., & Crailsheim, K. (2010). Nutrition and health in honey bees. Apidologie, 41(3), 278–294. https://doi.org/10.1051/apido/2010012

Delaplane, K. S., van der Steen, J., & Guzman-Novoa, E. (2013). Standard methods for estimating strength parameters of *Apis mellifera* colonies. *Journal of Apicultural Research*, 52(1), 1–12. DOI: 10.3896/IBRA.1.52.1.03

Di Pasquale, G., Salignon, M., Le Conte, Y., Belzunces, L. P., Decourtye, A., Kretzschmar, A., Suchail, S., Brunet, J. L., & Alaux, C. (2013). Influence of pollen nutrition on honey bee health: Do pollen quality and diversity matter? *PLoS ONE*, 8(8), e72016. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072016

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). The State of Food and Agriculture 2023. FAO.

Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2006). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proceedings of the royal society B: biological sciences, 274(1608), 303.

Noordyke, E. R., & Ellis, J. D. (2021). Reviewing the efficacy of pollen substitutes as a management tool for improving the health and productivity of Western honey bee (*Apis mellifera*) colonies. Frontiers in Sustainable Food Systems, 5, 772897. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.772897

Paray, B. A., Kumari, I., Hajam, Y. A., Sharma, B., Kumar, R., Albeshr, M. F., ... & Khan, J. M. (2021). Honeybee nutrition and pollen substitutes: A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(1), 1167-1176.

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339.

Torraco, R. J. (2016). Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. Human Resource Development Review, 15(4), 404–428.

Whittemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: Updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, 52(5), 546–553.

EFECTO DEL ÁCIDO FERÚLICO EN LA CALIDAD DE SEMEN REFRIGERADO DE CARNEROS DORPER

Sebastián Haro-Lavin [1*], Ma. Guadalupe Calderón-Leyva[1], Alan S. Alvardo-Espino [1], Fernando Arellano-Rodríguez [1], Oscar Ángel-García[1]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL), Postgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria, Periférico Raúl López Sánchez, C.P. 27054, Torreón, Coahuila, México. * Autor de correspondencia: angelgarciao@hotmail.com

Introducción

La refrigeración y criopreservación del semen constituyen una herramienta fundamental para los programas de mejoramiento genético y conservación de germoplasma en ovinos; sin embargo, los procesos de enfriamiento, congelación y descongelación generan estrés oxidativo que compromete la calidad y funcionalidad de los espermatozoides (Bucak et al., 2008; Sharafi et al., 2022). Durante este proceso, aumenta la producción de especies reactivas de oxígeno, que afectan la integridad de la membrana plasmática, la función mitocondrial y la capacidad fertilizante del semen (Amaral et al., 2013; Khalil et al., 2023). Ante esta problemática, la incorporación de antioxidantes en los diluyentes seminales ha mostrado resultados favorables para reducir los daños causados por el estrés oxidativo y mejorar la calidad espermática durante su conservación (Jurado-Campos et al., 2023; Sohail et al., 2024). Entre estos compuestos, el ácido ferúlico destaca por su capacidad antioxidante y su potencial para proteger las estructuras celulares frente al daño oxidativo. Por lo anterior, se planteó la hipótesis de que la incorporación de ácido ferúlico ejercerá un efecto antioxidante que optimizará la calidad del semen refrigerado.

Materiales y métodos

El experimento se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 3 × 8 y medidas repetidas en el tiempo. El factor tratamiento correspondió a Control sin ácido ferúlico (TC), 5 mM de ácido ferúlico (T5) y 10 mM (T10), y el factor tiempo a 0, 2, 12, 24, 36, 48, 60 y 72 h de refrigeración. En cada tiempo se determinaron la motilidad individual (MI, %), viabilidad espermática (VE, %), integridad funcional de la membrana plasmática mediante HOST (%) e integridad acrosomal mediante azul de Coomassie (%). Los datos se analizaron mediante modelos lineales mixtos para medidas repetidas, considerando tratamiento, tiempo y su interacción como efectos fijos, e incorporando el bloque y la unidad correspondientes al tratamiento dentro del bloque en la estructura aleatoria. Se comparó un modelo sin estructura específica de correlación residual con una estructura autorregresiva continua de primer orden [CAR(1)], seleccionándose la estructura con menor AIC. Las medias marginales estimadas se compararon mediante la prueba de Tukey. Los resultados se expresaron como medias marginales estimadas ± EE en porcentaje, y las diferencias entre tratamientos en puntos porcentuales (pp). Se consideró $P < 0.05$ como significativo.

Resultados y discusión

El tiempo de refrigeración afectó significativamente todas las variables de calidad seminal evaluadas ($P < 0.0001$; Cuadro 1). No se detectó un efecto global del tratamiento sobre la integridad acrosomal evaluada con Coomassie ($P = 0.7375$), HOST ($P = 0.6261$), la motilidad individual ($P = 0.7532$) ni la viabilidad espermática ($P = 0.1383$). La interacción tratamiento × tiempo no fue significativa para Coomassie ($P = 0.9833$), HOST ($P = 0.9480$) ni para la motilidad individual ($P = 0.4180$); sin embargo, si lo fue para la viabilidad ($P = 0.0194$).

A las 0 h, la viabilidad fue de 54.5 ± 2.3 % en el Control, 64.7 ± 2.3 % en T5 y 67.6 ± 2.3 % en T10. T5 y T10 presentaron mayor viabilidad que el Control (P = 0.0112 y P = 0.0017, respectivamente), sin diferencia entre T5 y T10 (P = 0.6111). Las diferencias observadas a las 0 h no persistieron durante las horas posteriores de refrigeración, por lo que el tiempo de almacenamiento constituyó el principal factor asociado con los cambios en la calidad seminal.

Cuadro 1. Efectos del tratamiento, tiempo de refrigeración y su interacción sobre las variables de calidad seminal.

Variable	Modelo	Tratamiento F (P)	Tiempo F (P)	Tratamiento × Tiempo F (P)
Coomassie	Indep.	0.311 (0.7375)	6.510 (<0.0001)	0.361 (0.9833)
HOST	Indep.	0.484 (0.6261)	7.693 (<0.0001)	0.465 (0.9480)
Motilidad individual	CAR(1)	0.289 (0.7532)	10.376 (<0.0001)	1.039 (0.4180)
Viabilidad	CAR(1)	2.286 (0.1383)	21.589 (<0.0001)	2.026 (0.0194)

Nota: los valores se presentan como F (P). CAR(1) = estructura autorregresiva continua de primer orden. P < 0.05 se consideró significativo.

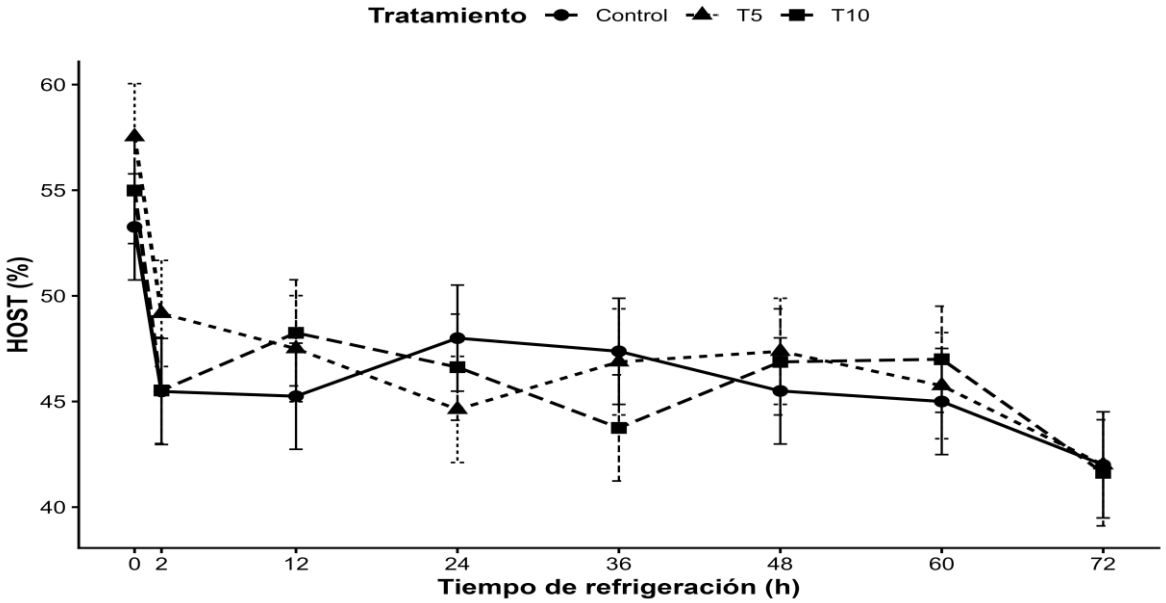


Figura 1. Host (%) durante el periodo de refrigeración del semen de carneros Dorper durante 72 h de refrigeración en respuesta a la suplementación con ácido ferúlico.

Los puntos representan medias marginales estimadas ± EE. Letras diferentes a las 0 h indican diferencias entre tratamientos mediante Tukey (P < 0.05). La interacción tratamiento × tiempo fue significativa (P = 0.0194).

El tiempo de refrigeración afectó de manera significativa las variables de calidad seminal evaluadas. El efecto del tiempo fue significativo para la motilidad individual, la viabilidad espermática, la integridad funcional de la membrana plasmática evaluada mediante HOST y la integridad acrosomal determinada mediante azul de Coomassie (P < 0.0001 en todos los casos). Este comportamiento coincide con Bucak et al. (2008) y Rizkallah et al. (2022), quienes relacionan el deterioro de la calidad espermática durante el almacenamiento con alteraciones metabólicas y estrés oxidativo asociado con la producción y acumulación de especies reactivas de oxígeno. Asimismo, concuerda con la sensibilidad de los espermatozoides de carnero a las condiciones de conservación descrita por Jurado-Campos et al. (2023).

Contrario a lo esperado, la suplementación con ácido ferúlico no produjo un efecto global significativo sobre la motilidad individual (P = 0.7532), y la interacción tratamiento × tiempo tampoco fue significativa (P = 0.4180). Por tanto, las diferencias numéricas observadas entre Control, T5 y T10 en determinados tiempos no constituyen evidencia de que el ácido ferúlico preservara la motilidad durante las 72 h. La motilidad depende, entre otros procesos, de la disponibilidad energética y de la función mitocondrial, mecanismos estrechamente relacionados con el equilibrio oxidativo del espermatozoide (Amaral et al., 2013).

La viabilidad espermática mostró un comportamiento distinto. Aunque el efecto global del tratamiento no fue significativo (P = 0.1383), se detectó una interacción tratamiento × tiempo (P = 0.0194). A las 0 h, T5 (64.7 ± 2.3 %) y T10 (67.6 ± 2.3 %) presentaron mayor viabilidad que el Control (54.5 ± 2.3 %; P = 0.0112 y P = 0.0017, respectivamente), sin diferencia entre T5 y T10 (P = 0.6111). Sin embargo, estas diferencias no persistieron posteriormente. Por ello, no puede establecerse una respuesta dosis-dependiente ni un efecto protector sostenido durante la refrigeración. Aunque la literatura indica que los antioxidantes pueden limitar la peroxidación lipídica y el daño de membrana (Bhalothia et al., 2022; Khalil et al., 2023), la respuesta inicial observada en este estudio debe interpretarse con cautela.

Para HOST y Coomassie, el tiempo fue significativo (P < 0.0001), mientras que el tratamiento y la interacción tratamiento × tiempo no lo fueron (P > 0.05). En consecuencia, las modificaciones de la integridad funcional de la membrana plasmática y de la integridad acrosomal estuvieron asociadas principalmente con la duración del almacenamiento y no proporcionaron evidencia de una protección diferencial atribuible al ácido ferúlico. Otros antioxidantes han mostrado efectos favorables sobre las estructuras espermáticas bajo diferentes condiciones experimentales (Pasciu et al., 2023; Sohail et al., 2024); sin embargo, esos efectos no pueden extrapolarse directamente a las concentraciones evaluadas en el presente estudio.

Debe considerarse que no se determinaron directamente marcadores de estrés oxidativo, como especies reactivas de oxígeno, peroxidación lipídica o actividad de enzimas antioxidantes. Por ello, aunque el ácido ferúlico posee propiedades antioxidantes descritas en la literatura, las variables funcionales evaluadas no permiten demostrar de forma directa una reducción del estrés oxidativo. En conjunto, el tiempo de refrigeración fue el factor más consistente asociado con los cambios en la calidad seminal. La suplementación con 5 o 10 mM de ácido ferúlico no produjo un efecto global sostenido; la única respuesta dependiente del tratamiento y del tiempo se observó en viabilidad al inicio del periodo de evaluación.

Conclusiones

El tiempo de refrigeración fue el principal factor asociado a las variaciones en la calidad seminal de carneros Dorper (P < 0.0001 para todas las variables). La suplementación con ácido ferúlico a 5 y 10 mM no produjo un efecto global significativo sobre motilidad individual, viabilidad, HOST o Coomassie. La viabilidad presentó una interacción tratamiento × tiempo significativo (P = 0.0194), con valores superiores de T5 y T10 respecto al Control a las 0 h; sin embargo, estas diferencias no persistieron posteriormente. Bajo las condiciones del estudio, la hipótesis de una mejora sostenida de la calidad del semen refrigerado mediante ácido ferúlico no fue respaldada de forma general.

Referencias

Amaral, A., Lourenço, B., Marques, M., & Ramalho-Santos, J. (2013). Mitochondria functionality and sperm quality. *Reproduction, 146*(5), R163–R174. https://doi.org/10.1530/REP-13-0178

Bhalothia, S. K., Mehta, J. S., Kumar, T., Prakash, C., Talluri, T. R., Pal, R. S., & Kumar, A. (2022). Melatonin and canthaxanthin enhances sperm viability and protect ram spermatozoa from oxidative stress during liquid storage at 4°C. *Andrologia, 54*(1), e14304. https://doi.org/10.1111/and.14304

Bucak, M. N., Ateşşahin, A., & Yüce, A. (2008). Effect of anti-oxidants and oxidative stress parameters on ram semen after the freeze-thawing process. *Small Ruminant Research, 75*(2–3), 128–134. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.09.002

Jurado-Campos, A., Soria-Meneses, P. J., Arenas-Moreira, M., Alonso-Moreno, C., Rodríguez-Robledo, V., Soler, A. J., Garde, J. J., & Fernández-Santos, M. R. (2023). Minimizing sperm oxidative stress using nanotechnology for breeding programs in rams. *Journal of Animal Science and Biotechnology, 14*(1). https://doi.org/10.1186/s40104-023-00907-3

Khalil, W. A., Sharaf, A. E., Khalifa, E. I., El-Harairy, M. A., Swelum, A. A., & Abdelnour, S. A. (2023). Recent approaches in the use of antioxidants and proteomic modifications in ram semen preservation. *Reproduction in Domestic Animals, 58*(12), 1639–1653. https://doi.org/10.1111/rda.14485

Pasciu, V., Nieddu, M., Sotgiu, F. D., Baralla, E., & Berlinguer, F. (2023). An overview on assay methods to quantify ROS and enzymatic antioxidants in erythrocytes and spermatozoa of small domestic ruminants. *Animals, 13*(14), 2300. https://doi.org/10.3390/ani13142300

Rizkallah, N., Chambers, C. G., de Graaf, S. P., & Rickard, J. P. (2022). Factors affecting the survival of ram spermatozoa during liquid storage and options for improvement. *Animals, 12*(3), 244. https://doi.org/10.3390/ani12030244

Sharafi, M., Borghei-Rad, S. M., Hezavehei, M., Shahverdi, A., & Benson, J. D. (2022). Cryopreservation of semen in domestic animals: A review of current challenges, applications, and prospective strategies. *Animals, 12*(23), 3271. https://doi.org/10.3390/ani12233271

Sohail, T., Zhang, L., Wang, X., Jiang, C., Wang, J., Sun, X., & Li, Y. (2024). Astaxanthin improved the quality of Hu ram semen by increasing the antioxidant capacity and mitochondrial potential and mitigating free radicals-induced oxidative damage. *Animals, 14*(2), Article 319. https://doi.org/10.3390/ani14020319

TASA OVULATORIA EN CABRAS TRATADAS CON PULPA DE CAFÉ

García-Muñoz Leonardo[2*], Aguilar-Mejía Ana Isabel[3], Sánchez-Serrano Luis David[2], Castañeda-Martínez Xóchitl Guadalupe[2], Arellano-Rodríguez Fernando[1], Ángel-García Oscar[2]

[1]Departamento de Producción animal, UAAAN UL, [2]Departamento de Ciencias Médico Veterinario, UAAAN UL, [3]Programa de Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria, UAAAN UL. *Autor de correspondencia: gamleo125@gmail.com

Introducción

La tasa ovulatoria es uno de los componentes que determina la eficiencia reproductiva de las majadas(Viñoles, 2011). La tasa ovulatoria determina el valor de la prolificidad al parto, y por lo tanto la productividad de una explotación. Para los pequeños rumiantes, el límite superior de la tasa ovulatoria está determinado genéticamente y por lo tanto puede ser que se mejore mediante la selección. Sin embargo, la expresión de ese potencial genético está fuertemente influenciada por el régimen nutricional al que son sometidos los animales antes del empadre (Scaramuzzi y Martin 2008). Esto se observa de manera evidente a partir de las correlaciones entre la condición corporal y el tamaño de la camada. Pero lo más importante, en el contexto de la suplementación estratégica, es que se produce un efecto agudo sobre las ovulaciones.

EI fenómeno de la ovulación ha sido estudiado en los últimos años, atribuyéndole principalmente a dos hormonas, la foliculoestimulante o FSH Y la hormona luteinizante o LH , En forma indirecta están involucrados los estrógenos y la progesterona, Igualmente, se sabe existen varios péptidos de origen folicular, cuyas concentraciones cambian de acuerdo al estado de crecimiento y desarrollo del folículo; algunos de estos péptidos se han logrado caracterizar bioquímicamente, pero su función exacta hasta el momenta no es totalmente clara(Rojas Rodríguez & Rodríguez Rivera, 1997). Una buena alimentación dentro de un hato de cabras es sin duda relevante, ya que es necesario que los animales estén en buena condición corporal y así poder llevar a cabo sus actividades reproductivas (Jimeno et al., 2000). Tal es el caso de la tasa ovulatoria, la cual se ve reducida en las hembras debido a una desnutrición (Mani et al., 1992; Abecia et al., 2006).

Estudios previos han demostrado que con una buena condición corporal tanto en ovejas (Johnson et al., 2011) como en cabras se incrementa la tasa ovulatoria con respecto a hembras con una baja condición corporal (Henniawati y Fletcher, 1986). Así, la suplementación nutricional puede contrarrestar el efecto negativo de una desnutrición. Como alternativa de suplementación se ha optado en los subproductos como la pulpa de café (PCaf), que en la producción de café, se aprovecha el 60% del grano y el excedente es PCaf, un subproducto con pocos usos industriales (Ulloa et al., 2003). Actualmente existen pocas investigaciones del uso de PCaf en cabras bajo condiciones de pastoreo (Nava et al., 2023).

Materiales y Métodos

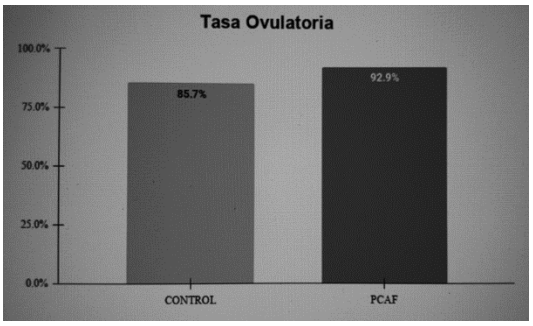
El presente estudio experimental se llevó a cabo en un hato caprino bajo un sistema de explotación extensiva en pastoreo, ubicado en la comunidad de Ciudad Villa Juárez, dentro de la región de la Comarca Lagunera, México. Se utilizaron 42 cabras hembras multirraciales (con genotipos Criollo, Alpina, Toggenburg y Saanen), clínicamente sanas y manejadas en un sistema de pastoreo característico de la zona. Previo a la fase experimental, todos los animales estuvieron sometidos a las mismas condiciones de manejo y pastoreo tradicionales de la unidad de producción. Durante el periodo de estudio, las cabras salieron al pastoreo de manera habitual y tuvieron acceso a agua y alimento a libre acceso.

Las 42 cabras se asignaron de manera aleatoria a dos grupos experimentales homogéneos, Grupo Control: Integrado por 21 cabras que recibieron el manejo y la alimentación tradicional del hato en pastoreo, sin la adición de pulpa de café. Grupo Tratamiento: Integrado por 21 cabras que recibieron el manejo tradicional en pastoreo más una suplementación individual diaria de 300 g de pulpa de café por animal. La suplementación del Grupo Tratamiento se realizó de forma individual en el corral previo a la salida al pastoreo. Para evaluar la palatabilidad y el comportamiento en el consumo de la pulpa de café se registraron las siguientes variables: Cantidad ofrecida y rechazada (rechazo): Se pesaron diariamente los 300 g de pulpa de café asignados por animal antes de ser ofrecidos.

Al finalizar el tiempo de alimentación, se pesó el alimento rechazado o no consumido utilizando una báscula digital con precisión, determinando por diferencia la cantidad real consumida por cada hembra.Tiempo de consumo: Mediante el uso de un cronómetro digital, se contabilizó individualmente el tiempo (en minutos/segundos) desde que cada cabra iniciaba la ingesta de la pulpa de café hasta que la rechazaba o consumía la totalidad de la ración. Para la evaluación de la tasa ovulatoria en ambos grupos experimentales, las hembras fueron sometidas a la observación y conteo de estructuras ováricas (cuerpos lúteos) mediante ecografía transrectal. La tasa ovulatoria se calculó como el número total de cuerpos lúteos observados entre el número de hembras que ovularon en cada grupo, expresando el resultado en porcentaje y en promedio de óvulos/cuerpos lúteos por hembra.

Resultados y Discusión

Los datos recolectados en campo (consumo, rechazo, tiempos de ingesta y conteo de tasa ovulatoria) se registraron y sistematizaron. El porcentaje de ovulación fue del 92.9% para el grupo suplementado con pulpa de café, en comparación con un 85.7% registrado en el grupo control. El número total de cuerpos lúteos observados fue mayor en el grupo tratamiento con un conteo total de 27 estructuras (promedio de 1.9 \pm 0.9 cuerpos lúteos por hembra), mientras que el grupo control presentó un acumulado de 22 cuerpos lúteos (promedio de 1.6 \pm 0.8 cuerpos lúteos por hembra).



El porcentaje de ovulación obtenido en las hembras suplementadas con pulpa de café (92.9%) sugiere un efecto favorable sobre el desempeño ovárico en cabras criadas bajo sistemas extensivos de pastoreo. El incremento en el número promedio de cuerpos lúteos (1.9 pm 0.9 en tratamiento vs. 1.6 pm 0.8 en control) demuestra que la adición de 300 g de pulpa de café en la dieta no interfiere negativamente con la capacidad del ovario para responder a la maduración y rotura folicular. A diferencia de lo reportado en vacas y ovejas, donde dosis elevadas de pulpa de café o concentraciones de cafeína han mostrado reducciones en la fertilidad o en el porcentaje de gestación, los datos del presente estudio en cabras muestran que un aporte de 300 g diarios mantiene una tasa ovulatoria elevada.

Conclusión

La suplementación estratégica con 300 g diarios de pulpa de café en cabras bajo sistemas de pastoreo extensivo demostró un efecto positivo sobre el desempeño reproductivo, incrementando tanto el porcentaje de ovulación (92.9% vs. 85.7%) como el número promedio de cuerpos lúteos por hembra (1.9 vs 1.6) en comparación con el grupo control. Por lo tanto, la pulpa de café constituye una alternativa viable, accesible y económicamente sostenible como subproducto agroindustrial para la alimentación caprina en la Comarca Lagunera. Su inclusión no interfiere negativamente con la respuesta ovárica y favorece el potencial reproductivo de la majada en sistemas de producción en pastoreo.

Referencias

De Santiago-Miramontes, M. A., Rivas-Muñoz, R., Muñoz-Gutiérrez, M., Malpaux, B., Scaramuzzi, R. J., & Delgadillo, J. A. (2008). The ovulation rate in anoestrous female goats managed under grazing conditions and exposed to the male effect is increased by nutritional supplementation. *Animal Reproduction Science*, *105*(3–4), 409–416.

Nava-Joachin, F., Ángel-García, O., Rojas-Hernández, S., Olivares-Pérez, J., Quiroz-Cardoso, F., Damián-Valdés, M. Á., & Robledo-Reyes, E. E. (2023). Efecto de la pulpa de café sobre la calidad de la leche en cabras en pastoreo en el norte de México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, *31*, 169–173.

Rojas Rodríguez, O., & Rodríguez Rivera, O. L. (1997). Tasa ovulatoria y presencia de folículos después del estro en ovejas Blackbelly. *Técnica Pecuaria en México*, *35*(1), 32–37.

Salinas-Rios, T., Sánchez-Torres-Esqueda, M. T., Díaz-Cruz, A., Cordero-Mora, J. L., Cárdenas León, M., Hernández-Bautista, J., Nava-Cuellar, C., & Nieto Aquino, R. (2016). Oxidative status and fertility of ewes supplemented coffee pulp during estrous synchronization and early pregnancy. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, *29*(4), 255–263.

Ulloa Rojas, J. B., Verreth, J. A. J., Amato, S., & Huisman, E. A. (2003). Biological treatments affect the chemical composition of coffee pulp. *Bioresource Technology*, *89*(3), 267–274.

Viñoles G., C. (2011). Regulación de la foliculogénesis y la tasa ovulatoria en la oveja. *Spermova*, *1*(1), 92–94.

CINÉTICA DE LA PRODUCCIÓN DE GAS DE UN CONCENTRADO CON DIFERENTES NIVELES DE ORÉGANO MEXICANO

María Fernanda García-Domínguez[1], Rafael Jiménez-Ocampo[2], Jorge Alonso Maldonado-Jáquez[3], Karina Aide Araiza-Ponce[4], Diana Sofía Torres-Velázquez[4] y Pablo Alfredo Domínguez-Martínez[2]*

[1]Universidad Juárez del Estado de Durango - Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, 34120, Durango, Dgo. México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) - Campo Experimental Valle del Guadiana, 34170, Durango, Dgo. México. [3]INIFAP - Campo Experimental La Laguna, 27440, Matamoros, Coah. México. [4]Universidad Juárez del Estado de Durango - Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, 34162, Durango, Dgo. México. *Autor de correspondencia: dominguez.pablo@inifap.gob.mx

Introducción

El uso de subproductos y residuos de origen vegetal en la alimentación de rumiantes puede contribuir a la reducción de desperdicios agroindustriales. Además, algunos de estos materiales contienen compuestos bioactivos capaces de modificar la fermentación ruminal y la utilización de los nutrientes (Jalal et al., 2023; Wang et al., 2024).

El orégano mexicano (*Lippia graveolens* Kunth) contiene compuestos fenólicos y terpenoides con actividad biológica, por lo que se ha evaluado como fuente de aditivos de origen vegetal para rumiantes. En estudios con ovinos se ha observado efecto de *L*. *graveolens* sobre variables productivas y de fermentación (Muñoz-Cuautle et al., 2022). Sin embargo, estos estudios se centran sobre el aceite esencial; mientras que, existe poca información sobre el aprovechamiento directo de la fracción fina que se genera durante el cribado de las hojas, sin pasar por procesos de extracción.

La producción de gas *in vitro* permite evaluar la respuesta fermentativa de los alimentos mediante parámetros que describen la producción potencial, la tasa de fermentación y la fase de latencia. Con base en los anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la inclusión de 0, 3, 6 y 10 % de residuo de orégano en un concentrado con 12 % de proteína cruda sobre la cinética y la producción acumulada de gas durante 96 h de fermentación *in vitro*.

Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - Campo Experimental Valle del Guadiana en la ciudad de Durango. Se utilizó el líquido ruminal de dos bovinos macho con cánula ruminal permanente, alimentados mediante pastoreo continuo en una pradera de clima templado y agua *ad libitum*. La composición botánica de la pradera fue *Trifolium repens* L. (33.7%), *Bromus carinatus* Hook. y Arn. (14.7%) y *Lolium arundinaceum* L. (13.0%), entre otras nueve especies de menor frecuencia.

Para la elaboración de los concentrados experimentales, se obtuvo, de la empresa Chiles Secos La Bufa, polvo residual del cribado de orégano. El residuo de orégano se incorporó en concentraciones de 0, 3, 6 y 10 % a un concentrado comercial, para bovinos, con 12 % de proteína cruda. Cada concentrado experimental tuvo tres replicas (n = 12 unidades experimentales).

La producción de gas *in vitro* se determinó en un sistema de frascos con transductores de presión, siguiendo lo propuesto por Theodorou et al. (1994). Aproximadamente 0.5 g de materia seca (MS) de cada tratamiento se colocaron en los frascos de incubación y se mezclaron con una solución de líquido ruminal y búfer en una relación 1:2. El líquido ruminal se colectó por la mañana, después de la sesión matutina de pastoreo, y se filtró a través de cuatro capas de gasa. Finalmente, el líquido se transportó al laboratorio en un termo sellado y precalentado a 39 °C.

Las muestras se incubaron a 39 °C en baño maría bajo atmosfera de CO_2 durante 96 h, con lecturas de presión a las 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 y 96 h. Después, las lecturas de presión se convirtieron a volumen de gas (mL) mediante una curva de calibración obtenida por regresión lineal [mL = (7.8016*PSI)+0.40; R^2 = 0.99; n = 59 puntos]. El volumen de cada unidad se corrigió restando el promedio de dos blancos incubados en paralelo y se expresó en mL g MS^{-1}. Previo al análisis de cinética se verificó el coeficiente de variación (CV) entre réplicas por dosis y hora, sin detectarse combinaciones con CV >20 %.

A cada curva de producción de gas se le ajustaron tres modelos no lineales, parametrizados de forma compatible (asíntota *a*, tasa *c*, fase de latencia Lag) para hacerlos comparables entre sí:

- Ørskov y McDonald (1979): Y = a(1 − e^[−c(t−Lag)]) para t > Lag; Y = 0 para t ≤ Lag.
- Gompertz modificado (Zwietering et al., 1990): Y = a·exp{−exp[(c·e/a)(Lag−t)+1]}.
- France et al. (1993), modificada: Y = a{1 − exp[−c(t−Lag) − d√(t−Lag)]} para t > Lag, sustituyendo el término original √t − √Lag por √(t−Lag) para evitar inestabilidad numérica cuando Lag → 0.

El ajuste se hizo con el algoritmo de Levenberg-Marquardt (función nlsLM, paquete minpack.lm), y los tres modelos convergieron en las 12 curvas. La selección del modelo se realizó a nivel global (un mismo modelo para las 12 curvas), mediante el criterio de información de Akaike (AIC) promedio, para garantizar que los parámetros fueran comparables entre dosis. El modelo de Ørskov y McDonald presentó el menor AIC. Con base en lo anterior, este modelo se usó para calcular los parámetros *a* (máxima producción de gas, mL gMS^{-1}), *c* (tasa fraccional de fermentación, h^{-1}) y Lag (fase de latencia, h) de cada réplica, así como la producción de gas acumulada a 24 y 96 h.

La dosis de residuo de orégano se analizó como variable continua mediante los modelos de regresión lineal y cuadrática para cada variable de respuesta. La significancia del término cuadrático se evaluó mediante una prueba de F de comparación de modelos anidados (ANOVA). El supuesto de normalidad de los residuales del modelo cuadrático se verificó con la prueba de Shapiro-Wilk. Además, se realizó un análisis de varianza de una vía con la dosis como factor, prueba de Levene para homogeneidad de varianzas y prueba de Tukey ($P < 0.05$) para la comparación de medias. Todos los análisis se hicieron con el software R versión 4.6.1 a través de los paquetes dplyr, tidyr, purr, broom, minpack.lm y car.

Resultados y discusión

Los tres modelos no lineales convergieron en las 12 curvas individuales de producción de gas. El modelo de Ørskov y McDonald (1979) presentó el menor AIC promedio en comparación con los modelos de France et al. (1993) y Gompertz modificado (Zwietering et al., 1990), motivo por el que se utilizó para estimar los parámetros *a*, *c* y Lag de cada réplica (Figura 1).

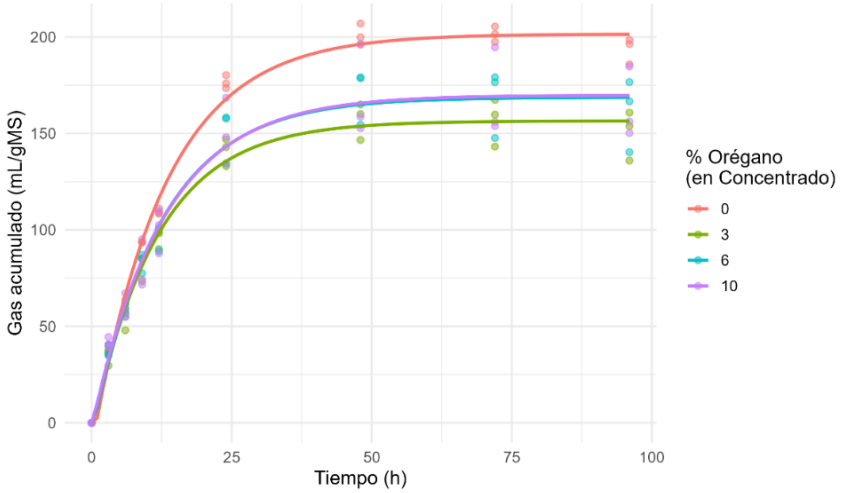


Figura 1. Cinética de producción de gas en concentrado (12 % proteína cruda) con la inclusión de distintas dosis de residuo de orégano.

La asíntota de producción de gas (*a*) disminuyó a valores entre 32.85 a 45.06 mL gMS^{-1} con la inclusión de orégano (Cuadro 1). Esta reducción coincide con lo reportado para aceite esencial, en la que se documentó una reducción de 6 a 9 % en la producción total de gas al incluir 1.5 a 2.0 g L^{-1} de aceite esencial de orégano (Cobellis et al., 2015). En otro estudio se encontró que solo la dosis de 1000 mg L^{-1} redujo la producción de gas y la concentración total de ácidos grasos volátiles (Benchaar y Hassanat, 2025). El mecanismo propuesto involucra al carvacrol y al timol, principales fenoles del orégano, que se insertan en la membrana citoplasmática de las bacterias, aumentan su permeabilidad y disipan la fuerza protón-motriz, lo que a su vez reduce la disponibilidad de ATP y limita la actividad de los microorganismos ruminales (Xu et al., 2008).

Cuadro 1. Parámetros cinéticos y gas acumulado a 24 y 96 horas, por dosis de residuo de orégano en el concentrado con 12 % de proteína cruda.

Dosis (%)	a (mL g MS^{-1})	c (h^{-1})	Lag (h)	Gas 24 h (mL gMS^{-1})	Gas 96 h (mL gMS^{-1})
0	201.54	0.077	0.84	176.53	193.53
3	156.48	0.085	0.38	140.99	150.18
6	168.69	0.080	0.35	150.11	161.17
10	169.82	0.078	0.19	150.36	163.71

El efecto de la dosis sobre *a* tuvo mejor ajuste al modelo cuadrático que lineal (P = 0.045), con un mínimo estimado en 6.22 % de inclusión (Figura 2). Se observó el mismo patrón para el gas acumulado a 24 (P = 0.046) y 96 h (P = 0.043). A diferencia de la respuesta descendente lineal que se obtiene en la mayoría de los estudios con aceite esencial; en el presente trabajo, la curva muestra una recuperación parcial con la inclusión de 10 % de polvo de orégano. Por otro lado, se ha reportado que la producción total de gas con una dosis alta de aceite esencial (130 mg L^{-1}) es mayor, en comparación con dosis intermedias, también en una respuesta cuadrática (Zhou et al., 2020).

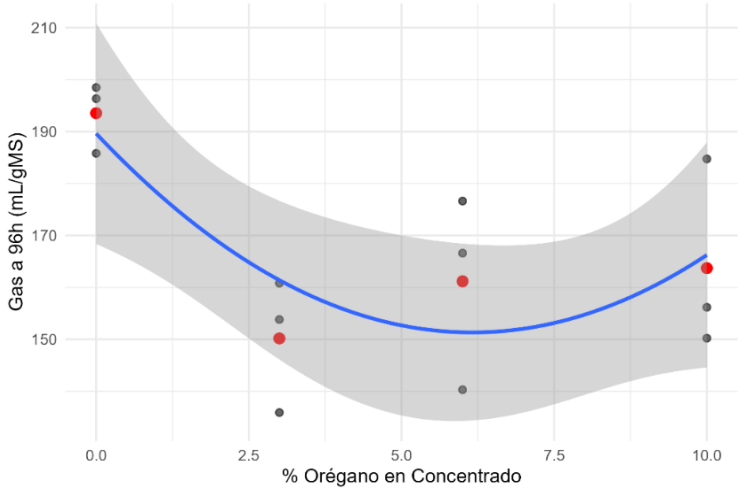


Figura 2. Efecto de la dosis de inclusión de residuo de orégano en la producción acumulada de gas a 96 h.

El análisis de varianza confirmó diferencias entre dosis de residuo de orégano para *a*, gas a 24 y 96 h (P = 0.031, P = 0.028 y P = 0.038, respectivamente); sin embargo, la prueba de Tukey solo diferenció el 3 % con respecto del testigo (P <0.05). Por otro lado, los tratamientos con 6 y 10 % no tuvieron efecto significativo en comparación con el concentrado sin residuo. En términos prácticos, esto señala a 3 % como el nivel de residuo de orégano con efecto más estable; aunque, se recomienda evaluar mayor número de réplicas de los tratamientos 6 y 10 % para aumentar la potencia del análisis estadístico y su capacidad para detectar posibles efectos.

La tasa de fermentación (*c*) no sufrió cambios con las dosis de orégano, ni en el modelo lineal (P = 0.74), ni en el cuadrático (P = 0.12) y se mantuvo entre 0.077 y 0.085 h^{-1} en los cuatro tratamientos. La fase de latencia (Lag) disminuyó linealmente con las dosis (P = 0.034), de 0.84 h en el testigo hasta 0.019 h con 10 % de residuo de orégano, sin curvatura significativa (P = 0.36). Este resultado contrasta con lo obtenido para aceite esencial de lavanda (Yadeghari et al., 2015), donde la tasa de producción de gas disminuyó linealmente y la fase de latencia aumentó linealmente (P = 0.003) con la distintas dosis. Es posible que los carbohidratos solubles del residuo de orégano aceleren el inicio de la fermentación, incluso cuando los compuestos fenólicos inhiben su extensión total, un efecto que un aceite esencial no podría producir. La ausencia de efecto sobre *c*, en contraste con el efecto sobre *a*, sugiere que el residuo de orégano modificó la extensión de la fermentación sin alterar la velocidad a la que esta ocurre en las unidades experimentales.

Conclusiones

La cinética de producción de gas del concentrado con residuo de orégano tuvo mejor ajuste al modelo de Ørskov y McDonald (1979) en comparación con los otros dos modelos no lineales evaluados. La inclusión de residuo de orégano redujo la cantidad máxima de producción de gas y el volumen acumulado a 24 y 96 h como función cuadrática de la dosis, con un mínimo cercano al 6 %, sin modificar la tasa fraccional de fermentación. Además, la fase de latencia disminuyó linealmente conforme aumentó la dosis de orégano. Sin embargo, solo la inclusión de 3 % de residuo difirió de manera significativa del testigo en la prueba de Tukey; mientras que, el efecto de 6 y 10 % no pudo confirmarse debido al incremento de variabilidad entre las réplicas de estas dosis. Con base en lo anterior, 3 % de residuo de orégano en el concentrado se identifica como el nivel de inclusión con el efecto más consistente sobre la fermentación *in vitro*. La extrapolación de estos hallazgos requiere validación entre lotes de residuo de orégano e inoculo de otros animales.

Agradecimientos

Se agradece al INIFAP por los recursos otorgados a la tecnología “Residuo de orégano en la alimentación de bovinos: mejora de la degradabilidad y mitigación de las emisiones de metano” (registro: 1544407973-P-E-1-1), y al Grupo Disciplinar en Innovación Ganadera y Recursos Forrajeros (UJED-GDS-037) y su LGAC: Estrategias de alimentación y gestión sostenible de los sistemas de producción animal, por su apoyo.

Referencias

Benchaar, C., & Hassanat, F. (2025). Assessing the effects of high-carvacrol oregano oil on rumen microbial fermentation, gas production, and methane production *in vitro*. *Canadian Journal of Animal Science*, 105, 1–6. https://doi.org/10.1139/cjas-2024-0083

Cobellis, G., Petrozzi, A., Forte, C., Acuti, G., Orrù, M., Marcotullio, M., Aquino, A., Nicolini, A., Mazza, V., & Trabalza-Marinucci, M. (2015). Evaluation of the Effects of Mitigation on Methane and Ammonia Production by Using *Origanum vulgare* L. and *Rosmarinus officinalis* L. Essential Oils on in Vitro Rumen Fermentation Systems. *Sustainability*, 7(9), 12856–12869. https://doi.org/10.3390/su70912856

France, J., Dhanoa, M. S., Theodorou, M. K., Lister, S. J., Davies, D. R., & Isac, D. (1993). A Model to Interpret Gas Accumulation Profiles Associated with In Vitro Degradation of Ruminant Feeds. *Journal of Theoretical Biology*, 163(1), 99–111. https://doi.org/10.1006/jtbi.1993.1109

Jalal, H., Giammarco, M., Lanzoni, L., Akram, M. Z., Mammi, L. M. E., Vignola, G., Chincarini, M., Formigoni, A., & Fusaro, I. (2023). Potential of Fruits and Vegetable By-Products as an Alternative Feed Source for Sustainable Ruminant Nutrition and Production: A Review. *Agriculture*, 13(2), 286. https://doi.org/10.3390/agriculture13020286

Muñoz-Cuautle, A., Ortega-Cerrilla, M. E., Herrera-Haro, J. G., Nava-Cuellar, C., Gutiérrez-Olvera, C., Ramírez-Bribiesca, J. E., & Zetina-Córdoba, P. (2022). Effect of Oregano (Lippia graveolens) Essential Oil as a Phytogenic Feed Additive on Productive Performance, Ruminal Fermentation, and Antioxidant Activity in Lamb Meat. *Agriculture*, 12(7), 973. https://doi.org/10.3390/agriculture12070973

Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2), 499–503. https://doi.org/10.1017/s0021859600063048

Theodorou, M. K., Williams, B. A., Dhanoa, M. S., McAllan, A. B., & France, J. (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 48(3–4), 185–197. https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6

Wang, J., Deng, L., Chen, M., Che, Y., Li, L., Zhu, L., Chen, G., & Feng, T. (2024). Phytogenic feed additives as natural antibiotic alternatives in animal health and production: A review of the literature of the last decade. *Animal Nutrition*, 17, 244–264. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.01.012

Xu, J., Zhou, F., Ji, B.-P., Pei, R.-S., & Xu, N. (2008). The antibacterial mechanism of carvacrol and thymol against *Escherichia coli*. *Letters in Applied Microbiology*, 47(3), 174–179. https://doi.org/10.1111/j.1472-765x.2008.02407.x

Yadeghari, S., Malecky, M., Dehghan Banadaky, M., & Navidshad, B. (2015). Evaluating *in vitro* dose-response effects of *Lavandula officinalis* essential oil on rumen fermentation characteristics, methane production and ruminal acidosis. *Veterinary research forum: an international quarterly journal*, 6(4), 285–293.

Zhou, R., Wu, J., Lang, X., Liu, L., Casper, D. P., Wang, C., Zhang, L., & Wei, S. (2020). Effects of oregano essential oil on in vitro ruminal fermentation, methane production, and ruminal microbial community. *Journal of Dairy Science*, 103(3), 2303–2314. https://doi.org/10.3168/jds.2019-16611

Zwietering, M. H., Jongenburger, I., Rombouts, F. M., & van ’t Riet, K. (1990). Modeling of the Bacterial Growth Curve. *Applied and Environmental Microbiology*, 56(6), 1875–1881. https://doi.org/10.1128/aem.56.6.1875-1881.1990

EFECTO DEL RESIDUO DE ORÉGANO MEXICANO SOBRE LA CINÉTICA DE PRODUCCIÓN DE GAS *in vitro* EN FORRAJE DE PRADERA

María Fernanda García-Domínguez[1], Rafael Jiménez-Ocampo[2], Diana Sofía Torres-Velázquez[3], Saúl Santana-Espinoza[4], Karina Aide Araiza-Ponce[3] y Pablo Alfredo Domínguez-Martínez[2]*

[1]Universidad Juárez del Estado de Durango - Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, 34120, Durango, Dgo. México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) - Campo Experimental Valle del Guadiana, 34170, Durango, Dgo. México. [3]Universidad Juárez del Estado de Durango - Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, 34162, Durango, Dgo. México.[4]INIFAP - Campo Experimental La Laguna, 27440, Matamoros, Coah. México. *Autor de correspondencia: dominguez.pablo@inifap.gob.mx

Introducción

Las praderas inducidas con especies de clima templado son una alternativa importante para reducir costos de alimentación en sistemas de producción del centro y norte de México (López-González et al., 2020). En estos sistemas, la eficiencia de la fermentación ruminal del forraje incide sobre la productividad animal, por lo que la evaluación de aditivos capaces de modular dicha fermentación, sin recurrir a antibióticos, resulta de interés para la nutrición de rumiantes en pastoreo.

El orégano mexicano (*Lippia graveolens* Kunth) es una especie aromática que se comercializa como especia y cuyas hojas tienen compuestos fenólicos con actividad biológica, principalmente carvacrol y timol (Bautista-Henández et al., 2021). Durante la limpieza de las hojas se genera un residuo (finos) y fragmentos de hoja que no alcanzan el tamaño requerido para su venta como especia entera. A diferencia de otros subproductos, este residuo del orégano no se somete a un proceso de extracción, por lo que está constituido por fragmentos de hoja que contienen compuestos bioactivos (3.1 mg timol g^{-1} MS y 1.6 mg carvacrol g^{-1} MS), extracto libre de nitrógeno (62 a 64 %) y fibra cruda (11 a 14 %) propios de la hoja (Rivero-Cruz et al., 2011; Soto et al., 2024; Castro-López et al., 2025). No obstante, este insumo carece de un aprovechamiento definido en la alimentación animal, lo que lo posiciona como candidato para su valorización.

El efecto del orégano sobre la fermentación ruminal se ha documentado a través de su aceite esencial aplicado sobre sustratos ricos en carbohidratos rápidamente fermentables; sin embargo, se conoce poco sobre este residuo cuando se incorpora al forraje de pradera, cuya matriz fibrosa y menor digestibilidad inicial podrían modificar la respuesta. Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la inclusión de 0, 3, 6 y 10 % de residuo de orégano en forraje de pradera sobre la cinética y producción de gas acumulada durante 96 h de fermentación *in vitro*.

Materiales y métodos

Este trabajo se desarrolló en el Campo Experimental Valle del Guadiana del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en Durango. Como inóculo se mezcló líquido ruminal de dos bovinos machos con cánula ruminal, mantenidos en pastoreo continuo sobre una pradera perenne de clima templado con acceso a agua *ad libitum*. La pradera estuvo dominada por *Trifolium repens* L. (33.7%), *Bromus carinatus* Hook. y Arn. (14.7%) y *Lolium arundinaceum* L. (13.0%), entre otras nueve especies de menor frecuencia relativa. La colecta del líquido ruminal correspondía a la misma sesión empleada en otros ensayos paralelos, por lo que los experimentos parten del mismo inóculo. Como sustrato base se usó forraje de la pradera antes descrita, cosechado en verde, secado en estufa de aire forzado a 55 °C hasta peso constante y molido en un molino Wiley con criba de 2mm. Sobre este forraje molido se incorporó residuo de orégano (subproducto del cribado de hojas provisto por la empresa Chiles Secos La Bufa) en niveles de 0, 3, 6 y 10 %, con tres replicas por nivel (n = 12).

La incubación se llevó a cabo a 39 °C en baño maría, bajo atmosfera de CO_2, durante 96 h y lecturas de presión a 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 y 96 h. Las lecturas de presión (PSI) se transformaron a volumen de gas (mL) con la curva de calibración mL = (7.8016*PSI)+0.40 (R2 = 0.99; n = 59). Cada valor se corrigió restando el promedio de dos frascos testigo incubados al mismo tiempo y se reporta en mL g^{-1} MS. La verificación del coeficiente de variación (CV) entre réplicas por dosis y hora identificó una única combinación por encima del umbral de 20 % (dosis 3 %, hora 24 h, CV = 24.6 %), dentro de un conjunto de datos que, en el resto de las combinaciones, se mantuvo dentro del rango de control esperado.

Para cada una de las curvas individuales se ajustaron tres modelos no lineales, parametrizados de forma equivalente en función de la asíntota (*a*), tasa fraccional (*c*) y fase de latencia (Lag), a fin de que sus estimaciones fueran comparables:

- Ørskov y McDonald (1979): Y = a(1 − e^[−c(t−Lag)]) para t > Lag; Y = 0 para t ≤ Lag.
- Gompertz modificado (Zwietering et al., 1990): Y = a·exp{−exp[(c·e/a)(Lag−t)+1]}.
- France et al. (1993), modificada: Y = a{1 − exp[−c(t−Lag) − d√(t−Lag)]} para t > Lag, sustituyendo el término original √t − √Lag por √(t−Lag) para evitar inestabilidad numérica cuando Lag → 0.

Los tres modelos se ajustaron mediante el algoritmo de Levenberg-Marquardt (función nlsLM, paquete minpack.lm). La elección del modelo final se determinó a nivel global (un solo modelo para las 12 curvas) con base en el menor valor del criterio de información de Akaike (AIC) promedio, de tal manera que los parámetros estimados fueran comparables entre los niveles de inclusión. A partir del modelo seleccionado se calculó *a* (mL g^{-1} MS), *c* (h^{-1}), Lag (h) para cada réplica y el gas acumulado a 24 y 96 h.

Las dosis evaluadas de residuo de orégano (0, 3, 6 y 10 %) no son equidistantes, por lo que, su efecto sobre cada variable se modeló como variable continua mediante regresión lineal y cuadrática, comparando ambos modelos con una prueba de F de modelos anidados para determinar la significancia de la curvatura. La normalidad de los residuales del modelo cuadrático se evaluó con la prueba de Shapiro-Wilk. Además, se hizo un análisis de varianza con la dosis como factor, comprobación de homogeneidad de varianzas y prueba de Tukey ($P < 0.05$) para la comparación de medias. Todos los procedimientos se ejecutaron en R versión 4.6.1, con los paquetes dplyr, tidyr, purr, broom, minpack.lm y car.

Resultados y discusión

Los tres modelos no lineales convergieron en las 12 curvas individuales de producción de gas. El modelo de Ørskov y McDonald (1979) presentó el menor AIC promedio (61.4) en comparación con France et al. (1993) (62.8) y Gompertz modificado (Zwietering et al., 1990) (71.2). Con base en lo anterior, se optó por el modelo de Ørskov y McDonald para estimar los parámetros *a*, *c* y Lag de cada nivel de inclusión de orégano, así como la producción de gas acumulada a 24 y 96 h. Las curvas promedio de producción de gas de los distintos tratamientos se presentan en la Figura 1.

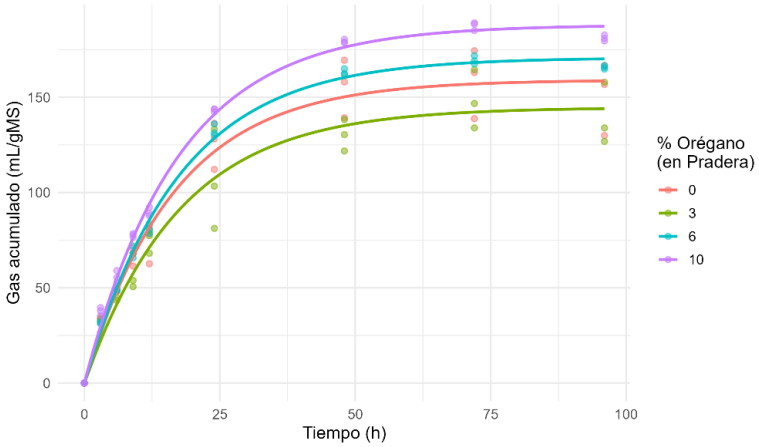


Figura 1. Cinética de producción de gas en forraje de pradera con la inclusión de distintas dosis de residuo de orégano.

A diferencia de lo que se observa con la inclusión de orégano en el concentrado, en el forraje de pradera la asíntota (*a*) aumentó hasta 29.9 mL g^{-1} MS con la inclusión de 10 % de residuo orégano, con un patrón similar para el gas acumulado a 96 h (Cuadro 1). Este efecto fue lineal creciente y significativo tanto para *a* (P = 0.008) como para el gas a 96 h (P = 0.010) (Figura 2), sin curvatura significativa en ninguna de las dos variables.

Cuadro 1. Parámetros cinéticos y gas acumulado a 24 y 96 horas, por dosis de residuo de orégano en forraje de pradera.

Dosis (%)	a (mL g^{-1} MS)	c (h^{-1})	Lag (h)	Gas 24 h (mL g^{-1} MS)	Gas 96 h (mL g^{-1} MS)
0	159.03	0.060	0.00	125.30	151.33
3	144.67	0.057	0.06	105.73	139.67
6	170.67	0.058	0.05	132.33	166.00
10	188.00	0.058	0.00	143.33	181.33

El análisis de varianza confirma diferencias entre dosis para *a* (P = 0.005) y gas a 96 h (P = 0.018), mientras que para gas a 24 h el efecto fue marginal (0.068). La prueba de Tukey indica que el 10 % de inclusión superó al testigo en *a* (P = 0.036) y a la dosis 3 % tanto en *a* (P = 0.004) como en gas a 96 h (P = 0.016). En contraste, ninguna comparación entre el tratamiento de 3 % y el testigo alcanzó significancia (P = 0.037).

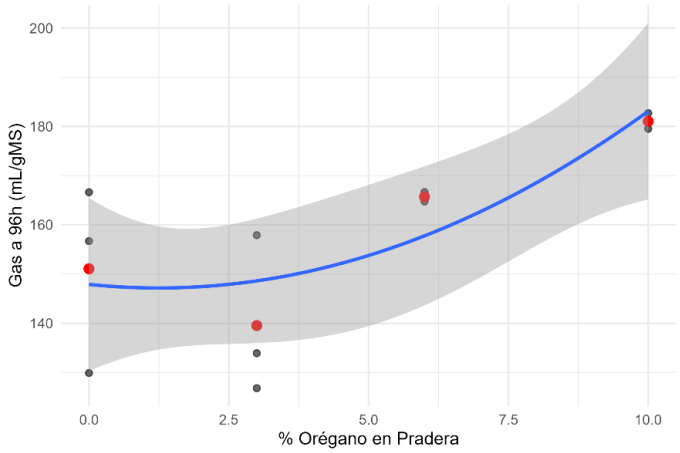


Figura 2. Efecto de la dosis de inclusión de residuo de orégano en la producción acumulada de gas a 96 h en forraje de pradera.

El incremento de la producción de gas con la inclusión de niveles crecientes de orégano en un forraje contrasta con la respuesta descendente que se documenta para aceite esencial sobre sustratos con mayor proporción de carbohidratos rápidamente fermentables (Cobellis et al 2015; Benchaar y Hassanat, 2025). Una posible explicación es que, en una matriz fibrosa con menor velocidad de fermentación, el orégano aporta una fracción de carbohidratos solubles que actúa como sustrato adicional para los microorganismos ruminales; mientras que, en el concentrado (ya rico en carbohidratos de rápida fermentación) predomina el efecto antimicrobiano del timol y carvacrol sobre la membrana bacteriana (Xu et al., 2008). Este patrón es consistente con lo reportado para aceite esencial de orégano en dietas con alto contenido de forraje, donde las dosis crecientes aumentaron la digestibilidad in vitro de la MS, FDA y FDN (Zhou et al., 2020). Además, existe evidencia de que la composición de carbohidratos de los forrajes (proporción de carbohidratos no fibrosos frente a FDN) se relaciona con la magnitud de los parámetros cinéticos de producción de gas, incluida la asíntota (Baffa et al., 2023).

La tasa de fermentación (*c*) no cambió con la dosis de orégano en el modelo lineal (P = 0.63) o en el cuadrático (P = 0.58). Este resultado coincide con lo observado en el ensayo con concentrado paralelo al presente, donde *c* tampoco se modificó por la inclusión del residuo de orégano.

Es importante señalar que el volumen total de gas que se cuantificó corresponde a la suma de CO_2, CH_4 y trazas de otros gases, sin que se haya determinado su composición específica. Este incremento en la producción total de gas con la dosis de orégano refleja, en primera instancia, un aumento en la extensión de la fermentación del sustrato.

Conclusiones

La cinética de producción de gas del forraje de pradera con residuo de orégano tuvo mejor ajuste al modelo de Ørskov y McDonald (1979) en comparación con los otros dos modelos evaluados. La inclusión del residuo de orégano en el forraje de pradera incrementó de forma lineal la asíntota de producción de gas y el volumen acumulado a 96 h, sin modificar la tasa fraccional de fermentación ni la fase de latencia. No obstante, en la prueba de Tukey la dosis de 10 % difirió del testigo en la asíntota *a*; mientras que, en comparación con la dosis de 3 % se encontraron diferencias en *a* y gas acumulado a 96 h. Debido a que el sistema utilizado cuantifica el volumen total de gas sin diferenciar su composición, este incremento no permite inferir un efecto sobre la producción especifica de metano. La respuesta opuesta que se observó entre el forraje de pradera y el concentrado (en el ensayo paralelo) indica que el efecto del residuo de orégano sobre la fermentación depende de la composición del sustrato base.

Agradecimientos

Se agradece al INIFAP por los recursos otorgados a la tecnología “Residuo de orégano en la alimentación de bovinos: mejora de la degradabilidad y mitigación de las emisiones de metano” (registro: 1544407973-P-E-1-1), y al Grupo Disciplinar en Innovación Ganadera y Recursos Forrajeros (UJED-GDS-037) y su LGAC: Estrategias de alimentación y gestión sostenible de los sistemas de producción animal, por su apoyo.

Referencias

Baffa, D. F., Oliveira, T. S., Fernandes, A. M., Camilo, M. G., Silva, I. N., Meirelles Júnior, J. R., & Aniceto, E. S. (2023). Evaluation of Associative Effects of In Vitro Gas Production and Fermentation Profile Caused by Variation in Ruminant Diet Constituents. *Methane*, 2(3), 344–360. https://doi.org/10.3390/methane2030023

Bautista-Hernández, I., Aguilar, C. N., Martínez-Ávila, G. C. G., Torres-León, C., Ilina, A., Flores-Gallegos, A. C., Kumar Verma, D., & Chávez-González, M. L. (2021). Mexican Oregano (*Lippia graveolens* Kunth) as Source of Bioactive Compounds: A Review. *Molecules*, 26(17), 5156. https://doi.org/10.3390/molecules26175156

Benchaar, C., & Hassanat, F. (2025). Assessing the effects of high-carvacrol oregano oil on rumen microbial fermentation, gas production, and methane production *in vitro*. *Canadian Journal of Animal Science*, 105, 1–6. https://doi.org/10.1139/cjas-2024-0083

Cecilia, C.-L., Polet, S.-G., Guillermo, C. G. M.-Á., Romeo, R., & Julio, C. T.-A. (2025). Comparative study of proximate composition, antioxidant and FT-IR profiles of Flourensia cernua DC., Jatropha dioica Sessé and Lippia graveolens Kunth from Mexican semi-arid regions. Plant Science Today. https://doi.org/10.14719/pst.9665

Cobellis, G., Petrozzi, A., Forte, C., Acuti, G., Orrù, M., Marcotullio, M., Aquino, A., Nicolini, A., Mazza, V., & Trabalza-Marinucci, M. (2015). Evaluation of the Effects of Mitigation on Methane and Ammonia Production by Using *Origanum vulgare* L. and *Rosmarinus officinalis* L. Essential Oils on in Vitro Rumen Fermentation Systems. *Sustainability*, 7(9), 12856–12869. https://doi.org/10.3390/su70912856

France, J., Dhanoa, M. S., Theodorou, M. K., Lister, S. J., Davies, D. R., & Isac, D. (1993). A Model to Interpret Gas Accumulation Profiles Associated with In Vitro Degradation of Ruminant Feeds. *Journal of Theoretical Biology*, 163(1), 99–111. https://doi.org/10.1006/jtbi.1993.1109

López-González, F., Cantú-Patiño, M. G., Gama-Garduño, Ó., Prospero-Bernal, F., Colín-Navarro, V., & Arriaga-Jordan, C. M. (2020). Praderas de festuca alta y ryegrass en pastoreo de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala en los valles altos del centro de MÉXICO. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(2). https://doi.org/10.56369/tsaes.3126

Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2), 499–503. https://doi.org/10.1017/s0021859600063048

Rivero-Cruz, I., Duarte, G., Navarrete, A., Bye, R., Linares, E., & Mata, R. (2011). Chemical Composition and Antimicrobial and Spasmolytic Properties of *Poliomintha longiflora* and *Lippia graveolens* Essential Oils. *Journal of Food Science*, 76(2). https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.02022.x

Soto, K. M., Hernández-Iturriaga, M., Cárdenas, A., & Mendoza, S. (2024). Biosynthesis of Silver Nanoparticles Mediated by *Lippia graveolens* Aqueous Extract. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 68(3), 402–411. https://doi.org/10.29356/jmcs.v68i3.2070

Theodorou, M. K., Williams, B. A., Dhanoa, M. S., McAllan, A. B., & France, J. (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 48(3–4), 185–197. https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6

Xu, J., Zhou, F., Ji, B.-P., Pei, R.-S., & Xu, N. (2008). The antibacterial mechanism of carvacrol and thymol against *Escherichia coli*. *Letters in Applied Microbiology*, 47(3), 174–179. https://doi.org/10.1111/j.1472-765x.2008.02407.x

Zhou, R., Wu, J., Lang, X., Liu, L., Casper, D. P., Wang, C., Zhang, L., & Wei, S. (2020). Effects of oregano essential oil on in vitro ruminal fermentation, methane production, and ruminal microbial community. *Journal of Dairy Science*, 103(3), 2303–2314. https://doi.org/10.3168/jds.2019-16611

Zwietering, M. H., Jongenburger, I., Rombouts, F. M., & van 't Riet, K. (1990). Modeling of the Bacterial Growth Curve. *Applied and Environmental Microbiology*, 56(6), 1875–1881. https://doi.org/10.1128/aem.56.6.1875-1881.1990

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CORDEROS DE ENGORDA SUPLEMENTADOS CON EL ADITIVO FITOGÉNICO NatEphen®

Alexander García-Felipe[1]*, Kevin A. Magaña-Quintero[1], José F. Orzuna-Orzuna[1], Mario A. Hernandez-Velasquez[1], Miguel Á. Mata-Espinosa[1], Ángel de J. Pérez-López[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo; km 40 Carretera Gómez Palacio, Dgo-Cd. Juárez, Chihuahua.; CP 35230. Bermejillo, Mapimí, Durango, México. *Autor de correspondencia: al21101952@chapingo.mx

Introducción

Las altas temperaturas ambientales tienen efectos que perjudican la productividad de los animales, particularmente en las regiones áridas y tropicales (Belhadj et al., 2016). Algunos metabolitos bioactivos producidos por las plantas pueden disminuir los efectos negativos del estrés por calor, debido a que tienen efecto antioxidante, el cual también podría mejorar la salud y el rendimiento productivo del ganado (Gessner et al., 2016). En consecuencia, en años recientes ha incrementado el uso de antioxidantes naturales como aditivos dietéticos para rumiantes y no rumiantes (Bešlo et al., 2023). En comparación con los antioxidantes sintéticos, los metabolitos derivados de plantas tienen menores efectos nocivos para el medio ambiente y son más económicos (Gessner et al., 2016).

Entre los principales aditivos dietéticos con actividad antioxidante se encuentran los aditivos fitogénicos, también llamados fitobióticos o fitoquímicos. De acuerdo con Wang et al. (2024), los fitogénicos se definen como compuestos naturales derivados de plantas, extractos vegetales o compuestos bioactivos capaces de mejorar las características del alimento. Son ricos en metabolitos secundarios como flavonoides, alcaloides, taninos, saponinas y terpenoides (Ntsongota et al., 2025). Además de su efecto antioxidante, los aditivos fitogénicos tienen propiedades antimicrobianas, las cuales podrían modificar las poblaciones microbianas del rumen para favorecer la degradación del alimento y la producción de ácidos grasos volátiles (Orzuna et al., 2023).

Algunos estudios recientes (Lucio et al., 2024; Orzuna et al., 2023) muestran que la suplementación dietética con aditivos fitogénicos puede modular favorablemente la fermentación ruminal, la digestibilidad de nutrientes y la eficiencia alimenticia en ovinos y bovinos. Asimismo, la inclusión de aditivos fitogénicos en dietas para ganado se ha asociado con mejoras en el rendimiento productivo, la respuesta antioxidante e inmunitaria y, en determinadas condiciones, las características de la canal y la calidad de la carne (Gessner et al., 2016). En conjunto, estos efectos respaldan el potencial de los aditivos fitogénicos como alternativas naturales para promover sistemas de producción de rumiantes más eficientes y sostenibles. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de la suplementación dietética con el aditivo fitogénico NatEphen® sobre el comportamiento productivo de corderos de engorda.

Materiales y métodos

El estudio fue realizado en la posta zootécnica de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas en Bermejillo, Durango, México. Este lugar se ubica entre los 101° 41’ y 104° 61’ longitud oeste y 24° 22’ y 26° 23’ latitud norte, a una altitud media de 1, 100 msnm, caracterizada por un clima desértico (Medina et al*.,* 2005). Se utilizaron 24 corderos de la raza Dorper, 5 machos y 3 hembras para cada tratamiento con 21.6±0.17 kg de peso vivo inicial y aproximadamente 3.5 meses de edad. Los corderos fueron colocados en corrales individuales de 3 m^2, los cuales tenían comedero, bebedero y estaban techados completamente.

Los corderos se distribuyeron aleatoriamente dentro de tres tratamientos, los cuales consistieron en dieta basal sin aditivo fitogénico (T1), dieta basal adicionada con 1.5 g kg^{-1} de MS de aditivo fitogénico (T2) y dieta basal adicionada con 3.0 g kg^{-1} de MS de aditivo fitogénico (T3). Los animales se adaptaron durante una semana a la dieta basal y posteriormente se alimentaron con las dietas experimentales por 35 días. Durante la fase de adaptación los corderos fueron desparasitados con ivermectina y se les administró una inyección subcutánea de vitamina E + selenio.

El aditivo fitogénico utilizado fue NatEphen® (Camilin Fine Sciences). NatEphen® es una premezcla en polvo compuesta por compuestos naturales, la cual está estandarizada para contener 8.5% de polifenoles totales, principalmente flavonas, ácidos hidroxicinámicos, antocianinas, ácidos hidroxibenzóicos y ácido cafeico (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales polifenoles del aditivo NatEphen®

	Principales tipos de polifenoles
Cítricos	Flavonas
	Hesperetina
	Narigenina
Uva roja	Ácidos hidroxicinámicos
	Ácido cafeoil tartárico
	Reservatrol
Grosella negra	Antocianinas
	Cianidina
	Delfinidina
Castaña	Ácidos hidroxibenzóicos
	Ácido galico
	Ácido elágico
Aronia	Ácido cafeico
	Cianidina

Los corderos recibieron una dieta de engorda compuesta por 30.4 % de paja de triticale, 8.1 % de harina de soya, 43.4 % de maíz molido, 7.1 % de salvado de trigo, 7.4 % de gluten de maíz, 2.3 % de grasa protegida (bypass), 0.3 % de carbonato de calcio, 0.5 % de sal y 0.5 % de premezcla mineral (toda la composición es en base seca), la cual fue formulada para obtener ganancias diarias de peso de 300 g. Para determinar el consumo de materia seca (CMS) se pesó diariamente el alimento ofrecido y el rechazado con una báscula electrónica. Los corderos se pesaron en ayuno cada 7 d para calcular la ganancia diaria de peso (GDP) como promedio semanal (periodo), realizándose cinco pesajes en todo el periodo experimental, que conformaron los periodos de evaluación parcial. La GDP se estimó considerando las diferencias de peso vivo semanal y el peso vivo inicial al inicio de cada periodo de evaluación. La conversión alimenticia (CA) se estimó dividiendo los valores promedio de CMS diario entre la GDP en cada periodo de evaluación.

Inicialmente, el sexo de los corderos se incluyó como covariable; sin embargo, se eliminó del análisis estadístico porque no tuvo efectos estadísticamente significativos. Los datos fueron analizados con el procedimiento PROC MIXED del software estadístico SAS (SAS, 2017). Las medias de mínimos cuadrados por tratamiento se obtuvieron con el procedimiento LSMEANS. La comparación múltiple de medias se realizó con la prueba de Tukey y se declararon diferencias significativas con $p \leq 0.05$.

Resultados y discusión

El peso vivo inicial de los animales es semejante entre los tratamientos evaluados (21.6±0.17 kg), lo que demuestra la uniformidad entre los elementos de estudio al momento de iniciar el experimento. La suplementación dietética con el aditivo fitogénico no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) en el peso vivo final (PVF), la ganancia diaria de peso (GDP) ni en el consumo de materia seca (CMS) de los corderos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comportamiento productivo de corderos de engorda suplementados con un aditivo fitogénico

Variable	Tratamientos			EEM	Valor p		
	Control	1.5	3.0		Tratamiento (Trat)	Periodo (Per)	Trat x Per
PVI, kg	21.90	21.80	21.59	0.729	-	-	-
PVF, kg	31.87	32.58	31.67	0.378	0.536	<0.0001	0.996
GDP, kg d^{-1}	0.285	0.308	0.288	0.016	0.506	<0.0001	0.588
CMS, kg d^{-1}	1.151	1.165	1.098	0.021	0.283	<0.0001	0.815
CA, kg kg^{-1}	4.96 [a]	4.29 [b]	4.30 [b]	0.230	0.047	<0.0001	0.029

PVI: peso vivo inicial, PVF: peso vivo final; GDP: ganancia diaria de peso; CMS: consumo de materia seca; CA: conversión alimenticia. EEM: error estándar de la media.

El Cuadro 2 muestra que la CA presentó efectos significativos del tratamiento ($p = 0.047$) y de la interacción tratamiento por periodo ($p = 0.029$). En términos generales, la suplementación con el aditivo fitogénico redujo la CA en 13.51 y 13.31 % para los niveles de inclusión de 1.5 y 3.0 g kg^{-1} de aditivo, respectivamente, en comparación con el tratamiento control. La interacción significativa entre tratamiento y periodo indica que la magnitud de la respuesta a la suplementación varió a lo largo del experimento. No obstante, los valores promedio globales evidenciaron una menor CA en los corderos suplementados, independientemente del nivel de inclusión del aditivo. Este efecto podría estar relacionado con la presencia de flavonoides y su capacidad para modular procesos digestivos y fermentativos. En este sentido, Lucio et al. (2024) asociaron la suplementación con flavonoides en pequeños rumiantes con una mayor digestibilidad de la materia seca, materia orgánica, proteína cruda y fracciones fibrosas, lo que podría incrementar la disponibilidad de nutrientes para los procesos fisiológicos y de crecimiento de los corderos.

Además, una mayor eficiencia alimenticia (mostrada con la menor CA) podría estar vinculada con modificaciones favorables de la fermentación ruminal. Orzuna et al. (2023) reportaron que la suplementación con flavonoides incrementó la concentración de propionato, mientras que Onu et al. (2024) señalaron una respuesta similar utilizando aditivos que contienen flavonoides y antocianinas. El aumento en la producción de propionato podría favorecer la disponibilidad de energía para el animal y, consecuentemente, mejorar la eficiencia con la que los nutrientes consumidos son utilizados para el crecimiento. Por lo tanto, los efectos de los flavonoides y las antocianinas sobre la digestibilidad y el patrón de fermentación ruminal constituyen posibles mecanismos que explicarían la mejora en la conversión alimenticia observada en el presente estudio. Sin embargo, estas interpretaciones deben considerarse con cautela debido a que dichas variables no fueron determinadas directamente en el presente estudio.

Concusiones

La suplementación dietética con dosis bajas (1.5 g kg^{-1} de materia seca) y altas (3.0 g kg^{-1} de materia seca) del aditivo fitogénico NatEphen® mejora la eficiencia alimenticia de corderos de engorda al disminuir su conversión alimenticia, sin afectar el peso vivo final, la ganancia diaria de peso y el consumo de materia seca de los corderos. Sin embargo, este efecto no fue uniforme a lo largo del periodo experimental, por lo que se requieren estudios adicionales para determinar el periodo óptimo de suplementación.

Referencias

Belhadj Slimen, I., Najar, T., Ghram, A. & Abdrrabba, M. (2016), Efectos del estrés térmico en el ganado: aspectos moleculares, celulares y metabólicos, una revisión. J Anim Physiol Anim Nutr, 100: 401-412. https://doi.org/10.1111/jpn.12379

Bešlo, D., Golubić, N., Rastija, V., Agić, D., Karnaš, M., Šubarić, D., & Lučić, B. (2023). Antioxidant Activity, Metabolism, and Bioavailability of Polyphenols in the Diet of Animals. Antioxidants, 12. https://doi.org/10.3390/antiox12061141

Gessner, D., Ringseis, R., & Eder, K. (2017). Potencial de los polifenoles vegetales para combatir el estrés oxidativo y los procesos inflamatorios en animales de granja. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 101 , 605–628. https://doi.org/10.1111/jpn.12579

Lucio. F., Godina, J.E., Granados, L.D., Orzuna, J.F., Joaquín, S., Hernández, P.A. (2024) Meta-analysis of dietary supplementation with flavonoids in small ruminants: Growth performance, antioxidant status, nutrient digestibility, ruminal fermentation, and meat quality. Small Ruminant Research, 241. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2024.107401.

Medina G.G., Díaz P.G., López H.J., Ruíz C.J.A. & Marín SM (2005). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango. (Periodo 1961 - 2003). Libro Técnico N_ 1. Campo Experimental Valle del Guadiana. CIRNOCINIFAP 224p.

Ntsongota, Z., Ikusika, O., & Jaja, I. F. (2025). The role of phytogenic feed additives in growth and immune response in livestock production: a global systematic review. *Frontiers in Animal Science*. https://doi.org/10.3389/fanim.2025.1703112

Onu, E., Ugwoke, J., Edeh, H., Onu, M., & Onyimonyi, A. (2024). A review: Flavonoid; A Phyto-nutrient and its impact in livestock animal nutrition. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.1.2701

Orzuna, J.F., Dorantes, G., Lara, A., Alfonso Juventino Chay, A. J., Miranda, L.A., & David Mendoza, G. D. (2023). Meta-analysis of flavonoids use into beef and dairy cattle diet: Performance, antioxidant status, ruminal fermentation, meat quality, and milk composition. *Frontiers in Veterinary Science, 10*. https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1134925

Wang, J., Deng, L., Chen, M., Che, Y., Li, L., Zhu, L., Chen, G., & Feng, T. (2024). Phytogenic feed additives as natural antibiotic alternatives in animal health and production: A review of the literature of the last decade. *Animal Nutrition, 17*, 244 - 264. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.01.012

MODULACIÓN DEL PESO VIVO E ÍNDICE DE MASA CORPORAL EN CABRAS GESTANTES MEDIANTE LA MANIPULACIÓN PROTEICA EN LA DIETA

Juan. M. Vázquez-García[1*], César. A. Meza-Herrera[1], César A. Rosales-Nieto[2], Luisa E.S. Hernández-Arteaga[3], Gregorio. Álvarez-Fuentes[4].

[1] Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, 35230, Bermejillo, Durango, México. [2] Department of Agricultural Sciences. Texas State University, San Marcos, TX 78666, USA. [3] Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí 78321, México. [4] Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí 78321, México. *Autor de correspondencia: manuelvazquez87@yahoo.com.mx

Introducción

La caprinocultura en México, sustentada en un inventario cercano a los 9 millones de cabezas, representa una actividad económica y social de relevancia estratégica, de manera particular en las regiones áridas y semiáridas del país (Panorama Agroalimentario, 2025). Los sistemas de producción caprina en estos ecosistemas enfrentan severas restricciones ambientales, caracterizadas por una baja disponibilidad de biomasa y una marcada variabilidad estacional en la calidad de los recursos forrajeros; bajo estas circunstancias, la eficiencia biológica del hato depende estrechamente del manejo nutricional implementado (García-Monjaras et al., 2021; Meza-Herrera et al., 2024). Las limitantes nutricionales crónicas en zonas áridas comprometen directamente el desempeño productivo y reproductivo de los animales (Mellado et al., 2020), un escenario que se agudiza durante la gestación. En esta etapa, las demandas fisiológicas maternas de proteína y energía se elevan exponencialmente debido al acelerado crecimiento fetal y a las modificaciones en el flujo metabólico de la placenta (Bell y Greenwood, 2016; Caton et al., 2019). Cuando las cabras gestantes se someten a condiciones de subalimentación, la incapacidad de cubrir estos requerimientos críticos induce una movilización compensatoria de reservas corporales, alterando la homeostasis metabólica. Estos ajustes endocrinos y metabólicos se manifiestan directamente en variables morfométricas y productivas como el peso vivo (PV) y el índice de masa corporal (IMC), parámetros validados para monitorear el balance energético y la dinámica nutricional en pequeños rumiantes (Rosales-Nieto et al., 2021).

Ante este desafío, la manipulación estratégica del nivel proteico en la dieta ha surgido como una alternativa para optimizar la eficiencia en el uso de nitrógeno ruminal, especialmente en sistemas de bajos insumos caracterizados por la necesidad de maximizar la suplementación (Luo et al., 2004). No obstante, la literatura demuestra que la respuesta fisiológica a la suplementación proteica es variable y está sujeta a la etapa específica de la gestación, la severidad de la restricción y el sistema general de manejo (Caton et al., 2019; He et al., 2013). Debido a que las modificaciones en el plano dietario materno redistribuyen el flujo de nutrientes hacia el feto, impactando directamente la condición física de la madre y su resiliencia biológica (Bell y Greenwood, 2016; Symonds et al., 2010), se vuelve fundamental caracterizar de manera cuantitativa estas respuestas bajo escenarios controlados. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes niveles proteicos en la dieta sobre la dinámica del peso vivo y del índice de masa corporal en cabras gestantes criadas bajo las condiciones restrictivas de las zonas áridas.

Materiales y Métodos

Ubicación del estudio y condiciones agroclimáticas. El estudio se llevó a cabo durante el periodo comprendido entre septiembre de 2025 y abril de 2026 en la región de la Comarca Lagunera, ubicada en el norte de México (25°51′ N, 103°16′ O; 1,190 m s. n. m.). Las condiciones ambientales del área de estudio corresponden a un clima semiárido, seco y cálido, con una precipitación media anual de 266 mm, características ambientales representativas de las limitantes en recursos bióticos forrajeros de los ecosistemas áridos.

Animales experimentales y tratamientos nutricionales. Se utilizaron 58 cabras multíparas, multirraciales, secas y contemporáneas, con peso vivo (PV) y potencial genético homogéneo. Los animales fueron distribuidos aleatoriamente en tres grupos experimentales según el plano proteico asignado: 1). Control (CONT; n = 20): PV de 45.24 ± 1.84 kg; dieta basal formulada para cubrir el 100% de sus requerimientos proteicos, 2). Proteína alta (HPRO; n = 20): PV de 44.89 ± 2.03 kg; ración balanceada al 120% de sus requerimientos proteicos, y 3). Proteína restringida (RPRO; n = 18): PV de 44.42 ± 1.98 kg; restricción nutricional equivalente al 70% de sus requerimientos proteicos. Para aislar y evaluar específicamente el efecto del nivel proteico sobre la respuesta fisiológica, todas las dietas formuladas fueron isoenergéticas, variando únicamente en su contenido de proteína cruda.

Mediciones morfométricas maternas y cálculo del IMC. El PV de las cabras se registró semanalmente a primera hora del día para cuantificar la dinámica y variación ponderal a lo largo del periodo experimental. Adicionalmente, se determinaron las medidas morfométricas maternas (MMM) para evaluar el desarrollo corporal, registrando la longitud corporal (LONGCOR; medida desde la grupa hasta el hombro) y la altura corporal (ALTCOR; medida desde el suelo hasta la cruz). El índice de masa corporal (IMC) se calculó mediante la ecuación validada por Tanaka et al. (2002) y adaptada por Rosales-Nieto et al. (2021): IMC= (PV, kg) (ALTCOR, cm) (LONGCOR, cm) × 10 / 100.

Análisis estadístico. La distribución y normalidad de los datos residuales se evaluaron previamente mediante la prueba de Shapiro–Wilk. Las variables de PV e IMC se analizaron como medidas repetidas a lo largo del tiempo utilizando el procedimiento de modelos mixtos (PROC MIXED) del paquete estadístico SAS (v. 9.3; SAS Institute Inc., Cary, NC, EE. UU.), asumiendo a la cabra como la unidad experimental. El modelo matemático incluyó los efectos fijos de tratamiento, tiempo (semana de muestreo) y la interacción tratamiento × tiempo. Las diferencias estadísticas entre las medias se declararon significativas a un nivel de $p \leq 0.05$.

Resultados y Discusión

Las variables fisiológicas peso vivo (PV) e índice de masa corporal (IMC) de las cabras gestantes fueron influenciadas significativamente por el factor tiempo ($P < 0.001$; Cuadro 1). En contraste, ni el nivel proteico de la dieta (TRT) ni la interacción tratamiento × tiempo ejercieron efectos significativos ($P > 0.05$) sobre la expresión fenotípica de ambos indicadores. Este comportamiento demuestra que las variaciones en el PV y el IMC responden principalmente a la dinámica anatómica y al desarrollo alométrico propio de la gestación, mostrando una independencia respecto a las fluctuaciones en el plano proteico asignado. La homogeneidad observada entre los tratamientos (CONT, HPRO y RPRO) al cierre de la gestación pone de manifiesto una notable plasticidad fisiológica y mecanismos de resiliencia homeostática en las hembras. Las cabras mantuvieron perfiles corporales estables y uniformes, incluso al ser sometidas a escenarios de restricción proteica crítica (70% de los requerimientos) o excedentes de nitrógeno (120% de requerimientos).

El PV describió un incremento progresivo y lineal en todos los grupos conforme avanzó el periodo experimental. Este patrón es consistente con la literatura biológica, donde el aumento ponderal de la madre durante el último tercio de la preñez se asocia directamente con el crecimiento exponencial del tejido fetal, el desarrollo de las estructuras placentarias y la acumulación de fluidos uterinos (Bell & Greenwood, 2016; Caton et al., 2019). La ausencia de una interacción significativa tratamiento × tiempo confirma que la trayectoria de ganancia de peso fue idéntica entre grupos, lo que sugiere que el PV posee una sensibilidad limitada ante la manipulación de la proteína dietaria durante la fase final de la gestación, priorizándose el desarrollo del concepto sobre el estatus nutricional periférico materno.

De manera paralela, el IMC mostró un incremento sostenido a lo largo de la curva de gestación en los tres tratamientos. Este comportamiento refleja los procesos de adaptación metabólica y redistribución de reservas tisulares que optimizan las hembras para solventar las altas demandas de nutrientes hacia el útero (Scaramuzzi et al., 2006). En pequeños rumiantes, la movilización y el depósito de reservas energéticas y proteicas estructurales están estrechamente regulados por cascadas endocrinas gestacionales que estabilizan la condición corporal general (McMillen & Robinson, 2005; Tanaka et al., 2002). Debido a que no se detectaron desviaciones estadísticas entre las trayectorias del IMC, los datos sugieren que las variaciones del nivel proteico evaluadas en este estudio no rompieron el umbral homeostático de las cabras, validando la hipótesis de que la especie caprina en zonas áridas activa mecanismos metabólicos eficientes de conservación de nitrógeno y energía para salvaguardar la integridad de la descendencia.

Cuadro 1. Medias (± error estándar) para peso vivo (PV, kg) e índice de masa corporal (IMC, cm) en cabras adultas mulirraciales (n=58; Alpina, Saanen, Nubia x Criollo) con dieta isocalórica y recibiendo diferentes niveles de proteína (CONT, sin proteína; HPRO, 120% de requerimientos; y LPRO, 70% de requerimientos) en el norte de México (25°LN).

Variable	TRT				TIME						TRT×TIME
	CONT	LPRO	HPRO	E.E.	1	2	3	4	5	E.E.	(p-value)
PV	46.7	45.8	46.9	1.3	43.4	46.5	46.9	46.7	47.6	1.5	0.630
IMC	9.5	9.3	9.7.	0.2	8.3	9.3	9.2	9.6.	9.6	0.3	0.753

E.E. Error estándar más conservador. NS = $p > 0.05$

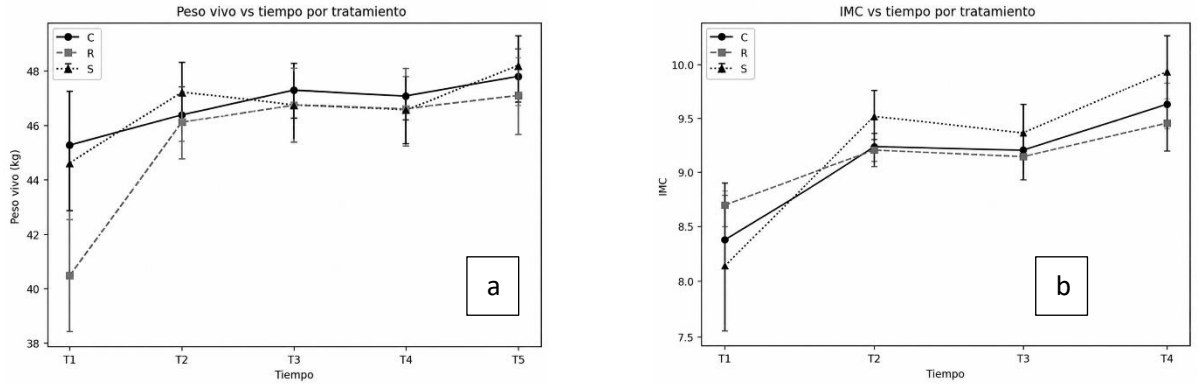


Figura 1. Medias de mínimos cuadrados ± error estándar para a). peso vivo (PV, kg) y b). Índice de Masa Corporal (IMC, puntos) en cabras adultas multirraciales (n=58; Alpina, Saanen, Nubia x Criollo) con dieta isocalórica y recibiendo diferentes niveles de proteína (CONT, sin proteína; HPRO, 120% de requerimientos y LPRO, 70% de requerimientos) en el norte de México (25°LN).

Mecanismos homeostáticos y resiliencia en ecosistemas áridos. La homogeneidad observada en el PV y el IMC entre los diferentes tratamientos proteicos coincide con lo reportado por Mellado et al. (2020), Meza-Herrera et al. (2024) y Navarrete-Molina et al. (2024). Estos autores señalan que, ante escenarios de variabilidad nutricional propios de los sistemas extensivos y semiáridos, el ganado caprino posee una alta capacidad de adaptación metabólica que le permite estabilizar su condición corporal mediante la activación de vías compensatorias eficientes. En pequeños rumiantes, la respuesta fenotípica a la manipulación dietaria durante la preñez está estrictamente supeditada a la magnitud, cronicidad y ventana temporal de la restricción, así como al estatus inicial de las reservas corporales del animal (He et al., 2013; Wu et al., 2006). Desde una perspectiva funcional, la estabilidad ponderal y morfométrica entre los grupos CONT, HPRO y RPRO sugiere que la cabra gestante prioriza el mantenimiento de funciones fisiológicas esenciales y el desarrollo fetal. Este fenómeno se engloba dentro de los procesos de programación metabólica y partición de nutrientes, los cuales actúan como un amortiguador biológico frente a las fluctuaciones cuali-cuantitativas de la dieta (Caton et al., 2020; Symonds et al., 2010).

***Pilares de la plasticidad fisiológica del caprino*.** Los resultados refuerzan el papel del caprino como un recurso biótico altamente resiliente en zonas áridas, al mitigar restricciones de nitrógeno en la dieta sin comprometer su integridad física. De acuerdo con Meza-Herrera y Tena-Sampere (2012), ello no debe interpretarse como una falta de sensibilidad biológica al tratamiento, sino como la manifestación de una sofisticada regulación integrada por seis pilares fundamentales: 1)

Plasticidad del consumo y comportamiento en pastoreo: Modificaciones conductuales que optimizan la selección de dietas con mayor valor nutricional, 2) Capacidad digestiva y dinamismo ruminal: Adaptaciones microbianas y tasas de pasaje que maximizan la digestibilidad de la fibra y el reciclaje de urea, 3) Regulación metabólica y partición de la energía: Redireccionamiento de nutrientes hacia tejidos prioritarios con un estricto control homeorretico, 4) Homeostasis endocrina: Sincronización de ejes hormonales, somatotrófico y gonadotrófico, que coordinan la movilización de reservas corporales, 5) Eficiencia en el uso del agua y termorregulación: Mecanismos fisiológicos que minimizan las pérdidas por evaporación y excreción bajo estrés por calor, y 6) Estrategias de almacenamiento y movilización de reservas: Dinámica tisular eficiente que subsidia los déficits nutricionales de la ración.

Implicaciones en la sustentabilidad de sistemas de bajos insumos. En términos de sustentabilidad y economía pecuaria, estos resultados poseen una implicación crítica para los sistemas de producción de bajos recursos en regiones áridas (García-Monjaras et al., 2021). Demostrar que una reducción moderada al 70% de los requerimientos proteicos (RPRO) no demerita el PV ni el IMC de las madres al cierre de la gestación, sugiere que es viable optimizar el uso de insumos nitrogenados costosos sin alterar los indicadores de condición corporal. No obstante, la respuesta a la nutrición materna es un proceso multifactorial dependiente del sistema de producción, el estado fisiológico inicial y la interacción agroclimatológica. Por ello, futuras investigaciones en la Comarca Lagunera deberán explorar umbrales más severos de restricción, así como el impacto transgeneracional de esta manipulación proteica sobre el desempeño productivo, reproductivo y la salud metabólica de la descendencia.

Conclusiones

La dinámica del peso vivo y del índice de masa corporal en cabras gestantes está determinada por el avance cronológico de la preñez y no por la manipulación del nivel proteico de la ración. La estabilidad de ambos indicadores ante restricciones del 70% o excedentes del 120% de los requerimientos demuestra la alta plasticidad fisiológica y resiliencia homeostática de esta especie, consolidando su papel como recurso biótico estratégico en ecosistemas con severas limitaciones ambientales. Los resultados tienen un impacto directo y práctico en la economía de la caprinocultura familiar en las regiones áridas y semiáridas, al demostrarse que una reducción moderada de proteína cruda en el tercio final de la gestación no compromete la condición física de la madre, los productores cuentan con un respaldo científico para disminuir el uso de insumos nitrogenados de alto costo. Esta estrategia optimiza los recursos alimenticios disponibles, reduce los costos de producción y protege el flujo financiero de las familias rurales, demostrando que la eficiencia biológica puede alinearse con la sustentabilidad y el bienestar social en zonas áridas.

Referencias

Bell, A. W., & Greenwood, P. L. (2016). Prenatal origins of postnatal variation in growth, development and productivity of ruminants. Animal Production Science, 56(8), 1217-1232.

Caton, J. S., Crouse, M. S., McLean, K. J., Dahlen, C. R., Ward, A. K., Cushman, R. A., ... & Reynolds, L. P. (2020). Maternal periconceptual nutrition, early pregnancy, and developmental outcomes in beef cattle. Journal of Animal Science, 98(12).

Devendra, C. (2013). Investments on pro-poor development projects on goats: ensuring success for improved livelihoods. Asian-Australasian journal of animal sciences, 26(1), 1.

García-Monjaras, S., Santos-Díaz, R. E., Flores-Najera, M. J., Cuevas-Reyes, V., Meza-Herrera, C. A., Mellado, M., ... & Rosales-Nieto, C. A. (2021). Diet selected by goats on xerophytic shrubland with different milk yield potential. Journal of Arid Environments, 186, 104429.

Luo, J., Goetsch, A. L., Nsahlai, I. V., Moore, J. E., Galyean, M. L., Johnson, Z. B., ... & Owens, F. N. (2004). Voluntary feed intake by lactating, Angora, growing and mature goats. Small Ruminant Research, 53(3), 357-378.

Mellado, M., Rodríguez, I. J., Alvarado-Espino, A., Véliz, F. G., Mellado, J., & García, J. E. (2020). Reproductive response to concentrate supplementation of mixed-breed goats on rangeland. Tropical animal health and production, 52(5), 2737-2741.

Meza-Herrera, C.A., & Tena-Sempere, M. (2012). Interface between nutrition and reproduction: the very basis of production. (Chapter 3). In: Animal Reproduction in Livestock. [eds. S. Astiz, A. Gonzalez-Bulnes], in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), UNESCO, EOLSS-UNESCO Publishers, Oxford, UK,

Meza-Herrera, C.A., Navarrete-Molina, C., Macias-Cruz, U., Arellano-Rodriguez, G., De Santiago-Miramontes, A., Sariñana-Navarrete, M.A., Marin-Tinoco, R.I., Perez C. 2024. Dairy goat production systems: A comprehensive analysis to reframe their global diversity. Animals. 14(24), 3717.

Navarrete-Molina, C., Meza-Herrera, C. A., De Santiago-Miramontes, A., Valenzuela-Núñez, L. M., Marin-Tinoco, R. I., Soto-Cardenas, M. A., & Sariñana-Navarrete, M. A. (2024). Dairy goat production: socioeconomic, environmental, and cultural importance across time (1970–2022) and possible scenarios (2050). Resources, 13(12), 177.

Panorama Agroalimentario. 2025. https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_dgsiap/

Rosales-Nieto, C. A., Ehrhardt, R. A., Mantey, A., Makela, B., Byrem, T., & Veiga-Lopez, A. (2021). Preconceptional diet manipulation and fetus number can influence placental endocrine function in sheep. Domestic Animal Endocrinology, 74, 106577.

Symonds, M. E., Sebert, S. P., & Budge, H. (2010). Nutritional regulation of fetal growth and implications for productive life in ruminants. Animal, 4(7), 1075-1083,

Tanaka, T., Akaboshi, N., Inoue, Y., Kamomae, H., & Kaneda, Y. (2002). Fasting-induced suppression of pulsatile luteinizing hormone secretion is related to body energy status in ovariectomized goats. Animal Reproduction Science, 72(3–4), 185–196.

MODULACIÓN DE LA COMPOSICIÓN LÁCTEA MEDIANTE SUPLEMENTACIÓN MINERAL Y PROBIÓTICA EN CABRAS SAANEN EN LACTANCIA TARDÍA

Francisco. Reyna-Vargas [1], Juan. M. Vázquez-García [2*], César. A. Meza-Herrera [2], César A. Rosales-Nieto [3], Luisa E.S. Hernández-Arteaga [1], Juan. A. Rendón-Huerta [4], Gregorio Álvarez-Fuentes [5]

[1] Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí 78321, México. [2] Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, 35230, México. [3] Department of Agricultural Sciences. Texas State University, San Marcos, TX 78666, USA. [4]Coordinación Académica Región Altiplano Oeste. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí 78321, México. [5] Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí 78321, México. *Autor de correspondencia: manuelvazquez87@yahoo.com.mx

Introducción

En las regiones áridas y semiáridas de México, la ganadería caprina representa uno de los recursos bióticos más estratégicos para la economía y la seguridad alimentaria, destacando la leche por su alto potencial de transformación agroindustrial en entornos de baja disponibilidad hídrica (Navarrete-Molina et al., 2022; Meza-Herrera et al., 2024; Navarrete-Molina et al., 2024). En estos ecosistemas, la producción ocurre en sistemas estabulados y de pastoreo, donde el manejo, la nutrición y el estrés por calor afectan directamente la productividad y el perfil lácteo (Escareño-Sánchez et al., 2011). La calidad de la leche depende de las concentraciones de grasa, proteína, lactosa y sólidos totales, componentes influenciados por la raza, el estado fisiológico, la alimentación y la etapa de lactancia (Isidro-Requejo et al., 2019; Flores-Najera et al., 2021; Castillo-Zuñiga et al., 2022).

Frente a las limitantes nutricionales de las zonas áridas, la suplementación mineral y probiótica es una estrategia clave para optimizar la fisiología digestiva. Los minerales sustentan vías metabólicas de mantenimiento y producción, mientras que los probióticos estabilizan el ambiente ruminal ante dietas fibrosas (Castillo-Gutierrez et al., 2022; Akshit et al., 2024). Sin embargo, los efectos de los probióticos muestran discrepancias, mientras se han reportado cambios en grasa, proteína y lactosa, otros no observan variaciones (Kafilzadeh et al., 2018; Ma et al., 2019). Esta variabilidad depende del tipo de complemento, la dieta basal y el estado fisiológico.

Al respecto, *Saccharomyces cerevisiae* puede favorecer la producción de ciertos componentes, pero la respuesta final se sujeta al tipo de producto y a las condiciones experimentales (Ogbuewu & Mbajiorgu, 2022). Este desafío analítico se agudiza en la lactancia tardía debido a fluctuaciones naturales en grasa, proteína y sólidos totales (Akshit et al., 2024), lo que dificulta diferenciar los efectos de la curva de lactancia de los derivados de la intervención nutricional. Por ello, es fundamental determinar si la complementación modifica la composición de la leche en esta fase. Así, el objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta de la composición química de la leche a la complementación mineral y probiótica en cabras Saanen estabuladas en condiciones de zonas áridas durante la lactancia tardía.

Materiales y métodos

Todos los procedimientos experimentales se realizaron en estricto apego a la guía del Consejo Nacional de Investigación para el Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio y cumplieron con las directrices ARRIVE para la investigación con animales (Kilkenny et al., 2010). El estudio se llevó a cabo en la Unidad Caprina de la Facultad de Agronomía, UASLP (100° O y 22° N), región caracterizada por sus condiciones de altiplano y ecosistema de zona árida.

Se utilizaron 21 cabras multíparas de la raza Saanen, las cuales fueron distribuidas homogéneamente en tres grupos experimentales (n=7 por grupo) bajo un diseño de bloques: 1). Nucleobiokam (NUC): Peso vivo (PV) de 53.4±2.64 kg;150 g de alimento concentrado + 40 g de complejo comercial mineral y probiótico. 2). LaPisa (LAP): PV 59.1±2.17 kg; 150 g de alimento concentrado + 20g de complejo comercial mineral y probiótico, y Control (CTL): 68.9±2.79 kg; 150 g de alimento concentrado sin adición de complejo mineral ni probiótico.

El alimento concentrado base fue Isoproteico (18% P.C.) en todos los tratamientos para aislar y evaluar específicamente el efecto de la suplementación mineral y probiótica sobre las variables lácteas. Adicionalmente, todos los animales recibieron una dieta basal de alfalfa y avena henificadas, con libre acceso a agua potable. El muestreo de leche se realizó cada 15 días a las 09:00 h en la sala de ordeño de manera simultánea a la oferta del concentrado. Antes del inicio del ordeño, se recolectó una muestra homogénea de 20 mL por animal en tubos tipo Falcon de 50 mL. Las muestras se conservaron en refrigeración a 4°C por 24 h previa a su transportación y análisis físico-químico en el laboratorio de la Coordinación Académica Región Altiplano Oeste (CARAO-UASLP) en el municipio de Salinas, S.L.P., utilizando un analizador ultrasónico MilkoScan™ Minor (Tipo 78100).

Cuadro 1. Composición porcentual, balance de ingredientes y aporte nutricional estimado del concentrado base, suplementado o no con aditivos minerales y probióticos, administrado a cabras multíparas Saanen (n=21) evaluadas durante la etapa de lactancia tardía en el Altiplano Potosino bajo condiciones agroclimáticas de zona áridas (100° O, 22° N).

Componente / Variable	**CTL**	**LAP**	**NUC**	**NRC[1]**
Concentrado base (g/d)	150	150	150	—
Complejo mineral-probiótico (g)	0	20	40	—
Forraje (Alfalfa/Avena)	------- ad libitum -------			
Ingredientes del concentrado (%)				
Maíz (Rolado/Molido)	25.0	25.0	25.0	—
Alfalfa molida	20.0	20.0	20.0	—
Pasta de soya	20.0	20.0	20.0	—
Sorgo y Avena molidos	20.0	20.0	20.0	—
DDGS y Melaza	15.0	15.0	15.0	—
Aporte nutricional del concentrado				
Proteína cruda (%)	18.0	18.0	18.0	18.2
Energía (ME, Mcal/kg MS)	3.85	3.85	3.85	4.01[2]

[1]Requerimientos NRC para la etapa productiva. [2]Mcal estimadas totales.

Los datos de calidad de leche se analizaron mediante un modelo mixto para medidas repetidas en el tiempo a través del procedimiento PROC MIXED del paquete estadístico SAS (v. 9.3; SAS Institute Inc., Cary, NC, EE.UU.), considerando a la cabra como la unidad experimental. El modelo incluyó los efectos fijos de tratamiento, tiempo (periodo de muestreo) y la interacción tratamiento × tiempo. Diferencias entre medias se declararon significativas a $p \leq 0.05$.

Resultados y discusión

La suplementación mineral y probiótica no modificó ($p > 0.05$) las concentraciones de grasa, proteína, lactosa ni sólidos no grasos (SNG) de la leche entre tratamientos, periodos de muestreo o en su interacción tratamiento × tiempo (Cuadro 2). La ausencia de significancia estadística en los componentes lácteos concuerda con lo reportado por Kafilzadeh et al. (2018), quienes tampoco observaron modificaciones asociadas a la suplementación probiótica.

Esto evidencia que la respuesta a estos aditivos en el rumen es altamente dependiente del tipo y dosis de la cepa, la composición de la dieta basal y el estado fisiológico general del rebaño. Por el contrario, estos hallazgos contrastan con Ma et al. (2019), quienes documentaron incrementos en los componentes químicos de la leche en cabras Saanen bajo dietas suplementadas con una mezcla de *Saccharomyces cerevisiae*, *Bacillus subtilis* y *Enterococcus faecalis*, sugiriendo que las mezclas sinérgicas multiespecie podrían inducir un mayor estímulo en la fermentación ruminal que las monocepas.

Cuadro 2. Medias generales (± error estándar) y valores de probabilidad para las variables de calidad e indicadores fisicoquímicos de la leche de cabras multíparas Saanen (n=21) en lactancia tardía, sometidas a diferentes niveles de suplementación mineral y probiótica en el Altiplano Potosino bajo condiciones agroclimáticas de zona árida (100° O, 22° N).

	Tratamientos Experimentales[1]			P-value[2]		
Variable (%)	CTL	LAP	NUC	TRT	Tiempo	TRT×T
Grasa	4.91±0.28	5.02±0.21	5.73±0.26	0.318	0.283	0.801
Proteína	2.96±0.04	3.11±0.05	3.05±0.05	0.247	0.989	0.505
Lactosa	4.46±0.06	4.55±0.06	4.53±0.08	0.389	0.581	0.169
SNG	8.26±0.10	8.38±0.09	8.43±0.14	0.112	0.824	0.137

[1]CTL: Control (concentrado base sin aditivo); LAP: LaPisa (concentrado + 20 g); NUC: Nucleobiokam (concentrado + 40 g). [2]Efectos fijos del modelo mixto: TRT (Tratamiento); Tiempo (Tiempo/Fecha de muestreo); TRT×T (Interacción tratamiento × tiempo). SNG: Sólidos no grasos. Diferencias declaradas significativas a $P \leq 0.05$.

A pesar de la estabilidad analítica entre tratamientos, las concentraciones absolutas de grasa obtenidas en este estudio (4.91 a 5.73%) resultaron superiores al promedio de 3.5% reportado por Vega et al. (2007) para cabras Saanen criadas en el Altiplano Mexicano. Sin embargo, dichos valores se encuentran dentro del amplio rango fisiológico de variación (2.3 a 6.9%) descrito para la especie caprina (Salvador et al., 2006). En el mismo sentido, los perfiles de proteína (2.96 a 3.11%) y lactosa (4.46 a 4.55%) se alinearon con los estándares normales de producción para la raza. Bajo condiciones de estrés ambiental e hídrico propias de las zonas semiáridas del norte de México, Flores-Najera et al. (2021) reportaron valores de 5.8 a 6.0% de grasa, 2.9 a 3.0% de proteína y 4.2 a 4.3% de lactosa. Esta notable proximidad con los resultados del presente estudio se atribuye al efecto homeostático de la lactancia tardía. Durante esta fase avanzada, el volumen total de leche decrece por la involución natural del tejido mamario, provocando un efecto de concentración de los componentes sólidos, principalmente la grasa y la proteína (Akshit et al., 2024; Salvador et al., 2006). Esta falta de respuesta lineal ante la manipulación dietaria confirma que la secreción de componentes lácteos en el ganado caprino maduro es un proceso multifactorial complejo.

Al respecto, Vázquez García (2016) observó variaciones en proteína, lactosa y SNG utilizando jabones de calcio en cabras Alpinas, reportando que la fracción lipídica respondió predominantemente al avance cronológico de la curva de lactancia y no a la grasa de la dieta. Asimismo, Salvador et al. (2011) demostraron que, si bien la suplementación con grasa sobrepasante puede alterar el perfil lipídico, la magnitud de la respuesta final está estrictamente sujeta al balance energético y al estatus metabólico preexistente del animal. En consecuencia, los datos sugieren que el potencial genético y el estado biológico de la cabra Saanen durante la lactancia tardía imponen un límite fisiológico que mitiga los efectos de la suplementación nutricional exógena evaluada. En el mismo sentido, los resultados obtenidos en el presente estudio, lejos de demeritar el valor de la intervención, adquieren una relevancia crítica en el plano productivo, ético y social para la caprinocultura de las zonas áridas y semiáridas.

En estos ecosistemas, donde la vulnerabilidad climática y la escasez de recursos bióticos limitan la rentabilidad, la toma de decisiones financieras en las unidades de producción familiar es un factor de subsistencia. Demostrar científicamente que la adición de complejos minerales y probióticos comerciales no genera un valor agregado en la calidad láctea durante la lactancia tardía dota a los productores de un criterio técnico de ahorro, fundamental en la sustentabilidad de sistemas de producción marginales.

Conclusiones

La suplementación mineral y probiótica evaluada en este estudio no modificó la composición química de la leche en cabras Saanen durante la fase de lactancia tardía, manteniendo la estabilidad del perfil de grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos entre los tratamientos. Desde una perspectiva estrictamente biológica, estos resultados demuestran que el estatus homeostático y el potencial genético de los animales durante el tercio final de la lactancia ejercen una regulación prioritaria que diluye el impacto de los aditivos nutricionales exógenos evaluados. Esta evidencia permite evitar inversiones económicas infructuosas en insumos de alto costo, optimizando los márgenes de ganancia y redirigiendo el capital familiar hacia estrategias de mitigación más eficientes, como el almacenamiento hídrico o la conservación de forrajes basales. La respuesta observada sugiere que los beneficios de esta estrategia dependen del tipo de complemento y del componente a evaluar. En este contexto, la complementación podría contribuir al mantenimiento de la calidad composicional de la leche durante la fase final de la lactancia, aunque su utilidad requiere ser valorada en función del producto empleado.

Referencias

Akshit, F. N. U., Mao, T., Kaushik, R., Poswal, V., & Deshwal, G. K. (2024). Global comprehensive review and meta-analysis of goat milk composition by location, publication year and lactation stage. Journal of Food Composition and Analysis, 127, 105973.

Castillo-Gutierrez, D., Hernández-Arteaga, L.E.S., Flores-Najera, M.J., Cuevas-Reyes, V., Vázquez-García, J.M., Loredo-Osti, C., Beltrán-López, S., Ballesteros-Rodea, G., Gonzalez-Bulnes, A., Meza-Herrera, C.A., Rosales-Nieto, C.A. 2022. Methionine supplementation during pregnancy of goats improves kids' birth weight, body mass index, and postnatal growth pattern. Biology. 11(07):1065. DOI: 10.3390/biology11071065

Castillo-Zuñiga, M.S., C.A. Meza-Herrera, G. Calderón-Leyva, N. López-Villalobos, C. Navarrete-Molina, J. A. Bustamante-Andrade, P. I. Sifuentes-Lamónt, J. M. Flores-Salas, F.G. Véliz-Deras. 2022. Interactions between social hierarchy and some udder morphometric traits upon colostrum and milk physicochemical characteristics in crossbred dairy goats. Agriculture. 12(05): 734.

Escareño-Sánchez, L. M., Wurzinger, M., Pastor-López, F., Salinas, H., Sölkner, J., Iñiguez, L. 2011. La cabra y los sistemas de producción caprina de los pequeños productores de la comarca lagunera, en el norte de México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 17:235-246.

Flores-Najera, M.J., V. Cuevas-Reyes, J.M. Vazquez-García, S. Beltran-Lopez, C.A. Meza-Herrera, M. Mellado, L.O. Negrete-Sanchez, M.A. Rivas-Jacobo, C.A. Rosales-Nieto. 2021. Milk yield and composition of mixed-breed goats on rangeland during the dry season and the effect on the growth of their progeny. Biology. 10(03): 220. DOI: 10.3390/biology10030220.

Isidro-Requejo, L.M., C.A. Meza-Herrera, F.J. Pastor-Lopez, J.A. Maldonado, H. Salinas-Gonzalez. 2019. Physicochemical characterization of goat milk produced in the Comarca Lagunera, Mexico. Animal Science Journal. 90(04):563-573. DOI: 10.1111/asj.13173

Kafilzadeh, F., Payandeh, S., Gómez-Cortés, P., Ghadimi, D., Schiavone, A., & Martínez Marín, A. L. (2019). Effects of probiotic supplementation on milk production, blood metabolite profile and enzyme activities of ewes during lactation. Italian Journal of Animal Science, 18(1), 134-139.

Kilkenny, C., Browne, W. J., Cuthill, I. C., Emerson, M., & Altman, D. G. (2010). Improving bioscience research reporting: The ARRIVE guidelines for reporting animal research. PLoS Biology, 8(6), e1000412.

Ma, Z. Z., Cheng, Y. Y., Wang, S. Q., Ge, J. Z., Shi, H. P., & Kou, J. C. (2020). Positive effects of dietary supplementation of three probiotics on milk yield, milk composition and intestinal flora in Sannan dairy goats varied in kind of probiotics. Journal of animal physiology and animal nutrition, 104(1), 44-55.

Meza-Herrera, C.A., Navarrete-Molina, C., Macias-Cruz U., Arellano-Rodriguez, G., De Santiago-Miramontes, A., Sariñana-Navarrete, M.A., Marin-Tinoco, R.I., Perez-Marin, C. 2024. Dairy goat production systems: A comprehensive analysis to reframe their global diversity. Animals. 14(24), 3717. DOI: 10.3390/ani14243717.

Navarrete-Molina, C., Meza-Herrera, C.A., De Santiago-Miramontes, A., Valenzuela-Perez, L.M., Marín-Tinoco, R.I., Soto-Cardenas, R.A., Sariñana-Navarrete, M.A. 2024. Dairy goat production systems: Socio-economic, environmental & cultural importance across time (1970-2022) and possible scenarios (2050). Resources. 13(12), 177. DOI: 10.3390/resources13120177.

Navarrete-Molina, C., Meza-Herrera, C.A., Herrera-Machuca, M.A., Macias-Cruz, U., Veliz-Deras, F.G. 2020. Not all ruminants were created equal: Environmental and socio-economic sustainability of goats under a marginal-extensive production system. Journal of Cleaner Production. 255: May 10, 120237.

Salvador, A., Alvarado, C., Solis, I. C., Betancourt, R., Gallo, J., & Caigua, A. (2011). Effect of protected fat on production and composition of goat milk under tropical conditions.

Salvador, A.; Martínez, G.; Alvarado, C. y Hahn, M. 2006. Composición de la leche de cabras mestizas Canarias en condiciones tropicales. Zootecnia Tropical, 24 (3), 12-16.

SAS Institute, 2010. SAS/Stat user's guide, version 9.3. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Tirindelli, R., Dibattista, M., Pifferi, S., Menini, A., 2009. From Pheromones to Behavior. Physiological Reviews 89, 921-956.

Vázquez García, J. M. (2016). Suplementación con jabones de calcio durante la lactogenesis de la cabra alpina.

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CONEJOS DE ENGORDA SUPLEMENTADOS CON UNA MEZCLA HERBAL

Alejandra M. Sánchez-Gutiérrez[1*], Jessica M. Oliva-Hernández[1], Ángel Y. Méndez-Trujillo[1], Irving Martínez-López[1], José F. Orzuna-Orzuna[1], Cristian Y. Pinto-Guerra-Gordillo

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo; km 40 Carretera Gómez Palacio, Dgo.-Cd. Juárez, Chihuahua.; CP 35230. Bermejillo, Durango, México. *Autor de correspondencia: al22119442@chapingo.mx

Introducción

La producción de carne de conejo constituye una alternativa eficiente para la obtención de proteína de origen animal debido a su rápido crecimiento y capacidad para aprovechar ingredientes fibrosos. En este contexto, los aditivos fitogénicos han recibido creciente atención como estrategia nutricional para mejorar el comportamiento productivo y la eficiencia alimenticia (Dalle Zotte et al., 2016; Abdelsalam & Fathi, 2023; Wang et al., 2024). Sus efectos se han relacionado con el aporte de nutrientes y compuestos bioactivos de origen vegetal que pueden favorecer la utilización de los nutrientes y el crecimiento de los animales (Hashem et al., 2017; Biswas & Kim, 2025).

Entre los ingredientes vegetales con potencial para la alimentación animal se encuentran *Phaseolus mungo*, fuente de proteína y aminoácidos (Padhye & Salunkhe, 1979; Reddy et al., 1982), y *Linum usitatissimum*, cuyo uso dietético ha mostrado efectos favorables en conejos (Peiretti & Meineri, 2010; Daboussi et al., 2025). Asimismo, diferentes ingredientes y extractos vegetales pueden favorecer la eficiencia alimenticia de esta especie (Abdel-Wareth et al., 2022; Abd El-Aziz et al., 2024). Por lo tanto, el objetivo fue evaluar el efecto de la suplementación con una mezcla herbal compuesta por *P. mungo* y *L. usitatissimum* sobre el comportamiento productivo de conejos de engorda durante 35 días.

Materiales y métodos

El estudio fue realizado en la posta zootécnica de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas en Bermejillo, Durango, México. Este lugar se ubica entre los 101° 41’ y 104° 61’ longitud oeste y 24° 22’ y 26° 23’ latitud norte, a una altitud media de 1, 100 msnm, caracterizada por un clima desértico (Medina et al., 2005). Se utilizaron 32 conejos híbridos California x Nueva Zelanda Blanco sanos (16 hembras y 16 machos) de 42 días de edad con un peso vivo promedio de 1.91 ± 0.06 kg. Los conejos se pesaron para registrar el peso inicial y se asignaron aleatoriamente a uno de los dos tratamientos. Cada tratamiento tenía 8 repeticiones (jaulas) con dos conejos (dos machos o dos hembras en cada jaula).

Las jaulas utilizadas para alojar los conejos eran tipo americanas de metal galvanizado (78 cm largo x 56 cm de ancho x 30 cm de alto). Cada jaula disponía de un comedero tipo tolva de lámina galvanizada (15 cm de largo x 10 cm de ancho x 22 cm de altura) con capacidad de 1.5 kg y un bebedero automático tipo chupete. Los conejos fueron alimentados con alimento comercial peletizado para conejos en engorda “Conejos Rey” de El Rey Ganadero®, Durango, México. El alimento contenía 13% proteína cruda, 12% humedad, 11% fibra y 4% extracto etéreo.

Los tratamientos experimentales consistieron en un grupo de conejos control (sin suplementación con mezcla herbal) y un grupo de conejos suplementados con 1.5 g/d de mezcla herbal disuelta en 5 mL de agua. Al grupo control se le administraron 5 mL de agua sin mezcla herbal para mantener las mismas condiciones de manejo. La mezcla herbal utilizada fue OptiLisina® (Nuproxa México, Indian Herbs®), la cual está estandarizada para contener 11.2 g de lisina por cada 100 g de producto.

Se registró el peso vivo de todos los conejos los días 0, 7, 14, 21, 28 y 35 del periodo experimental para calcular la ganancia diaria de peso (GDP, g/d). El consumo de alimento se midió diariamente como diferencia del alimento ofrecido menos el rechazado (CDA, g/d). La conversión alimenticia (CA) se calculó dividiendo el CDA entre la GDP. Los valores de peso vivo y consumo de alimento semanal se obtuvieron con una balanza digital con una precisión de ± 0.5 g.

Los datos fueron analizados con el procedimiento PROC MIXED del software estadístico SAS. Las medias de mínimos cuadrados por tratamiento se obtuvieron con el procedimiento LSMEANS. La comparación múltiple de medias se realizó con la prueba de Tukey y se declararon diferencias significativas con $p \leq 0.05$.

Resultados y discusión

El peso vivo inicial fue similar entre los conejos del grupo control y aquellos suplementados con la mezcla herbal ($p = 0.88$). Sin embargo, al finalizar el periodo experimental, los conejos suplementados presentaron mayor peso vivo final que los animales del grupo control (2.61 vs. 2.48 kg; $p = 0.05$). La suplementación con la mezcla herbal no modificó la ganancia diaria de peso ($p = 0.45$), mientras que el consumo diario de alimento mostró una tendencia a disminuir en los conejos suplementados con la mezcla herbal (118.77 vs. 121.68 g/d; $p = 0.07$). En contraste, la conversión alimenticia mejoró significativamente con la suplementación de mezcla herbal, disminuyendo de 4.52 a 3.97 kg/kg ($p < 0.01$). En conjunto, estos resultados indican que la suplementación con la mezcla herbal favoreció principalmente la eficiencia de utilización del alimento durante el periodo experimental.

Cuadro 1. Comportamiento productivo de corderos de engorda suplementados con un aditivo fitogénico

Variable	Tratamiento		EEM	Valor P
	Control	Mezcla herbal		
Peso vivo inicial (PVI), kg	1.90 [a]	1.92 [a]	0.066	0.88
Peso vivo final (PVF), kg	2.48 [b]	2.61 [a]	0.044	0.05
Ganancia diaria de peso (GDP), g/d	29.27 [a]	30.85 [a]	1.459	0.45
Consumo diario de alimento (CDA), g/d	121.68 [a]	118.77 [a]	1.099	0.07
Conversión alimenticia (CA), kg/kg	4.52 [a]	3.97 [b]	0.141	<0.01

PVI: peso vivo inicial, PVF: peso vivo final; GDP: ganancia diaria de peso; CMS: consumo de materia seca; CA: conversión alimenticia. EEM: error estándar de la media.

La suplementación con la mezcla herbal mejoró el peso vivo final y la conversión alimenticia de los conejos, sin modificar la ganancia diaria de peso. Estos resultados coinciden con Hashem et al. (2017) y Abdel-Wareth et al. (2022), quienes reportaron mejoras en el crecimiento, la conversión alimenticia y el aprovechamiento de nutrientes mediante la utilización de diferentes aditivos fitogénicos. Asimismo, Anaso et al. (2024), en un metaanálisis de 33 estudios, observaron que los extractos herbales redujeron la conversión alimenticia e incrementaron la digestibilidad de nutrientes en conejos. En conjunto, estos resultados sugieren que la mezcla herbal evaluada pudo favorecer la eficiencia de utilización del alimento. La respuesta observada en el presente estudio podría estar relacionada con las características nutricionales de *P. mungo* y *L. usitatissimum*. *P. mungo* constituye una fuente de proteína y aminoácidos (Padhye & Salunkhe, 1979; Reddy et al., 1982), mientras que *L. usitatissimum* aporta nutrientes y compuestos bioactivos con potencial para mejorar la respuesta productiva de los conejos (Peiretti & Meineri, 2010; Daboussi et al., 2025). No obstante, los efectos de los aditivos fitogénicos pueden variar de acuerdo con su composición y nivel de suplementación (Dalle Zotte et al., 2016; Wang et al., 2024), por lo que se requieren estudios complementarios para explicar los mecanismos asociados con la respuesta observada.

Concusiones

La suplementación dietética con la mezcla herbal compuesta por *Phaseolus mungo* y *Linum usitatissimum* mejora el peso vivo final y la conversión alimenticia de los conejos de engorda. Estos resultados sugieren que esta mezcla herbal puede utilizarse como una alternativa nutricional para mejorar la eficiencia productiva de conejos durante la etapa de engorda.

Referencias

Abd El-Aziz, A., A. Elfadadny, M. Abo Ghanima, D. Cavallini, I. Fusaro, M. Giammarco, G. Buonaiuto & K. El-Sabrout. (2024). Nutritional value of oregano-based products and its effect on rabbit performance and health. Animals, 14(20), 3021.

Abdelsalam, M. & M. Fathi. (2023). Improving productivity in rabbits by using some natural feed additives under hot environmental conditions—A review. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 36(4), 540–554.

Abdel-Wareth, A. A. A., S. Kehraus & K.-H. Südekum. (2022). Evaluation of oregano leaves and plant bioactive lipid compounds as feed additives for growing rabbits: Effects on performance, nutrient digestibility, serum metabolic profile and carcass traits. Animal Feed Science and Technology, 284, 115208.

Anaso, E., O. Olafadehan & I. Chibuogwu. (2024). The effects of herbal plant extract on the growth performance, blood parameters, nutrient digestibility and carcase quality of rabbits: A meta-analysis. Heliyon, 10(4), e25724.

Biswas, S. & I. H. Kim. (2025). A thorough review of phytogenic feed additives in non-ruminant nutrition: Production, gut health, and environmental concerns. Journal of Animal Science and Technology, 67(3), 497–519.

Daboussi, I., et al. (2025). Growth performance, carcass traits and meat quality in rabbits fed with two different percentages of extruded linseed. Foods, 14(10), 1778.

Dalle Zotte, A., C. Celia & Z. Szendrő. (2016). Herbs and spices inclusion as feedstuff or additive in growing rabbit diets and as additive in rabbit meat: A review. Livestock Science, 189, 82–90.

Hashem, N. M., et al. (2017). Inclusion of phytogenic feed additives comparable to vitamin E in diet of growing rabbits: Effects on metabolism and growth. Annals of Agricultural Sciences, 62(2), 161–167.

Medina G., G., G. Díaz P., J. López H., J. A. Ruíz C. & S. M. Marín. (2005). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango. (Periodo 1961–2003). Libro Técnico No. 1. Campo Experimental Valle del Guadiana. CIRNOC-INIFAP, 224 p.

Padhye, V. W. & D. K. Salunkhe. (1979). Biochemical studies on black gram (Phaseolus mungo L.) seeds: Amino acid composition and subunit constitution of fractions of the proteins. Journal of Food Science, 44, 606–614.

Peiretti, P. G. & G. Meineri. (2010). Effects of diets with increasing levels of golden flaxseed on carcass characteristics, meat quality and lipid traits of growing rabbits. Italian Journal of Animal Science, 9(4), e70.

Reddy, N. R., D. K. Salunkhe & S. K. Sathe. (1982). Biochemistry of black gram (Phaseolus mungo L.): A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 16(1), 49–114.

Wang, J., L. Deng, M. Chen, Y. Che, L. Li, L. Zhu, G. Chen & T. Feng. (2024). Phytogenic feed additives as natural antibiotic alternatives in animal health and production: A review of the literature of the last decade. Animal Nutrition, 17, 244–264.

POTENCIAL ACARICIDA DEL PROPÓLEO DE ZONAS ÁRIDAS SOBRE *Varroa destructor*: RESULTADOS PRELIMINARES DE LA EVALUACIÓN EXPERIMENTAL Y ESTIMACIÓN DE LA DOSIS LETAL MEDIA

Karen Fraire-Galindo[1,2]*, Jorge Luis Becerra-López[2], Saúl Santana-Espinoza[3], Susana Torres Valles[4], Jesús Salvador Becerra-López[5]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango, México. [2]Laboratorio de Cambio Climático y Conservación de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, México. [4]Universidad Politécnica de La Región Laguna (UPRL), Ejido Santa Teresa, San Pedro de las Colonias, Coahuila. [5]Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER).
* Autor de correspondencia: biolfraire@gmail.com

Introducción

La varroosis es una enfermedad causada por el ácaro parásito *Varroa destructor,* perteneciente al Phylum Arthropoda, Subphylum Chelicerata, Clase Arachnida, Subclase Acarida, Orden Gamasida, Familia Varroidae. Esta enfermedad afecta a las abejas en todos sus estadios de desarrollo, ya que se alimenta de su hemolinfa, lo que representa un grave problema en la apicultura a nivel mundial, ya sea por mermas en los rendimientos individuales o por mortalidad de las colmenas (Rosenkranz et al*.*, 2010). Lo cual ha llevado a este ácaro a ser considerado como la plaga más importante de la abeja común *Apis mellifera* L. en el mundo (Sammataro et al*.,* 2000).

La amenaza de infestación de abejas por *V. destructor* obliga a los apicultores de muchas partes del mundo a tratar sus colonias con acaricidas, lo cual conlleva inconvenientes como la acumulación de residuos en los productos apícolas (Bogdanov et al., 1998; Wallner, 1999), asimismo, se ha reportado que el uso indiscriminado de productos químicos para controlar la varroasis ha favorecido la aparición de cepas resistentes en muchos países (Mathieu y Faucon, 2000; Thompson et al*.,* 2002). Por ejemplo, se ha documentado su resistencia al fluvalinato y la flumetrina (Baxter et al., 1998), al cumafos (Spreafico et al*.,* 2001), al bromopropilato y al clordimeformo (Ritter y Roth, 1988) y al amitraz (Elzene et al*.,* 2000); lo que constituye un incentivo considerable para desarrollar nuevas estrategias de tratamiento y la detección de posibles acaricidas que minimicen estos problemas.

En relación con lo anterior, los acaricidas naturales ofrecen una alternativa muy atractiva a los productos sintéticos, los cuales pueden proveer una solución efectiva para el problema del ácaro varroa, sin dejar residuos en la miel, sin generar resistencia en las poblaciones de parásitos y con bajo costo. La mayoría de las investigaciones se han centrado en el uso de ácidos orgánicos y aceites esenciales, ya que se encuentran de forma natural en las colonias de abejas y poseen una importante actividad acaricida (Imdorf et al., 1999; Eguaras et al., 2003). Sin embargo, otro producto natural que puede considerarse es el propóleo, el cual presenta un alto contenido de compuestos fenólicos (Bankova et al*.,* 1983) y al que diversos estudios han reportado actividad farmacológica: antibacteriana, antifúngica, antiviral, antiinflamatoria, antioxidante, antitumoral, entre otras. (Banskota et al*.,* 2001). Sin embargo, las pruebas previas sobre el uso del propóleo como acaricida o insecticida han sido muy limitadas (Damiani et al*.,* 2010).

Con base en lo señalado anteriormente, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la actividad acaricida de diferentes concentraciones de extracto etanólico de propóleo al 70% en *V. destructor*. Asimismo, establecer la DL50 que permita eliminar el 50% de los ácaros en un tiempo de tres horas. La información generada representa una potencial solución efectiva para el problema del ácaro varroa, sin dejar residuos en la miel, que no generen resistencia en las poblaciones de parásitos y que tengan bajo costo.

Materiales y métodos

Obtención de propóleo y preparación de extracto. Durante la estación de otoño de 2025, se obtuvieron muestras de propóleo a partir de colmenas ubicadas en el ejido José Isabel Robles, municipio General Simón Bolívar, Durango. Temperatura máxima: 42 °C, temperatura mínima: -7 °C, temperatura media anual: 20 °C, precipitación media anual: 350 mm; tipo de suelo: predomina el litosol; tipo de vegetación: matorral xerófilo. La preparación del extracto etanólico de propóleo (EEP) se realizó mediante el siguiente procedimiento: se pesaron 5 muestras secas de propóleo libres de impurezas en una balanza analítica (marca AND, modelo HR200), las cuales fueron asignadas de manera aleatoria en una concentración 1:3 de etanol al 70 %. Posteriormente, las mezclas se sometieron a extracción en un evaporador rotatorio (marca Science Med, modelo RE100-Pro) a condiciones de 59 °C, 90 rpm, oscilando entre 1 y 1 h 45 min para la completa sustracción del solvente; a continuación, las muestras fueron expuestas a un deshidratador (modelo OQCK 110); durante 24-72 h a una temperatura máxima de 55 °C. Finalmente, los extractos secos se protegieron de la luz y se refrigeraron a 4 °C hasta su utilización (DOF, 2017; Trusheva, Trunkova & Bankova, 2007). Posteriormente, a partir de etanol a una concentración del 55 % se elaboraron cinco soluciones con diferente cantidad de EEP: (1) 30 mg/0.3 mL; (2) 60 mg/0.3 mL; (3) 90 mg/0.3 mL; (4) 120 mg/0.3 mL y (5) 150 mg/0.3 mL. Asimismo, se estableció un control de etanol al 55 % que no contenía EEP.

***Colecta de ejemplares*.** Se colectaron aleatoriamente 45 ejemplares adultos de *A. mellifera* provenientes de diversas cámaras de cría; en conjunto, estas abejas contenían 48 individuos de *V. destructor.* Para la colecta de ejemplares parasitados con varroa, se tuvo la precaución de muestrear a aquellos individuos que se localizaran a los lados de la cría, esto con la finalidad de evitar la captura de abejas nodrizas jóvenes (Felton et al., 1986). Las abejas colectadas se introdujeron en recipientes de polietileno (6.5 cm diámetro y 8.5 cm de altura), cada recipiente tenía dos agujeros (2.5 cm diámetro) cubierto con una malla. A estos recipientes se les proporcionaron agua y miel para las abejas y fueron colocados dentro de una incubadora a 32 ± 2 °C y 70 ± 10 % para ser trasladados al laboratorio.

***Aplicación de DL50 del EEP al 70 % en cepa de V. destructor*.** Para la aplicación del EEP en varroa, se crearon seis grupos de 10 hembras adultas de *V. destructor,* las cuales fueron colocadas en recipientes de polietileno, con las características antes señaladas. A cada grupo se le colocó 1 larva de *A. mellifera* por cada dos varroas, esto con la finalidad de evitar la inanición durante el desarrollo del bioensayo. Enseguida, se aplicaron las suspensiones de los cinco tratamientos y el control: (1) 30 mg/0.3 mL; (2) 60 mg/0.3 mL; (3) 90 mg/0.3 mL; (4) 120 mg/0.3 mL; (5) 150 mg/0.3 mL y etanol al 55 % en cada uno de los recipientes con varroa, respectivamente. Una vez que el tratamiento entró en contacto con los ácaros, se llevaron a cabo lecturas de mortalidad cada 10 minutos durante 3 horas; la mortalidad se evaluó pinchando suavemente cada ácaro con un pincel fino; la ausencia de respuesta a estímulos consecutivos se consideró un indicio de muerte (Garedew et al. 2002).

Los datos obtenidos fueron analizados a través de una prueba de independencia de ji-cuadrada utilizando una probabilidad del 95%, esto con la finalidad de identificar si la cantidad de EEP al 70 % contenido en 0.3 mL de etanol al 55 % está relacionado con la muerte de individuos de *V. destructor.* Asimismo, se identificó la dosis letal media (DL50) empleando la transformación probit (Finney, 1971), esta es una forma especializada de análisis de regresión que se aplica a variables de respuesta binomial, todos los análisis de los datos fueron desarrollados en el programa estadístico R project.

Resultados y discusión

Los resultados de la prueba de independencia de ji-cuadrada señalan que en nuestro caso de estudio existe una relación entre la cantidad de EEP al 70 % (contenido en 0.3 mL de etanol al 55 %) y la muerte de individuos de *V. destructor* (ji-cuadrado de Pearson = 18.7; gl = 5; p = 0.002). Presentando una letalidad del 100 % en concentraciones de 120 mg/0.3mL y 150 mg/0.3mL (Fig 1). Al respecto, en un estudio similar, Garedew et al. (2002) aplicaron, de manera tópica, propóleo en solución alcohólica sobre individuos de *V. destructor* y el tratamiento con solución al 10% (10g/100mL) resultó en una mortalidad del 100% de ácaros, independientemente del tiempo de contacto. Sin embargo, en un estudio realizado por Damiani et al. (2010) reportan que al utilizar una solución de propóleo al 10% solo el 60% de los ácaros murieron después de un contacto de 30 segundos con esta solución; este mismo autor comenta que las diferencias en efectividad acaricida entre propóleos podrían deberse a variaciones en la composición fenólica, la cual está influenciada por el origen geográfico del propóleo.

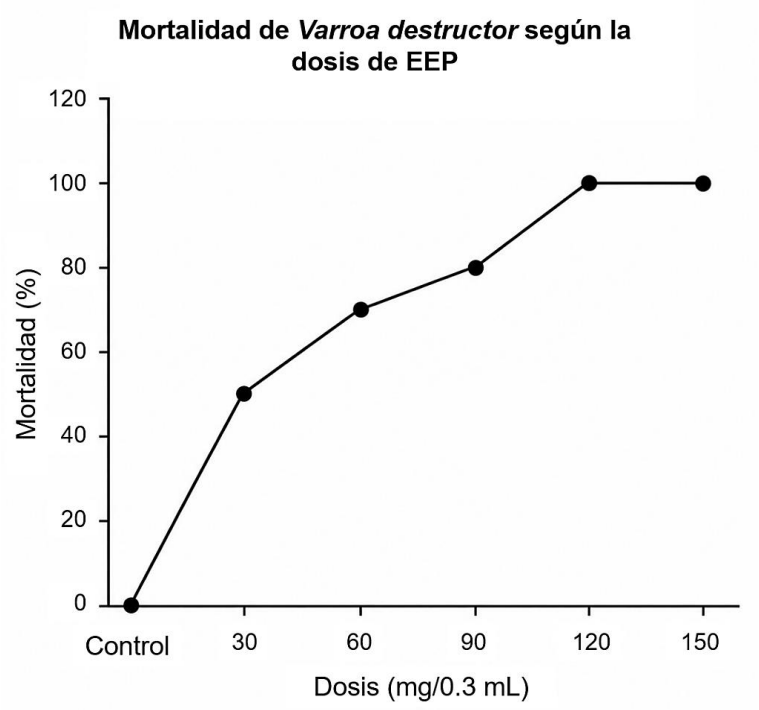


Figura 1. Se presenta el gráfico con el tratamiento control incluido, mostrando el porcentaje de mortalidad de *V. destructor* para cada dosis aplicada de EEP etanol al 70 % disuelto en etanol al 55 %. Se aprecia cómo la mortalidad aumenta con la dosis hasta alcanzar el 100 % en 120 mg y 150 mg.

En relación con lo anterior, Bankova (2005) documentó que la composición química de los propóleos varía en gran medida dependiendo de la flora local del sitio de recolección. Sin embargo, Siheri *et al.* (2017) reportaron que, aunque la composición química de los propóleos varíe dependiendo de la flora local, estos seguirán cumpliendo la función de inhibir el ingreso de patógenos a la colmena. Un estudio que respalda esta propuesta es el realizado por Kujumgiev et al. (1999); estos autores recolectaron muestras de diferentes zonas geográficas y climáticas e indicaron que la actividad contra los microorganismos prevaleció. Lo anterior sugiere que las propiedades organolépticas y fisicoquímicas de las muestras de propóleos reportadas por Garedew et al. (2002) y Damiani et al. (2010), quienes trabajaron con propóleo de la región pampera catalogado como el de mejor calidad en Argentina (Bedascarrasbure et al., 2006), presentan mejor calidad para el control de varroa respecto a la muestra de propóleo contemplada en el presente estudio, la cual corresponde únicamente a la estación de otoño. Sin embargo, a pesar de esta situación, el análisis de laboratorio sugiere que el EEP en estudio podría incorporarse a las colonias de abejas como tratamiento para combatir las poblaciones de *V. destructor*.

Si extrapolamos la concentración de 120 mg/0.3 mL y 150 mg/0.3 mL a 100 mL, tendríamos que utilizar 40 g/100 mL y 50 g/100 mL, respectivamente, para aproximarnos a una mortalidad de 100% de ácaros. Al respecto, Damiani et al. (2010) comentan que la aplicación de propóleo en colmenas, ya sea solo o en combinación con otras sustancias naturales, se debe utilizar en concentraciones inferiores al 20 % para evitar la muerte de las abejas. Bajo este enfoque, para nuestro caso de estudio es de gran relevancia identificar la dosis inferior al 20 % que permita disminuir el mayor porcentaje de individuos de *V. destructor* sin afectar a las abejas. Ante esto, nuestros resultados de DL50, obtenidos en laboratorio, indican que la cantidad de EEP al 70 %, disuelto en 0.3 mL de etanol al 55 %, necesario para causar la muerte del 50 % de los organismos de prueba es de 35.8 mg, de tal manera que si extrapolamos 35.8 mg /0.3 mL a 100 mL tendremos que utilizar 11.93 g /100 mL para eliminar el 50 % de la población de *V. destructor*, aunque aún es necesario ajustar las dosis y concentraciones de administración, y estudiar el mecanismo de acción del propóleo sobre los ácaros.

Conclusiones

En condiciones de laboratorio, 120 mg y 150 mg de extracto etanólico de propóleo al 70 %, disueltos en 0.3 mL de etanol al 55%, respectivamente, mostraron una letalidad del 100 % en individuos de *V. destructor.* Sin embargo, no es recomendable utilizar concentraciones que superen el 20 % ya que se corre el riesgo de afectar de manera negativa a las abejas; por lo que es necesario emplear la dosis letal media de 35.8 mg / 0.3 mL que, extrapolada a 100 mL corresponde a 11.93 g / 100 mL lo cual está por debajo del 20 % antes señalado. Se recomienda desarrollar pruebas en campo con la finalidad de evaluar su eficiencia; asimismo, es de vital importancia que estos resultados pudieran ser complementados con comparaciones que consideren propóleo colectado en las estaciones de primavera, verano e invierno, así como la evaluación de componentes biológicos activos, como fenoles y flavonoides entre propóleos colectados en las diferentes estaciones del año. Otro punto de relevancia es evaluar el efecto biológico del extracto etanólico de propóleo sobre los agentes causales de ciertos patógenos y plagas de las abejas, como la loque americana, causada por la bacteria *Paenibacillus* spp.*,* y la polilla de la cera.

Referencias

Bankova, V. (2005). Chemical diversity of propolis and the problem of standardization. *Journal of Ethnopharmacology*, *100*(1-2), 114–117.

Bedascarrasbure, E., Maldonado, L., Fierro Morales, W. y Álvarez, A. (2006). Propóleos: Caracterización y normalización de propóleos argentinos. Revisión y actualización de composición y propiedades. *Ediciones Magna Publicaciones*.

Bogdanov, S., Kilchenmann, V. y Imdorf, A. (1998). Acaricide residues in some bee products. *Journal of Apicultural Research*, *37*(2), 57–67.

Damiani, N., Maggi, M. D., Gende, L. B., Faverin, C., Eguaras, M. J. y Marcangeli, J. A. (2010). Evaluation of the toxicity of a propolis extract on *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Apicultural Research*, *49*(3), 257–264.

Elzen, P. J., Baxter, J. R., Spivak, M. y Wilson, W. T. (2000). Control of *Varroa jacobsoni* Oud. resistant to fluvalinate and amitraz using coumaphos. *Apidologie*, *31*(3), 437–441.

Garedew, A., Lamprecht, I., Schmolz, E. y Schricker, B. (2002). The varroacidal action of propolis: A laboratory assay. *Apidologie*, *33*(1), 41–50.

Rosenkranz, P., Aumeier, P. y Ziegelmann, B. (2010). Biology and control of *Varroa destructor*. *Journal of Invertebrate Pathology*, *103*(Supl. 1), S96–S119.

Sammataro, D., Gerson, U. y Needham, G. (2000). Parasitic mites of honey bees: Life history, implications, and impact. *Annual Review of Entomology*, *45*(1), 519–548.

Wallner, K. (1999). Varroacides and their residues in bee products. *Apidologie*, *30*(2-3), 235–248.

ADICIÓN DE AMINOÁCIDOS EN SEMEN DE CARNEROS PARA PRESERVAR LA CALIDAD DURANTE EL PROCESO DE REFRIGERACIÓN

Arturo Fraire-Galindo[1]*, Guadalupe Calderón-Leyva[1], Alan Sebastián Alvarado-Espino[1], Oscar Ángel-García[1]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria, Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe, Torreón, Coahuila, México. *Autor de correspondencia: mvzfraire02@gmail.com

Introducción

A nivel mundial, la creciente demanda de acceso a los alimentos en general y a las proteínas de origen animal en particular obliga a los ganaderos a ser lo más eficientes posible en la cría y el manejo del ganado. Por lo tanto, es necesario comprender la dinámica reproductiva de las diferentes especies de ganado, así como el desarrollo de tecnologías como la inseminación artificial, para mejorar la eficiencia en la demanda de productos animales (Yañes-Ortiz et al., 2022).

La inseminación artificial se introdujo y se realizó en la industria ovina para lograr la máxima eficiencia genética utilizando muestras de semen de carneros élite. En algunas circunstancias, y para prevenir los efectos perjudiciales de la congelación-descongelación, la inseminación podría realizarse con semen fresco o refrigerado diluido, en lugar de congelado. Se ha revelado que las lesiones inducidas a los espermatozoides conservados a 4 °C no son comparables a las muestras congeladas-descongeladas (Salimi et al., 2023).

Desafortunadamente, la generación de diferentes especies reactivas de oxígeno (ROS) durante el enfriamiento y/o congelación-descongelación conduce a la peroxidación lipídica de la membrana de los espermatozoides (Eslami et al., 2018). La peroxidación lipídica afecta a los espermatozoides, induciendo unapérdida irreversible de cinemática, dañando el genoma y finalmente reduciendo su fertilidad; la investigación sobre el desarrollo de extensores se ha centrado en compuestos estabilizadores de membranas, antioxidantes y crioprotectores (Allai et al., 2018).

Se ha reportado que ciertos aminoácidos como la taurina previene la salida de colesterol de la membrana del esperma y la producción de malondialdehído MDA en diluyentes, lo que indica que previene la capacitación prematura y la reacción acrosómica, el colesterol juega un papel especial en la membrana del esperma pues su liberación inicia el paso clave en el proceso de capacitación y reacción acrosómica que es crucial para la fertilización (Câmara et al., 2011). Por otro lado, la capacidad antioxidante del ácido glutámico se debe a su rol como precursor del glutatión, el cual neutraliza los ROS y minimiza el daño oxidativo en las membranas celulares; al ser aplicado directamente en el diluyente de semen, el ácido glutámico incrementa la motilidad progresiva y protege la integridad de las membranas celulares espermáticas (Massányi et al., 2023).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de taurina y ácido glutámico en el semen de ovino durante el proceso de refrigeración.

Materiales y métodos

El estudio se realizó de febrero a abril, en la posta zootécnica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna (25.39 °N, 101.005 °O), altitud 1120 m, temperatura promedio 22.3 °C, precipitación anual 225–230 mm.

Se colectó el semen de 3 machos ovinos (raza Dorper de 2 a 3 años, con una condición corporal de 3 unidades), 2 veces por semana, con un total de 24 extracciones, por el método de vagina artificial con tubo cónico graduado, después de la colecta se midió el volumen del eyaculado y se colocó en baño María a 37 °C, se realizó una evaluación de la calidad del semen midiendo la motilidad masal, individual y viabilidad espermática, posteriormente se mezclaron los tres eyaculados para evitar el efecto individual.

Inmediatamente después de mezclarlos, se evaluó el volumen del eyaculado en un tubo cónico graduado y se evaluaron nuevamente los parámetros espermáticos donde se consideró una concentración superior a 3500×10^6 espermatozoides por mililitro, motilidad masal mayor a 4 y una viabilidad mínima de 80 %, para realizar el protocolo de dilución con un diluyente comercial (OptiXcell), todo el proceso se realizó a una temperatura de 37 °C, se consideró una concentración de 200×10^6 espermatozoides por mL. Posteriormente se dividió en tres diferentes alícuotas para agregar los siguientes tratamientos respectivamente:

1. 200 mM de taurina (GTAU)
2. 4 mM de ácido glutámico (GGLUT)
3. 1 mL de solución fisiológica (GCONT)

Los antioxidantes fueron disueltos en agua bidestilada para obtener las concentraciones deseadas, y se ajustaron a un pH neutro (6.9-7) con un potenciómetro.

Cinco minutos después de añadir los tratamientos se realizó una primera evaluación de todas las variables (hora cero), posteriormente las alícuotas de semen se refrigeraron a 5 °C con una curva de enfriamiento de 0.2-0.3 °C/min, se mantuvo en refrigeración y a las 48 horas se procedió a medir lo siguiente:

Motilidad Masal: se evaluó utilizando una escala del 1 al 5; 1=25 % a 5=100 % de espermatozoides móviles. La motilidad de los espermatozoides se determinó utilizando una plataforma precalentada (37 °C) mediante un microscopio de contraste de fase con objetivo de 10X.

Motilidad Individual: se colocaron 10 µL de la disolución en un portaobjetos atemperado a 37 °C y encima un cubreobjetos para ser evaluados mediante microscopio óptico (40X).
Viabilidad espermática: se evaluó utilizando la técnica de tinción de eosina-nigrosina. Se registraron al menos 200 espermatozoides de cuatro campos distintos observados mediante microscopía óptica (40X), y se cuantificó el porcentaje de células muertas (teñidas de color rosa) y vivas (sin teñir)

Integridad de la membrana plasmática: mediante la prueba de hinchazón hipoosmótica (HOST), se colocan 10 µL de semen diluido en 400 µL de solución host y se incubó por 45 minutos; posteriormente, se realizó un frotis convencional y se dejó secar. Se registraron al menos 200 espermatozoides mediante microscopía óptica (40X), y se cuantificó el porcentaje de células muertas (sin cambios morfológicos) y vivas (con cambios morfológicos en el flagelo).

Para evaluar los resultados se realizó un análisis de varianza usando el procedimiento de Modelo Lineal General. La comparación de las medias entre los tratamientos se realizó mediante la prueba de Duncan, utilizando el paquete estadístico SAS 9.0 (Inst. Cary, NC, Estados Unidos de América).

Resultados y discusión

Cuadro 1. Promedio ± error estándar de motilidad masal, motilidad individual, viabilidad, HOST evaluadas de semen refrigerado (5 °C) previamente adicionado con Taurina (GTAU), Acido Glutámico (GGLUT), o con solución salina (GCONT), evaluado al momento de adicionar los tratamientos (hora 0) y posteriormente a las 48 h.

Variables	Hora	Motilidad Individual	Motilidad Masal	Viabilidad	Host
GCONT	0	76.9 ± 1.4^{a}	4.2 ± 0.1^{ab}	77.3 ± 1.3^{a}	73.4 ± 1.8^{a}
	48	40.2 ± 1.8^{c}	1.9 ± 0.1^{d}	45.3 ± 1.8^{d}	43.2 ± 2^{c}
GTAU	0	81.0 ± 1.1^{a}	4.4 ± 0.1^{a}	81.6 ± 1.2^{a}	77.4 ± 1.7^{a}
	48	49.2 ± 1.9^{b}	2.2 ± 0.1^{c}	51.1 ± 1.9^{bc}	51.6 ± 2.5^{b}
GGLUT	0	76.0 ± 1.2^{a}	4.2 ± 0.1^{ab}	76.8 ± 1.8^{a}	72.3 ± 2^{a}
	48	42.4 ± 1.7^{c}	1.9 ± 0.1^{d}	48.5 ± 2.1^{cd}	45.7 ± 2.4^{bc}

Los resultados obtenidos concuerdan con lo publicado por Shivani Chhillar et al*. (*2012), donde se demuestra que el añadir antioxidantes como la taurina, en dosis similares a las utilizadas en este proyecto, mejora la calidad del semen en mamíferos durante la criopreservación en comparación con semen sin ningún tipo de antioxidante. Al igual que otro estudio en el que si bien se trabajó sobre semen a temperatura ambiente, coinciden con nuestros resultados demostrando que, añadir concentraciones apropiadas de taurina puede aliviar el daño oxidativo durante el almacenamiento del semen ovino a temperatura ambiente e incrementar la calidad del semen preservado (Zhang et al., 2021).

En contraste con nuestros resultados, Stephens et al. (2013) y Li et al. (2017) encontraron que, a mayor concentración de taurina, los cambios en la presión osmótica afectan la permeabilidad de la membrana espermática y reducen la motilidad progresiva, causando una activación excesiva de enzimas antioxidantes y la mitocondria.

El aminoácido más abundante presente en el plasma seminal es el ácido glutámico. Al respecto, Ugur et al. (2020), demostraron que el ácido glutámico esta correlacionado con un numero de genes, enzimas y otras reacciones que ocurren en la mitocondria, esto proporciona una evidencia importante en la actividad oxidorreductasa, regulación de la apoptosis y la influencia en la producción de energía celular. Nuntapaitoon et al. (2024), encontraron que en esperma de jabalí la suplementación de 20 mM de glutamina (un derivado del ácido glutámico) incrementó la motilidad del esperma post-descongelación; esto difiere de nuestros resultados, puesto que al añadir ácido glutámico obtuvimos resultados similares a los del grupo control.

Conclusión

El uso de antioxidantes como la taurina a una dosis de 200 mM, previene el daño provocado por las ROS y mejorando la calidad del semen ovino durante el proceso de refrigeración.

Referencias

Allai, L., Benmoula, A., Marciane da Silva, M., Nasser, B., El Amiri, B. (2018). Supplementation of ram semen extender to improve seminal quality and fertility rate. Anim Reprod Sci., 192:6-17. doi: 10.1016/j.anireprosci.2018.03.019.

Câmara, D. R., Silva, S. V., Almeida, F. C., Nunes, J. F., Guerra, M. M. P. (2011). Effects of antioxidants and duration of pre-freezing equilibration on frozen-thawed ram semen. Theriogenology, 76(2), 342-350.

Eslami, M., Jahan-Roshan, N., & Farrokhi-Ardabili, F. (2018). *Influence of idebenone on ram semen quality stored at 4° C. Reproduction in Domestic Animals.* doi:10.1111/rda.13379.

Li, H., Zhang, X.G., Fang, Q., Liu, Q., Du, R.R., Yang, G.S., Wang, L.Q., Hu, J.H. (2017) Supplemental effect of different levels of taurine in Modena on boar semen quality during liquid preservation at 17 ◦C. Anim. Sci. J., 88, 1692–1699.

Massányi, P., Halo, M., Marko, H. (2023). Efecto del ácido glutámico en la calidad del semen post-descongelación en ovinos. Reproductive Biology, 23(1), 125-133.

Nuntapaitoon M., Tummaruk P., Suwimonteerabutr, J. (2024). Supplementation of glutamine in a short-term boar semen extender during 17°C holding time enhances post-thaw sperm quality for cryopreservation. Porcine Health Manag. Nov 11;10(1):50. doi: 10.1186/s40813-024-00403-8.

Salimi, A., Eslami, M., Farrokhi-Ardabili, F. (2023). Influence of trans-ferulic acid on the quality of ram semen upon cold preservation. Veterinary Medicine and Science, 9, 1369-1378. https://doi.org/10.1002/vms3.1117

Shivani, Ch., Vivek, K. S., Raj, K., Suresh, K. A. (2012). Effects of Taurine or Trehalose supplementation on functional competence of cryopreserved Karan Fries semen. Animal Reproduction Science. Volume 135, (1–4),1-7.

Stephens, T.D., Brooks, R.M., Carrington, J.L., Cheng, L., Carrington, A.C., Porr, C.A., Splan, R.K. (2013). Effects of Pentoxifylline, Caffeine, and Taurine on Post-Thaw Motility and Longevity of Equine Frozen Semen. J. Equine Vet. Sci. 33, 615–621.

Ugur, M.R., Dinh T., Hitit, M., Kaya, A., Topper, E., Didion, B., Memili, E. (2020). Amino Acids of Seminal Plasma Associated With Freezability of Bull Sperm. Front. Cell Dev. Biol. 7:347. doi: 10.3389/fcell.2019.00347

Yañez-Ortiz, I., Catalan, J., Rodríguez-Gil, J. E., Miro J., Yeste, M. (2022). Advances in sperm cryopreservation in farm animals: Cattle, horse, pig and sheep. Animal Reproduction Science 246,106904.

Zhang, L., Wang, Y., Sohail, T., Kang, Y., Niu, H., Sun, X., Ji, D., Li, Y. (2021). Effects of Taurine on Sperm Quality during Room Temperature Storage in Hu Sheep. *Animals*, *11*(9), 2725. https://doi.org/10.3390/ani11092725.

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CORDEROS SUPLEMENTADOS CON ÁCIDO GUANIDINOACÉTICO: METAANÁLISIS

José F. Orzuna-Orzuna[1,*], Pedro A. Hernández-García[2], Erick J. Suarez-Sánchez[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo C.P. 35230, Durango, México. [2]Centro Universitario Amecameca, Universidad Autónoma del Estado de México, Amecameca C.P. 56900, Estado de México, México. *Autor para correspondencia: jorzunao@chapingo.mx

Introducción

La producción eficiente de carne de cordero depende, entre otros factores, de la capacidad de los animales para consumir y aprovechar los nutrientes de la dieta y destinarlos al crecimiento y deposición de tejido muscular. En este contexto, los aditivos nutricionales capaces de favorecer la utilización del alimento representan una alternativa para mejorar el comportamiento productivo de los rumiantes (Liu et al., 2021). El ácido guanidinoacético (GAA) ha adquirido interés debido a su participación en el metabolismo energético y a los efectos favorables observados sobre el consumo, crecimiento y eficiencia alimenticia.

El GAA es un metabolito relacionado con la síntesis de creatina, compuesto que participa en el metabolismo energético del músculo esquelético (Zhang et al., 2022). Mediante el sistema creatina-fosfocreatina, la creatina contribuye al mantenimiento de la disponibilidad energética necesaria para la actividad y metabolismo muscular, por lo que cambios en este sistema pueden relacionarse con el crecimiento y deposición de tejido muscular. Adicionalmente, en rumiantes se han observado modificaciones en la digestibilidad de nutrientes, fermentación ruminal y metabolismo del nitrógeno después de la suplementación con GAA, respuestas que podrían contribuir a incrementar la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento (Ren et al., 2022).

Los estudios realizados en corderos han mostrado respuestas variables en consumo, crecimiento, eficiencia alimenticia, digestibilidad y características de la canal después de la suplementación con GAA (Jin et al., 2024). La integración cuantitativa de resultados procedentes de diferentes experimentos mediante metaanálisis permite estimar el efecto global de una intervención a partir de la evidencia disponible (Viechtbauer, 2010). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar mediante metaanálisis el efecto de la suplementación dietética con ácido guanidinoacético sobre el comportamiento productivo de corderos. Adicionalmente, se evaluó el área del músculo *Longissimus dorsi*, la digestibilidad de la materia seca y la concentración ruminal de ácidos grasos volátiles totales.

Materiales y métodos

La revisión sistemática se realizó siguiendo las directrices PRISMA y la pregunta de investigación se estructuró mediante el enfoque PICO (O'Dea et al., 2021). Se realizaron búsquedas en Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar para identificar artículos científicos publicados en inglés entre enero de 2016 y agosto de 2026. Se incluyeron estudios realizados con corderos sanos que compararon una dieta control sin GAA con al menos una dieta suplementada con GAA y que proporcionaron el número de repeticiones, medias de tratamiento y error estándar para las variables de interés. Se excluyeron artículos de revisión, memorias de congresos, tesis y libros. Después del proceso de selección, la base de datos quedó constituida por 11 artículos científicos.

Para el presente metaanálisis se incluyeron las variables consumo de materia seca (CMS), ganancia diaria de peso (GDP) y conversión alimenticia (CA) como indicadores del comportamiento productivo. Además, se incluyó el área del músculo *Longissimus dorsi* (AMLD) como indicador del desarrollo muscular, la digestibilidad de materia seca (DMS) como indicador del aprovechamiento digestivo de la dieta y la concentración ruminal de ácidos grasos volátiles totales (AGVT) como indicador de la fermentación ruminal. De cada estudio se extrajeron el número de repeticiones, medias de tratamiento y error estándar.

Los tamaños de efecto se expresaron como diferencias de medias ponderadas (DMP) y se estimaron mediante modelos de efectos aleatorios utilizando el paquete metafor del software estadístico R (Viechtbauer, 2010). Este procedimiento permitió integrar cuantitativamente las diferencias observadas entre los tratamientos suplementados con GAA y sus respectivos controles. Se consideró que el efecto de la suplementación era estadísticamente significativo cuando $p \leq 0.05$.

Resultados y discusión

La suplementación dietética con GAA incrementó el CMS en 0.039 kg/d ($p = 0.004$) y el GDP en 0.014 kg/d ($p < 0.001$), mientras que disminuyó la CA en 0.224 kg/kg ($p = 0.005$). Asimismo, el AMLD aumentó en 2.750 cm² ($p < 0.001$). El incremento del consumo y crecimiento, acompañado de una menor cantidad de alimento requerida por unidad de ganancia, sugiere que el GAA favorece tanto la disponibilidad de nutrientes como su utilización para el crecimiento. Respuestas productivas favorables también han sido observadas en corderos suplementados con GAA (López-Aguirre et al., 2025).

Cuadro 1. Comportamiento productivo de corderos suplementados con ácido guanidinoacético.

Parámetro	N	Media del control (DE)	DMP (95 % IC)	Valor p
CMS, kg/d	11	1.180 (0.227)	0.039 (0.013; 0.066)	0.004
GDP, kg/d	11	0.215 (0.063)	0.014 (0.009; 0.019)	<0.001
CA, kg/kg	11	6.26 (2.11)	−0.224 (−0.378; −0.069)	0.005
DMS	4	73.77 (5.37)	1.721 (1.186; 2.257)	<0.001
AGVT	4	86.06 (6.63)	5.634 (3.294; 7.974)	<0.001
AMLD	4	18.744 (5.191)	2.750 (1.970; 3.530)	<0.001

N: número de artículos; DE: desviación estándar; DMP: diferencias de medias ponderadas entre tratamientos suplementados con ácido guanidinoacético y control; IC: intervalo de confianza de la DMP; CMS: consumo diario de alimento; GDP: ganancia diaria de peso; CA: conversión alimenticia; DMS: digestibilidad de materia seca; AGVT: ácidos grasos volátiles totales; AMLD: área del músculo *Longissimus dorsi*.

La suplementación con GAA incrementó la DMS en 1.721 puntos porcentuales ($p < 0.001$) y la concentración ruminal de AGVT en 5.634 mM ($p < 0.001$). Estas respuestas son consistentes con un mayor aprovechamiento digestivo y fermentativo de la dieta, lo que podría contribuir a explicar parcialmente el incremento de GDP y la reducción de CA. En bovinos suplementados con GAA también se han reportado mejoras en la digestibilidad de nutrientes y modificaciones favorables de la fermentación ruminal (Yi et al., 2024).

Una mayor utilización digestiva de la materia seca puede favorecer la disponibilidad de nutrientes para el metabolismo y crecimiento. Además, la suplementación con GAA se ha asociado con una mayor síntesis de proteína microbiana ruminal en corderos (Ren et al., 2022), lo que podría aumentar el suministro posruminal de proteína microbiana. De esta manera, los cambios digestivos y fermentativos observados proporcionan mecanismos plausibles para explicar parte de la mejora en la eficiencia productiva.

El incremento del AMLD indica un efecto favorable del GAA sobre el desarrollo muscular. Esta respuesta podría relacionarse con su función como precursor de creatina y con la participación de esta última en el metabolismo energético del músculo. En corderos suplementados con GAA se han reportado incrementos de la masa muscular y modificaciones relacionadas con el metabolismo y deposición de proteína muscular (Li et al., 2022). Por lo tanto, el mayor AMLD podría reflejar una combinación de mejor disponibilidad de nutrientes y utilización energética a nivel muscular.

En conjunto, los resultados muestran una respuesta coherente entre aprovechamiento de la dieta y comportamiento productivo. El incremento de DMS y AGVT, junto con la función del GAA en el metabolismo de la creatina, proporciona mecanismos fisiológicos plausibles para explicar el aumento de GDP y AMLD y la reducción de CA (Zhang et al., 2022).

Concusiones

La suplementación dietética con ácido guanidinoacético mejora el comportamiento productivo de los corderos al incrementar el consumo de materia seca y la ganancia diaria de peso y, al mismo tiempo, reducir la conversión alimenticia. Asimismo, favorece la digestibilidad de la materia seca, la concentración ruminal de ácidos grasos volátiles totales y el desarrollo muscular. En conjunto, estos resultados respaldan su potencial como aditivo nutricional para mejorar la eficiencia productiva de corderos.

Referencias

Jin, H., Z. Du, X. Fan, L. Qin, W. Liu, Y. Zhang, J. Ren, C. Ye & Q. Liu. (2024). Effect of guanidinoacetic acid on production performance, serum biochemistry, meat quality and rumen fermentation in Hu sheep. Animals, 14, 2052.

Li, X., X. Liu, P. Song, J. Zhao, J. Zhang & J. Zhao. (2022). Skeletal muscle mass, meat quality and antioxidant status in growing lambs supplemented with guanidinoacetic acid. Meat Science, 192, 108906.

Liu, C., C. Wang, J. Zhang, Q. Liu, G. Guo, W. J. Huo, C. X. Pei, L. Chen & Y. L. Zhang. (2021). Guanidinoacetic acid and betaine supplementation have positive effects on growth performance, nutrient digestion and rumen fermentation in Angus bulls. Animal Feed Science and Technology, 276, 114923.

López-Aguirre, D., J. Hernández-Meléndez, J. F. Vázquez-Armijo, L. Y. Peña-Avelino & J. Alva-Pérez. (2025). Effect of guanidinoacetic acid and zilpaterol hydrochloride feed additions on lambs' productive performance, carcass characteristics, and blood chemistry. Animals, 15, 1692.

O'Dea, R. E., M. Lagisz, M. D. Jennions, J. Koricheva, D. W. A. Noble, T. H. Parker, J. Gurevitch, M. J. Page, G. Stewart, D. Moher, et al. (2021). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses in Ecology and Evolutionary Biology: A PRISMA extension. Biological Reviews, 96, 1695–1722.

Ren, G., X. Hao, X. Zhang, S. Liu & J. Zhang. (2022). Effects of guanidinoacetic acid and betaine on growth performance, energy and nitrogen metabolism, and rumen microbial protein synthesis in lambs. Animal Feed Science and Technology, 292, 115402.

Viechtbauer, W. (2010). Conducting meta-analyses in R with the metafor package. Journal of Statistical Software, 36, 1–48.

Yi, S., S. Hu, J. Wang, A. Abudukelimu, Y. Wang, X. Li, H. Wu, Q. Meng & Z. Zhou. (2024). Effect of guanidinoacetic acid supplementation on growth performance, rumen fermentation, blood indices, nutrient digestion, and nitrogen metabolism in Angus steers. Animals, 14, 401.

Zhang, S., C. Zang, J. Pan, C. Ma, C. Wang, X. Li, W. Cai & K. Yang. (2022). Effects of dietary guanidinoacetic acid on growth performance, guanidinoacetic acid absorption and creatine metabolism of lambs. PLoS ONE, 17, e0264864.

MICROBIOTA RUMINAL DE CORDEROS SUPLEMENTADOS CON UNA MEZCLA HERBAL

José F. Orzuna-Orzuna[1,*], María E. de la Torre-Hernández[2], Germán D. Mendoza-Martínez[3], Alejandro Lara-Bueno[4]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo C.P. 35230, Durango, México. [2]SECIHTI Programa de Investigadoras e Investigadores por México--Universidad Autónoma Metropolitana—Xochimilco, Coyoacán C.P. 04960, Ciudad de México, México. [3]Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Coyoacán C.P. 04960, Ciudad de México, México. [4]Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo C.P. 56230, Estado de México, México. * Autor para correspondencia: jorzunao@chapingo.mx

Introducción

La microbiota ruminal constituye un ecosistema complejo integrado por bacterias, arqueas, protozoarios y hongos que participan en la degradación de los componentes de la dieta y generación de metabolitos utilizados por el hospedador. Particularmente, las bacterias intervienen en la degradación de carbohidratos estructurales y no estructurales y en la producción de ácidos grasos volátiles (AGV), una fuente importante de energía para los rumiantes (Firkins & Mitchell, 2023). La composición de la comunidad microbiana del rumen responde además a las características de la dieta y a la especialización metabólica de diferentes grupos bacterianos en la utilización de nutrientes (Deusch et al., 2017).

Los aditivos fitogénicos han recibido creciente atención como herramientas nutricionales para modular el ambiente ruminal. Sus metabolitos secundarios pueden modificar selectivamente poblaciones microbianas y procesos fermentativos, aunque la magnitud de la respuesta depende de la fuente vegetal, composición química, dosis y dieta basal (Ahmed *et* al., 2024). En este sentido, se ha documentado que diferentes aditivos fitogénicos pueden modificar la estructura de las comunidades bacterianas y alterar rutas relacionadas con la fermentación ruminal (Wang et al., 2024).

Entre los productos fitogénicos se encuentra BioCholine®, una mezcla herbal que aporta fosfatidilcolina y otros compuestos derivados de especies vegetales. En ovinos, su suplementación ha modificado indicadores de actividad microbiológica y el perfil de fermentación ruminal, incluida la concentración de propionato (Leal et al., 2021). Sin embargo, la evidencia conjunta disponible indica que las respuestas de los AGV, nitrógeno amoniacal (NH_3-N) y digestibilidad no son uniformes entre estudios (Mendoza-Martínez et al., 2024).

La secuenciación del gen 16S rRNA permite caracterizar la comunidad microbiana y determinar la abundancia relativa de grupos relacionados con funciones fermentativas (Cañaveral-Martínez et al., 2026). Familias como Prevotellaceae, Ruminococcaceae y Lachnospiraceae participan en la utilización de carbohidratos y fibra y se relacionan con la producción de AGV (Huws et al., 2018). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de una mezcla herbal sobre la abundancia relativa de familias bacterianas ruminales en corderos de engorda.

Materiales y métodos

El estudio fue realizado en la Granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en Texcoco, Estado de México, México (19º 30′ 45″ latitud norte, 98º 52′ 47″ longitud oeste y una altitud de 2250 msnm). Se utilizaron 18 corderos de la raza Pelibuey con 23.61±0.57 kg de peso vivo inicial y aproximadamente cuatro meses de edad. Los corderos fueron colocados en corrales individuales de 2 m^2, los cuales tenían comedero, bebedero y estaban techados completamente. Los corderos se distribuyeron aleatoriamente dentro de dos tratamientos, los cuales consistieron en dieta basal sin mezcla herbal (CON) y dieta basal adicionada con 5.0 g/kg MS de mezcla herbal (MH). El aditivo fitogénico utilizado fue BioCholine® (Nuproxa S. de R.L. de C.V., Querétaro, México), el cual es un producto comercial compuesto por partes vegetales de *Andrographis paniculata* y *Azadirachta indica*. De acuerdo con la etiqueta del fabricante, este producto está estandarizado para contener 16 g de fosfatidilcolina por kilogramo de producto.

Los animales se adaptaron durante 10 días a la dieta basal y posteriormente se alimentaron con las dietas experimentales durante 49 días. Durante la fase de adaptación, los corderos fueron desparasitados con ivermectina y se les administró una inyección intramuscular de vitaminas ADE (Laboratorios Bayer®, Ciudad de México, México). Los corderos recibieron una dieta de engorda compuesta por 30.4 % de paja de triticale, 8.1 % de harina de soya, 43.9 % de maíz molido, 7.1 % de salvado de trigo, 7.4 % de gluten de maíz, 2.3 % de grasa protegida, 0.3 % de carbonato de calcio, 0.5 % de sal y 0.5 % de premezcla mineral (toda la composición es en base seca), la cual fue formulada para obtener ganancias diarias de peso de 300 g (NRC, 2007).

El día 49 del periodo experimental se recolectaron 50 mL de líquido ruminal mediante sonda esofágica, cuatro horas después de la alimentación. El primer volumen de líquido ruminal obtenido se descartó para minimizar la contaminación con saliva y el líquido se filtró a través de una doble capa de gasa. Para el análisis metagenómico, se conservaron por triplicado alícuotas de 10 mL a −80 °C hasta su procesamiento. El ADN metagenómico se extrajo mediante el kit ZymoBIOMICS® y su concentración y pureza se determinaron con un NanoDrop 1000. Posteriormente, alícuotas de 25 µL de ADN fueron secuenciadas en una plataforma Illumina® MiSeq™, amplificando la región V3–V4 del gen 16S rRNA mediante el kit Quick-16S™ NGS. Las variantes de secuencia de amplicones (ASVs) se obtuvieron a partir de las lecturas crudas mediante DADA2 (v1.36.0), que también permitió eliminar las secuencias quiméricas. Finalmente, la asignación taxonómica se realizó mediante Uclust en QIIME v1.9.1 utilizando la base de datos de Zymo Research como referencia, y la composición microbiana se expresó como abundancia relativa (%) de los taxones identificados (Cañaveral-Martínez et al., 2026).

Los datos fueron analizados mediante el procedimiento PROC GLM del software estadístico SAS (SAS, 2017). Las medias de mínimos cuadrados por tratamiento se obtuvieron con el procedimiento LSMEANS. La comparación múltiple de medias se realizó con la prueba de Tukey y se declararon diferencias significativas con $p \leq 0.05$.

Resultados y discusión

La suplementación con la mezcla herbal no modificó significativamente ($p > 0.05$) la abundancia relativa de las siete familias microbianas evaluadas (Cuadro 1). No obstante, se observaron variaciones numéricas de diferente magnitud, las cuales podrían indicar modificaciones selectivas de determinados grupos bacterianos, aunque deben interpretarse con cautela ante la ausencia de significancia estadística. Esta variabilidad concuerda con la respuesta heterogénea descrita para los aditivos fitogénicos, cuyos efectos sobre la microbiota dependen de su composición, concentración de compuestos bioactivos, dosis y dieta basal (Ahmed et al., 2024).

Cuadro 1. Microbiota ruminal de corderos suplementados con una mezcla herbal.

Familia microbiana	Control	Mezcla herbal	EEM	Valor p
Bacteroidaceae	0.80	1.30	0.123	0.30
Prevotellaceae	5.48	2.39	0.129	0.70
Lactobacillaceae	18.30	11.61	0.210	0.80
Leuconostocaceae	0.25	0.97	0.078	0.21
Lachnospiraceae	4.90	8.01	0.121	0.49
Ruminococcaceae	2.79	2.20	0.290	0.28
Acidaminococcaceae	0.33	0.37	0.249	0.46

EEM: error estándar de la media.

Entre los principales cambios numéricos destacaron los aumentos de Leuconostocaceae (+288 %), Bacteroidaceae (+69.4 %) y Lachnospiraceae (+64.0 %). El incremento de Lachnospiraceae resulta de interés debido a que diversos integrantes de esta familia participan en la degradación de carbohidratos complejos y generación de productos finales de la fermentación (Deusch et al., 2017). Particularmente, algunos miembros de Lachnospiraceae se relacionan con la producción ruminal de butirato (Si et al., 2023).

En contraste, Prevotellaceae, Lactobacillaceae y Ruminococcaceae disminuyeron numéricamente en 56.7, 36.7 y 23.9%, respectivamente. Prevotellaceae comprende microorganismos capaces de utilizar diversos sustratos ruminales, mientras que integrantes de Ruminococcaceae participan en la degradación de polisacáridos estructurales (Huws et al., 2018). Estas poblaciones pueden responder a intervenciones dietarias y compuestos bioactivos de origen vegetal (Wang et al., 2024). No obstante, las reducciones observadas no fueron significativas y la diversidad funcional dentro de cada familia impide asociarlas directamente con modificaciones específicas de la fermentación.

Acidaminococcaceae presentó un incremento numérico de 12.5 %. Algunos integrantes de esta familia, particularmente *Succiniclasticum*, utilizan succinato para producir propionato, estableciendo una conexión funcional con las rutas de formación de este AGV (Deusch et al., 2017). Sin embargo, la ausencia de significancia estadística indica que esta familia permaneció relativamente estable frente a la suplementación con la mezcla herbal.

En conjunto, los resultados contrastan parcialmente con estudios que han documentado efectos de la BioCholine® sobre la fermentación ruminal. Leal et al. (2021) observaron modificaciones en indicadores de actividad microbiológica y en el perfil fermentativo de corderas suplementadas con BioCholine®. Sin embargo, un metaanálisis posterior mostró que las respuestas fermentativas no son uniformes y que algunos experimentos no detectaron modificaciones en AGV, NH_3-N o digestibilidad (Mendoza-Martínez et al., 2024). Asimismo, se han observado respuestas productivas dependientes del nivel de inclusión de BioCholine® en corderos (Orzuna-Orzuna et al., 2024).

La abundancia relativa obtenida mediante secuenciación del gen 16S rRNA caracteriza principalmente la estructura taxonómica de la comunidad microbiana del rumen y no demuestra directamente su actividad metabólica (Huws et al., 2018). Por ello, integrar las abundancias microbianas con las concentraciones de AGV, amoníaco y lactato permitiría determinar con mayor precisión la relevancia funcional de las variaciones observadas.

Conclusiones

La suplementación con 5.0 g/kg MS de la mezcla herbal BioCholine® no modifica la abundancia relativa de las familias microbianas evaluadas en corderos. No obstante, se observaron variaciones numéricas principalmente en Leuconostocaceae, Bacteroidaceae, Lachnospiraceae, Prevotellaceae y Lactobacillaceae. Debido a la participación de algunos integrantes de estas familias en procesos fermentativos, la integración de la microbiota con los metabolitos ruminales permitirá determinar con mayor precisión la relevancia funcional de estos cambios.

Referencias

Ahmed, M. G., E. A. Elwakeel, S. Z. El-Zarkouny & A. A. Al-Sagheer. (2024). Environmental impact of phytobiotic additives on greenhouse gas emission reduction, rumen fermentation manipulation, and performance in ruminants: An updated review. Environmental Science and Pollution Research, 31(26), 37943–37962.

Cañaveral-Martínez, U. R., F. X. Plata-Pérez, A. Gloria-Trujillo, N. Torres-Salado, P. A. Hernández-García, I. Martínez-Cortés, M. M. Crosby-Galván, M. E. de la Torre-Hernández & G. D. Mendoza-Martínez. (2026). Effect of coconut oil supplementation on productive performance, fermentation dynamics, ruminal microbiota, and gene expression in grazing calves. Ruminants, 6(2), 44.

Deusch, S., A. Camarinha-Silva, J. Conrad, U. Beifuss, M. Rodehutscord & J. Seifert. (2017). A structural and functional elucidation of the rumen microbiome influenced by various diets and microenvironments. Frontiers in Microbiology, 8, 1605.

Firkins, J. L. & K. E. Mitchell. (2023). Invited review: Rumen modifiers in today's dairy rations. Journal of Dairy Science, 106(5), 3053–3071.

Huws, S. A., C. J. Creevey, L. B. Oyama, I. Mizrahi, S. E. Denman, M. Popova, R. Muñoz-Tamayo, E. Forano, S. M. Waters, M. Hess, I. Tapio, H. Smidt, S. J. Krizsan, D. R. Yáñez-Ruiz, A. Belanche, L. Guan, R. J. Gruninger, T. A. McAllister, C. J. Newbold, R. Roehe, R. J. Dewhurst, T. J. Snelling, M. Watson, G. Suen, E. H. Hart, A. H. Kingston-Smith, N. D. Scollan, R. M. do Prado, E. J. Pilau, H. C. Mantovani, G. T. Attwood, J. E. Edwards, N. R. McEwan, S. Morrisson, O. L. Mayorga, C. Elliott & D. P. Morgavi. (2018). Addressing global ruminant agricultural challenges through understanding the rumen microbiome: Past, present, and future. Frontiers in Microbiology, 9, 2161.

Leal, K. W., D. F. Alba, M. G. Cunha, H. Marcon, F. C. Oliveira, R. Wagner, A. D. Silva, T. F. Lopes, L. S. B. de Jesus, M. R. C. Schetinger, C. A. Zotti, J. D. Kessler, M. Vedovatto & A. S. Da Silva. (2021). Effects of biocholine powder supplementation in ewe lambs: Growth, rumen fermentation, antioxidant status, and metabolism. Biotechnology Reports, 29, e00580.

Mendoza-Martínez, G. D., J. F. Orzuna-Orzuna, J. A. Roque-Jiménez, A. Gloria-Trujillo, J. A. Martínez-García, N. Sánchez-López, P. A. Hernández-García & H. A. Lee-Rangel. (2024). A polyherbal mixture with nutraceutical properties for ruminants: A meta-analysis and review of BioCholine Powder. Animals, 14(5), 667.

NRC (National Research Council). (2007). Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and New World camelids. The National Academies Press, Washington, DC, 362 p.

Orzuna-Orzuna, J. F., A. Lara-Bueno, A. Gloria-Trujillo, G. D. Mendoza-Martínez, L. A. Miranda-Romero & P. A. Hernández-García. (2024). Growth performance, dietary energetics, blood metabolites, carcass traits, meat quality, and gene expression of lambs supplemented with a polyherbal phytogenic additive. Veterinary Sciences, 11(11), 520.

Si, B., K. Liu, G. Huang, M. Chen, J. Yang, X. Wu, N. Li, W. Tang, S. Zhao, N. Zheng, Y. Zhang & J. Wang. (2023). Relationship between rumen bacterial community and milk fat in dairy cows. Frontiers in Microbiology, 14, 1247348.

Wang, J., L. Deng, M. Chen, Y. Che, L. Li, L. Zhu, G. Chen & T. Feng. (2024). Phytogenic feed additives as natural antibiotic alternatives in animal health and production: A review of the literature of the last decade. Animal Nutrition, 17, 244–264.

GERMINACIÓN DE PASTO BANDERITA (*Bouteloua curtipendula*) EN DIFERENTES SUSTRATOS ORGÁNICOS E INOCULACIÓN BACTERIANA

Martha Verónica Gomez-Leyva[1,2], Manuel Hernández-Fortis[1], Pablo A. Domínguez-Martínez[2], Alfonso Andrade-Sifuentes[1], Saúl Santana-Espinoza[3], Antonio Anaya-Salgado[3], Jorge A. Maldonado-Jáquez[3]*

[1]TecNM-Instituto Tecnológico de Torreón, Maestría en Ciencias en Suelo, 27170, Torreón, Coahuila; [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana, 34170, Durango, Durango, México; [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, 27440, Matamoros, Coahuila, México. *Autor para correspondencia: maldonado.jorge@inifap.gob.mx

Introducción

El pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*) es una gramínea nativa de interés para los sistemas forrajeros y la recuperación de pastizales en regiones semiáridas (Molina-Salazar et al., 2024). Su establecimiento a partir de semilla depende de la calidad del propágulo, de las condiciones ambientales y del sustrato durante las primeras etapas de desarrollo. En semillas de pastos, la germinación puede variar con el tamaño del cariópside, la presencia de estructuras accesorias y el tiempo de almacenamiento, lo que evidencia que la calidad fisiológica del material de siembra debe considerarse al interpretar la respuesta germinativa (Quero-Carrillo et al., 2017).

En *B. curtipendula*, también se ha documentado que la respuesta de establecimiento es sensible a las condiciones térmicas. Un estudio reciente con gramíneas del Desierto Chihuahuense reportó para esta especie un máximo de germinación entre 22 y 26 °C y una disminución progresiva cuando se presentan temperaturas posteriores a 30 °C, lo que subraya la importancia de controlar o caracterizar el ambiente durante las pruebas de germinación (Gutiérrez-Gutiérrez et al., 2026). Asimismo, Álvarez-Vázquez et al. (2023) mostraron que la composición del sustrato modifica el desarrollo de plántulas de *B. curtipendula* y que pueden emplearse materiales orgánicos pre-composteados en sistemas de producción de planta.

De igual manera, el componente microbiológico constituye otra fuente potencial de variación. Al respecto, Hobbs et al. (2026), encontraron que la perturbación de la microbiota del suelo mediante esterilización redujo el establecimiento y el crecimiento inicial de *B. curtipendula*, y observaron diferencias en la comunidad microbiana asociada a las plantas. Aunque ese trabajo no evaluó la misma bacteria, ni el mismo procedimiento de desinfección utilizado, sus resultados respaldan la necesidad de considerar que la interacción semilla/sustrato/microorganismo puede influir en su establecimiento. En este contexto, el objetivo fue evaluar la germinación de *B. curtipendula* var. 1-5 ZAC en cinco sustratos y determinar si la inoculación de la semilla con una bacteria aislada de pasto pegarropa (*Setaria adhaerens*) modifica la respuesta de germinación durante los primeros 10 días posteriores a la siembra.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental La Laguna, en Matamoros, Coahuila. Se utilizó semilla de pasto banderita (*B. curtipendula*) var. 1-5 ZAC. Las semillas fueron escarificadas y divididas en dos tratamientos: inoculadas y no inoculadas. La bacteria empleada para la inoculación fue aislada de pasto pegarropa (*Setaria adhaerens*) y se trata de un aislamiento que se encuentra en proceso de identificación, cultivada en medio Luria-Bertani durante 24 h a 35 °C con agitación constante; las semillas destinadas a inoculación fueron desinfectadas y posteriormente puestas en contacto con el caldo bacteriano en concentración 1×10^8 UFC/mL.

Se evaluaron cinco sustratos en proporción volumétrica de 80:20**.** Para los tratamientos con estiércol de caprino, ovino, equino y vermicompost, la mezcla estuvo constituida por 80 % de material orgánico y 20% de arena**.** El tratamiento testigo estuvo conformado por 80 % de arena y 20% de perlita**.** Los materiales orgánicos fueron acondicionados mediante tamizado, compostaje y solarización, según correspondió; la arena fue cribada y esterilizada con ácido sulfúrico de grado agrícola al 1 %. El experimento se estableció en macetas de polietileno con aproximadamente 100 g de sustrato, con cinco tratamientos de sustratos y dos condiciones de semilla, para un total de 10 combinaciones experimentales y 30 macetas por combinación. En cada maceta se sembraron de tres semillas. La germinación se determinó por conteo directo de plántulas diariamente en cada maceta, durante 10 días después de la siembra.

La siembra se realizó los días 7 y 8 de julio de 2026. Las macetas se cubrieron con plástico negro durante los primeros dos días y posteriormente se colocaron en una malla sombra donde se mantuvieron bajo riego de acuerdo con la capacidad de campo de los sustratos. La evaluación de la respuesta germinativa se realizó durante 10 días. Se realizó un ANOVA para un diseño factorial y comparación de medias con la prueba de Tukey (α=0.05) para conocer el efecto del sustrato en la germinación.

Resultados y discusión

Los porcentajes finales de germinación oscilaron entre 73.3 y 100 % para semilla inoculada, mientras que para semilla no inoculada la germinación fue menor, con valores entre 60 y 83.33% (Cuadro 1). En el tratamiento de inoculación, el sustrato de equino mostró el mayor valor ($p<0.05$) de germinación con el 100 %, al día 5 (Figura 1) y los sustratos caprino y testigo, presentaron los menores valores. Por su parte, en el tratamiento no inoculado, el sustrato de vermicompost mostró el mejor comportamiento ($p<0.05$) y mientras que el sustrato de ovino, mostró la más baja germinación.

Cuadro 1. Germinación de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*) en cinco sustratos y dos condiciones de inoculación.

Sustrato	Inoculada (%)	No inoculada (%)
Caprino	73.33^{c}	76.67^{b}
Ovino	83.33^{b}	60.00^{c}
Equino	100.0^{a}	70.00^{b}
Vermicompost	93.33^{b}	83.33^{a}
Testigo	73.33^{c}	73.33^{b}

Por otra parte, la germinación inicio al día 1 en los sustratos de Caprino y Ovino sin incoluación, asi como en el de vermicomposta con inoculación. Mientras que en equino, al tercer día germinó el 90 % de las semillas, completando el 100 % a los cinco días después de la siembra. No obstante, se empezaron a morir algunas plantas, y al final de la prueba sobrevivió el 93 % de ellas.

La comparación dentro de cada sustrato muestra una respuesta heterogénea a la inoculación. Esto indica que el efecto de la inoculación no fue uniforme entre sustratos: la respuesta positiva se concentró en los materiales orgánicos ovino, equino y vermicompost, mientras que, en caprino, la no inoculación presentó un valor ligeramente mayor y en el testigo no se observó diferencia.

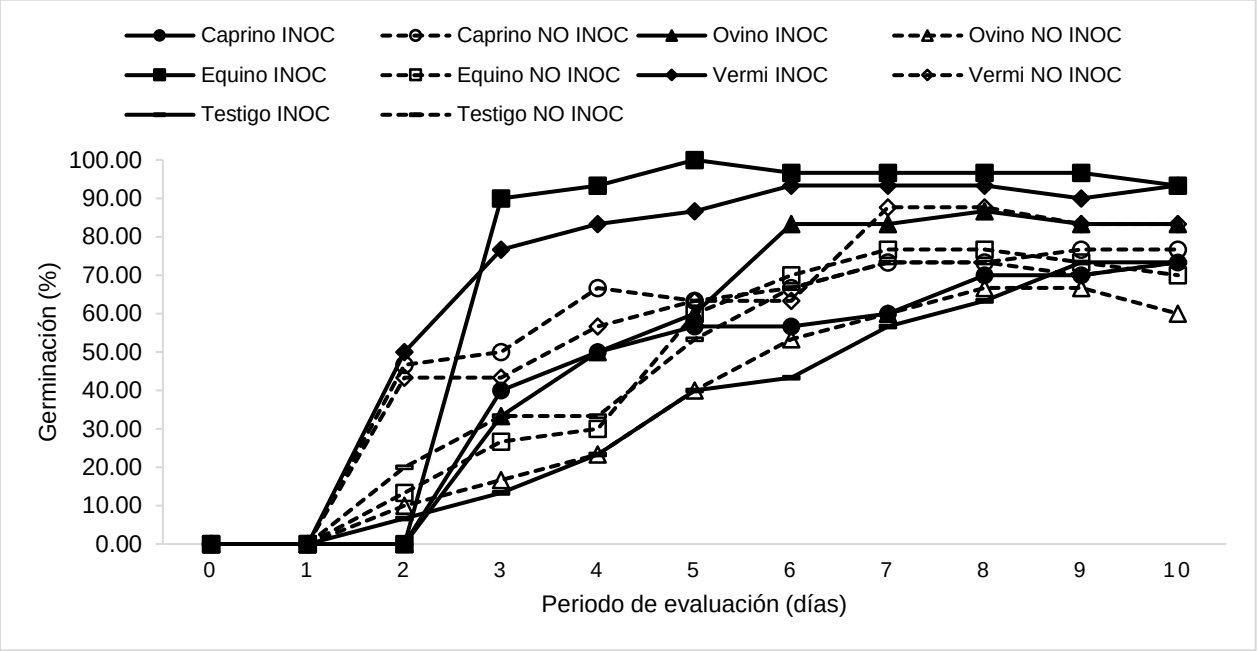


Figura 1. Curva de supervivencia de pasto banderita en cinco sustratos y dos condiciones de inoculación.

Tomando únicamente como descripción exploratoria el promedio de los cinco sustratos, la germinación fue de 83.33 % con inoculación y 72.67 % sin inoculación, una diferencia de 10.66 puntos porcentuales.

Desde la perspectiva del sustrato, los mayores porcentajes observados correspondieron a equino y vermicompost cuando la semilla fue inoculada. El comportamiento del vermicompost es consistente con la expectativa de que un material orgánico estabilizado puede constituir un ambiente favorable para el establecimiento.

En este sentido, Quero-Carrillo et al. (2017) documentaron una variación en germinación asociada con el tamaño del cariópside y el manejo de la diáspora, tal como se observa en nuestros resultados. Por otra parte, el componente microbiano merece especial atención. Hobbs et al. (2026) observaron que la esterilización del suelo afectó negativamente el establecimiento inicial de *B. curtipendula* y alteró la comunidad microbiana. En este sentido, tal vez esta respuesta se observó también en nuestro estudio, ya que la respuesta más baja se observó en el tratamiento testigo en el tratamiento de inoculación.

Los resultados también deben interpretarse como una evaluación de germinación y no de establecimiento agronómico. A este respecto, Álvarez-Vázquez et al. (2023) demostraron que la composición del sustrato puede afectar características posteriores de las plántulas de B. *curtipendula*, por lo que un tratamiento con alta germinación no necesariamente será el de mejor desempeño en altura, área foliar, biomasa o supervivencia después del trasplante. Por lo que este estudio debe interpretarse, solo como avances parciales, hasta que se incluyan otras variables como calidad del sustrato y respuesta agronómica en general.

Conclusiones

Bajo las condiciones del ensayo, la germinación final de *B. curtipendula* varió entre 60.0 y 100% entre las combinaciones de sustrato e inoculación, por lo que se sugiere una respuesta dependiente del sustrato, pero no permiten establecer mecanismos causales, hasta que se consideren factores como las características físicas y químicas de los sustratos, así como variables de crecimiento y sobrevivencia posteriores a la germinación.

Referencias

Álvarez-Vázquez, P., Quero-Carrillo, A. R., Rodríguez-Ortega, L. T., Velázquez-Martínez, M., Hernández-Guzmán, F. J., & Hernández-Reséndiz, E. J. (2023). Técnicas para crecimiento de plántulas de zacate banderita (Bouteloua curtipendula) en invernadero para trasplante. Revista Fitotecnia Mexicana, 46(3), 283–290. https://doi.org/10.35196/rfm.2023.3.283

Gutiérrez-Gutiérrez, O. G., Mata-González, R., Prado-Tarango, D. E., Rodríguez-Almeida, F. A., Rivero-Hernández, O., & Melgoza-Castillo, A. (2026). Germination Under elevated temperatures: A controlled experiment for Chihuahuan Desert grasses common in northern Mexico. Rangeland Ecology & Management, 107, 10–14. https://doi.org/10.1016/j.rama.2026.04.001

Hobbs, A., Ochoa-Rojas, D., Humphrey, C. E., Kyndt, J. A., & Moore, T. C. (2026). Soil microbiome perturbation impedes growth of Bouteloua curtipendula and increases relative abundance of soil microbial pathogens. PLOS ONE, 21(1), e0312218. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0312218

Molina-Salazar, C. Y., Morales-Nieto, C. R., Álvarez-Holguín, A., Corrales-Lerma, R., & Santellano-Estrada, E. (2024). Relación de la eficiencia fotosintética, características estomáticas y producción forrajera en poblaciones de pasto banderita. Revista Fitotecnia Mexicana, 47(2), 147–155. https://doi.org/10.35196/rfm.2024.2.147

Quero Carrillo, A. R., Hernández Guzmán, F. J., Pérez Rodríguez, P., Hernández Livera, A., García de los Santos, G., Landa Salgado, P., & Ramírez Sánchez, S. E. (2017). Germinación de cariopsides clasificados por tamaño y diasporas de cuatro pastos para temporal semiárido. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8(3), 489–502. https://doi.org/10.29312/remexca.v8i3.26

RENDIMIENTO DE CHORIZO DE CORDERO AL ADICIONAR NIVELES CRECIENTES DE SOYA

Jorge A. Maldonado-Jáquez[1]*, Juan José Figueroa-González[2], Antonio Anaya-Salgado[1], Blanca I. Sánchez-Toledano[2], Saúl Santana-Espinoza[1], Pablo A. Domínguez-Martínez[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna. 27440, Matamoros, Coahuila. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, 98500, Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México; [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana, 34170, Durango, Durango, México. *Autor para correspondencia: maldonado.jorge@inifap.gob.mx

Introducción

La diversificación de productos cárnicos constituye una alternativa tecnológica para incrementar el valor de la carne ovina y ampliar las posibilidades de comercialización más allá de la venta de animales en pie, o de carne fresca (Pethick et al., 2021). En particular, los productos procesados de ovino representan una vía de innovación porque permiten desarrollar presentaciones diferenciadas y aprovechar materias primas que pueden presentar menor aceptación comercial en fresco. Una revisión sobre productos procesados de carne de ovino y caprino señala que existe potencial para diversificar estos alimentos mediante embutidos, productos curados y otras presentaciones, aunque la calidad fisicoquímica, sensorial y la inocuidad deben considerarse de manera integral (Teixeira et al., 2020).

El empleo de proteínas de soya en productos cárnicos ha sido estudiado por sus propiedades tecnofuncionales, particularmente su capacidad de interacción con agua y grasa, emulsificación y formación de estructuras proteicas. Belloque et al. (2002) documentaron que las proteínas de soya se han utilizado como extensores cárnicos por razones funcionales, nutricionales y económicas. Estudios más recientes en sistemas de embutidos muestran que la incorporación de proteína de soya puede modificar la estructura proteica, la reología de la pasta y el comportamiento del agua durante el procesamiento (Sha et al., 2020). Asimismo, existe información que destaca que las proteínas vegetales pueden contribuir a la estabilidad de derivados cárnicos y a la formación de redes estructurales, aunque sus efectos dependen de la fuente proteica, concentración y condiciones de procesamiento (Zhu et al., 2026).

En este contexto, el presente trabajo evalúa el rendimiento de chorizo elaborado con carne de cordero y diferentes niveles de sustitución de la fracción cárnica por soya, como parte de una estrategia de diversificación de productos ovinos con potencial de aplicación para pequeños productores. El objetivo fue comparar el rendimiento obtenido con 0, 10, 20 y 30 % de incorporación de soya, y discutir su pertinencia tecnológica como criterio inicial para el desarrollo de un producto cárnico de mayor valor agregado.

Materiales y métodos

Se utilizó carne de cordero y de cerdo para la elaboración de chorizo crudo. La carne fue descongelada a 4 °C durante 24 h. Se establecieron cuatro niveles de sustitución de la fracción cárnica por soya texturizada: 0, 10, 20 y 30 %, los niveles de incorporación se establecieron antes de hidratar la soya. Se utilizaron 800 g de materia prima cárnica como base para cada formulación. Los tratamientos fueron: 100 % carne (control), 90 % carne + 10 % soya, 80 % carne + 20 % soya y 70 % carne + 30 % soya, para un total de ocho tratamientos considerando ambos tipos de carne.

El adobo se elaboró con 85 g de chile guajillo, 73 g de chile ancho, 2 g de chile de árbol, 2 g de ajo picado, 2 g de clavo de olor, 2 g de orégano, 2 g de comino, 1 g de laurel, 7.7 g de sal, 20 g de vinagre blanco y 2 g de pimienta molida. La carne se molió en un molino Torrey M-12 FS de ¾ HP (0.55 kW). La soya y los chiles secos se hidrataron por separado en agua a aproximadamente 90 °C durante 10 min. Posteriormente, la soya hidratada se lavó y se exprimió sucesivamente hasta obtener agua de lavado visualmente clara.

Los ingredientes acondicionados se mezclaron hasta obtener una masa homogénea. Las formulaciones se envasaron individualmente al vacío y se maduraron durante 24 h a 4 °C; después se congelaron a −18 °C hasta la realización de los análisis de calidad. El rendimiento se evaluó en función del nivel de soya empleado. Para este fin, se obtuvo la diferencia entre el peso final de la mezcla y el peso inicial de los ingredientes.

Para el análisis estadístico se aplicó un ANOVA en arreglo factorial 2 × 4 (dos tipos de carne × 4 niveles de soya) con tres repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió en tres lotes independientes por cada tratamiento. Los resultados se presentan como el cambio entre grupos respecto del grupo control. Además, se ajustó una regresión lineal entre porcentaje de soya y rendimiento. Dado que son resultados preliminares, no se incluyó en este análisis la interacción tipo de carne x nivel de soya, dichos resultados se incluirán en análisis posteriores.

Resultados y discusión

Los valores de rendimiento se muestran en el Cuadro 1. Al respecto, se observa un incremento gradual en el rendimiento, conforme incrementa el nivel de soya, con niveles de hasta 69% mayor rendimiento en la carne de cerdo y hasta 46% en la carne de cordero con 30% de inclusión de soya.

Cuadro 1. Rendimiento de chorizo según tipo de carne y nivel de sustitución por soya.

Tipo de carne	Soya (%)	Carne (%)	Rendimiento (g)	Cambio vs. control (%)
Cerdo	0	100	1090	
	10	90	1430	31.1[b]
	20	80	1448	32.8[b]
	30	70	1847	69.4[a]
Cordero	0	100	1230	
	10	90	1510	22.8[d]
	20	80	1636	33.0[c]
	30	70	1793	45.8[b]
	Valor de p			0.0114

Por otra parte, el análisis de regresión general generó la ecuación $\hat{Y} = 1190.34 + 20.514X$, donde Y corresponde al rendimiento (g) y X al nivel de soya (%). El coeficiente de determinación fue $R^2 = 0.8895$ ($p = 0.00044$).

Del mismo modo, la regresión para la carne de cerdo fue $\hat{Y} = 1110.68 + 22.878X$ ($R^2 = 0.9110$; $p = 0.0455$), mientras que la regresión para la carne de cordero fue $\hat{Y} = 1270.00 + 18.150X$ ($R^2 = 0.9677$; $p = 0.0163$). En este caso, se observa un mayor R^2 para la carne de cordero, lo que se puede traducir como un comportamiento más consistente; no obstante, se deberá validar este comportamiento con un mayor número de repeticiones. En este sentido, el comportamiento observado es tecnológicamente plausible, ya que las proteínas de soya poseen propiedades de retención de agua, emulsificación y gelificación que pueden favorecer la estructura de los productos cárnicos y contribuir al rendimiento final (Belloque et al., 2002; Zhu et al., 2026).

En embutidos, la incorporación de proteína de soya también puede modificar la reología de la pasta y las interacciones entre proteínas, aspectos relacionados con la formación de la matriz del producto (Sha et al., 2020). Por tanto, el incremento observado puede estar asociado con una mayor incorporación y retención de agua y con la participación de la proteína vegetal en la estructura de la matriz.

No obstante, el rendimiento por sí solo no permite definir una formulación óptima. La calidad de la carne ovina comprende atributos comerciales, organolépticos, nutricionales, tecnológicos y de inocuidad, y pueden existir compromisos entre ellos (Prache et al., 2022). En productos procesados de ovino, la aceptación sensorial y la seguridad microbiológica son componentes esenciales para determinar su viabilidad comercial (Teixeira et al., 2020). Por ello, antes de recomendar un nivel de sustitución para transferencia tecnológica, se requiere complementar estos resultados con caracterización sensorial, composición proximal, capacidad de retención de agua, estabilidad de la emulsión, textura, color, pH, actividad de agua e indicadores de inocuidad.

Desde la perspectiva de pequeños productores, los resultados respaldan la pertinencia de continuar investigando la elaboración de chorizo de cordero como producto de valor agregado. Sin embargo, la selección del nivel de soya debe considerar simultáneamente rendimiento, aceptación y calidad tecnológica, además de costos y disponibilidad de materias primas. En este contexto, y para fines del presente estudio, el aumento del rendimiento constituye, un criterio inicial de desarrollo y no una demostración de viabilidad económica, ni de aceptación sensorial (Teixeira et al., 2020).

Conclusiones

La sustitución creciente de carne por soya se relacionó con un aumento del rendimiento del chorizo en ambas especies. Aunque se observa un mayor rendimiento en carne de cerdo, el comportamiento de la carne de cordero, sustenta la pertinencia de continuar el desarrollo de este producto como producto de valor agregado para diversificar la oferta de carne ovina. Sin embargo, el nivel de sustitución no debe definirse únicamente por rendimiento: su selección requiere integrar aceptación sensorial, propiedades fisicoquímicas, inocuidad y viabilidad económica.

Referencias

Belloque, J., García, M. C., Torre, M., & Marina, M. L. (2002). Analysis of soyabean proteins in meat products: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 42(5), 507–532. https://doi.org/10.1080/20024091054238

Pethick, D.W., Hocquette, J.F., Scollan, N.D., & Dunshea, F.R. (2021). Review: Improving the nutritional, sensory and market value of meat productos from sheep and cattle, Animal, 15: 100356. https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100356

Prache, S., Schureurs, N., Guillier, L. (2022). Review: Factors affecting sheep carcass and meat quality attributes. Animal, 16(Suppl. 1), 100330. https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100330

Sha, L., Liu, S., & Liu, D. (2020). Effects of soybean protein isolate on protein structure, batter rheology, and water migration in emulsified sausage. Journal of Food Processing and Preservation, 44(9), e14711. https://doi.org/10.1111/jfpp.14711

Teixeira, A., Silva, S., Guedes, C., & Rodrigues, S. (2020). Sheep and goat meat processed products quality: A review. Foods, 9(7), 960. https://doi.org/10.3390/foods9070960

Zhu, Z., Yang, Y., Wang, H., Zhang, X., Li, G., & Huang, M. (2026). Beyond animal proteins: Insights into the functionality, quality impact, and innovation trends of plant-based proteins in emulsified sausages. Food Research International, 230, 118556. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2026.118556

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE BOVINOS PARA CARNE SUPLEMENTADOS CON UNA MEZCLA HERBAL

Ángel de J. Pérez-López*, José F. Orzuna-Orzuna, José S. Medel-Rosales, Alexander García-Felipe, Héctor I. Alvarado-Cordero, Yubana I. Nuñez-Llanas.

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo C.P. 35230, Durango, México.
*Autor de correspondencia: perezadjpling@gmail.com

Introducción

Los aditivos fitogénicos contienen metabolitos secundarios, como compuestos fenólicos, terpenoides y alcaloides, que han despertado interés como estrategias nutricionales para favorecer la salud y productividad animal (Greathead, 2003). Entre ellos, los terpenoides constituyen componentes bioactivos importantes de diversos extractos vegetales y aceites esenciales utilizados en la alimentación de rumiantes (Wang et al., 2024). Estos compuestos pueden interactuar con los microorganismos ruminales y modificar procesos fermentativos relacionados con el aprovechamiento de energía y nutrientes (Calsamiglia et al., 2007; Benchaar et al., 2008). Sin embargo, sus efectos dependen de la naturaleza de los compuestos, dosis, dieta basal y condiciones productivas (Ahmed et al., 2024). En bovinos para carne, metaanálisis recientes muestran respuestas variables de los aceites esenciales sobre consumo, ganancia de peso y eficiencia alimenticia (Orzuna-Orzuna et al., 2022; Fernandes et al., 2024; Ferreira et al., 2024). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de una mezcla herbal estandarizada para contener 1 % de terpenoides sobre el comportamiento productivo, área del músculo *Longissimus dorsi* y espesor de grasa dorsal de bovinos para carne.

Materiales y métodos

El estudio fue realizado en la posta zootécnica de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas en Bermejillo, Durango, México. Este lugar se ubica entre los 101° 41’ y 104° 61’ longitud oeste y 24° 22’ y 26° 23’ latitud norte, a una altitud media de 1,100 msnm, caracterizada por un clima desértico (Medina et al., 2005).

Se utilizaron ocho toretes Charolais de 18 a 24 meses de edad, con peso vivo inicial promedio de 390.62 ± 8.75 kg, distribuidos completamente al azar en dos tratamientos con cuatro animales por tratamiento. Los animales del tratamiento control (TC) recibieron 200 g/d de harina de maíz como vehículo, mientras que los del tratamiento con mezcla herbal (TMH) recibieron 7 g/d de Animunin®, mezcla herbal estandarizada para contener 1 % de terpenoides, incorporados en 200 g/d de harina de maíz. Esta dosis proporcionó aproximadamente 70 mg de terpenoides/animal/día. El periodo experimental tuvo una duración de cuatro semanas y los animales tuvieron acceso ad libitum al alimento y agua. Los bovinos recibieron una dieta formulada de acuerdo con las recomendaciones de NASEM (2016) para una ganancia diaria de peso estimada de 1.3 kg/animal, con una relación forraje de 50:50 en base materia seca, 14.0 % de proteína cruda, 1.75 Mcal/kg MS de energía neta de mantenimiento y 1.10 Mcal/kg MS de energía neta de ganancia. Los tratamientos experimentales se administraron diariamente a las 07:00 h, mientras que el alimento se ofreció en dos asignaciones (50 % cada asignación), a las 07:30 y 17:30 h.

Se registró el peso vivo de todos los toretes los días 0, 7, 14, 21 y 28 del periodo experimental para calcular la ganancia diaria de peso (GDP, kg/d). El consumo de alimento se midió diariamente como diferencia del alimento ofrecido menos el rechazado (CDA, kg/d), mientras que la conversión alimenticia (CA) se calculó dividiendo el CDA entre la GDP. El CMS se midió por corral y no por bovino, lo cual impidió estimar errores estándar y valores de significancia para esta variable y para CA. El área del músculo *Longissimus dorsi* (AMLD) y el espesor de grasa dorsal (EGD) se midieron con un transductor de 7.5 MHz (Silva et al., 2005).

Los datos fueron analizados con el procedimiento PROC MIXED del software estadístico SAS. Las medias de mínimos cuadrados por tratamiento se obtuvieron con el procedimiento LSMEANS. La comparación múltiple de medias se realizó con la prueba de Tukey y se declararon diferencias significativas con $p \leq 0.05$.

Resultados y discusión

La suplementación con la mezcla herbal estandarizada en terpenoides no modificó ($p > 0.05$) el PVF ni el AMLD, mientras que el EGD tampoco alcanzó significancia estadística ($p = 0.085$). En contraste, la GDP aumentó de 1.05 a 1.54 kg/d ($p = 0.018$), equivalente a un incremento de 46.67 %. El CMS fue similar entre TC y TMH (9.71 y 9.73 kg/d, respectivamente), mientras que la CA disminuyó numéricamente de 9.24 a 6.31 kg/kg, equivalente a una reducción de 31.71 %.

Cuadro 1. Comportamiento productivo de bovinos para carne suplementados con una mezcla herbal

Variable	TC	TMH	EEM	Valor p
Peso vivo inicial (PVI), kg	389.00	392.25	41.86	0.964
Peso vivo final (PVF), kg	423.00	440.75	40.05	0.764
Ganancia diaria de peso (GDP), kg/d	1.05	1.54	0.11	0.018
Consumo de materia seca (CMS), kg/d	9.71	9.73	-	-
Conversión alimenticia (CA), kg/kg	9.24	6.31	-	-
AMLD, cm^2	51.51	56.94	2.86	0.141
EGD, mm	3.33	4.60	0.43	0.085

TC: tratamiento control; TMH: tratamiento suplementado con mezcla herbal; AMLD: área del músculo Longissimus dorsi; EGD: espesor de la grasa dorsal. EEM: error estándar de la media.

La mayor GDP sin un incremento concomitante del CMS sugiere un posible mejor aprovechamiento de los nutrientes consumidos. Los terpenoides presentes en aceites esenciales y otros productos fitogénicos poseen actividad antimicrobiana que puede modificar selectivamente poblaciones microbianas y procesos fermentativos del rumen (Calsamiglia et al., 2007; Patra & Yu, 2012). Estas modificaciones pueden favorecer determinados patrones de fermentación y, dependiendo de la dosis y dieta, contribuir a mejorar la utilización de nutrientes (Benchaar et al., 2008; Ahmed et al., 2024). En concordancia con los resultados obtenidos, Orzuna-Orzuna et al. (2022) observaron mediante metaanálisis que la suplementación con aceites esenciales incrementó la GDP, peso vivo final y eficiencia alimenticia de bovinos para carne. Asimismo, Ferreira et al. (2024) reportaron efectos favorables de estos compuestos sobre el consumo, comportamiento productivo y algunos indicadores de fermentación ruminal. No obstante, la respuesta no es consistente entre estudios; Torres et al. (2021) no detectaron modificaciones en el comportamiento productivo o características de la canal cuando los aceites esenciales sustituyeron a la monensina en dietas de bovinos.

Específicamente con mezclas poliherbales, Sánchez et al. (2021) reportaron efectos favorables sobre variables asociadas con el desarrollo de becerros Holstein. En contraste, Sánchez-Torres et al. (2022) no observaron cambios en el comportamiento productivo, CMS, EGD o AMLD de corderos suplementados con Animunin®. En conjunto, estas diferencias sugieren que la respuesta productiva a los fitogénicos puede depender de la especie, dieta, dosis, composición y concentración de sus compuestos bioactivos, así como de la duración de la suplementación.

Conclusiones

La suplementación con una mezcla herbal estandarizada para contener 1 % de terpenoides incrementó la ganancia diaria de peso sin modificar el consumo de materia seca, el área del músculo Longissimus dorsi ni el espesor de grasa dorsal. La reducción numérica de la conversión alimenticia sugiere una mayor eficiencia en la utilización del alimento; sin embargo, se requieren estudios con mayor número de animales para confirmar este efecto.

Referencias

Ahmed M. G., Elwakeel E. A., El-Zarkouny S. Z. & Al-Sagheer A. A. (2024). Environmental impact of phytobiotic additives on greenhouse gas emission reduction, rumen fermentation manipulation, and performance in ruminants: An updated review. Environmental Science and Pollution Research, 31:37943-37962.

Benchaar C., Calsamiglia S., Chaves A. V., Fraser G. R., Colombatto D., McAllister T. A. & Beauchemin K. A. (2008). A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. Animal Feed Science and Technology, 145:209-228.

Calsamiglia S., Busquet M., Cardozo P. W., Castillejos L. & Ferret A. (2007). Invited review: Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. Journal of Dairy Science, 90:2580-2595.

Fernandes L. D., Vasconcelos A. B. I., Lobo Júnior A. R., Rosado G. L. & Bento C. B. P. (2024). Effects of different additives on cattle feed intake and performance—A systematic review and meta-analysis. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 96.

Ferreira F. J., Fernandes L. D., Lobo Júnior A. R., Rosado G. L. & Bento C. B. P. (2024). Meta-analysis of the effects of essential oils on consumption, performance, and ruminal fermentation of beef cattle. Animal Feed Science and Technology, 311:115956.

Greathead H. (2003). Plants and plant extracts for improving animal productivity.
Proceedings of the Nutrition Society, 62:279-290.

Medina G. G., Díaz P. G., López H. J., Ruíz C. J. A. & Marín S. M. (2005). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango (Periodo 1961-2003). Libro Técnico No. 1. Campo Experimental Valle del Guadiana, CIRNOC-INIFAP, 224 p. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM). (2016). Nutrient requirements of beef cattle (8th rev. ed.). The National Academies Press.

Orzuna-Orzuna J. F., Dorantes-Iturbide G., Lara-Bueno A., Miranda-Romero L. A., Mendoza-Martínez G. D. & Santiago-Figueroa I. (2022). A meta-analysis of essential oils use for beef cattle feed: Rumen fermentation, blood metabolites, meat quality, performance and, environmental and economic impact. Fermentation, 8:254.

Patra A. K. & Yu Z. (2012). Effects of essential oils on methane production and fermentation by, and abundance and diversity of, rumen microbial populations. Applied and Environmental Microbiology, 78:4271-4280.

Sánchez N., Lee-Rangel H. A., Martínez-Cortés I., Mendoza G. D., Hernández P. A., Espinoza E., Vazquez-Valladolid A., Flores-Ramírez R., Roque-Jimenez A., Campillo-Navarro M. & Relling A. E. (2021). A polyherbal phytogenic additive improved growth performance, health, and immune response in dairy calves. Food and Agricultural Immunology, 32:482-498.

Sánchez-Torres M. T., Cordero-Mora J. L., Martínez-Aispuro J. A., Mendoza-Martínez G. D., Ayala-Monter M. A., Vázquez-Silva G., Hernández-García P. A. & Figueroa-Velasco
J. L. (2022). Adición de un fitogénico poliherbal en dietas de corderos de engorda. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 9.

Silva S. R., Gomes M. J., Dias-da-Silva A., Gil L. F. & Azevedo J. M. T. (2005). Estimation in vivo of the body and carcass chemical composition of growing lambs by real-time ultrasonography. Journal of Animal Science, 83:350-357.

Torres R. N. S., Paschoaloto J. R., Ezequiel J. M. B., da Silva D. A. V. & Almeida M. T. C. (2021). Meta-analysis of the effects of essential oil as an alternative to monensin in diets for beef cattle. The Veterinary Journal, 272:105659.

Wang J., Deng L., Chen M., Che Y., Li L., Zhu L., Chen G. & Feng T. (2024). Phytogenic feed additives as natural antibiotic alternatives in animal health and production: A review of the literature of the last decade. Animal Nutrition, 17:244-264.

RESULTADOS PRELIMINARES DEL ÍNDICE MULTICRITERIO PARA IDENTIFICAR ÁREAS POTENCIALES DE CONGREGACIÓN DE ZÁNGANOS DE *Apis mellifera* L. EN ZONAS ÁRIDAS

Jorge Luis Becerra-López[2], Karen Fraire-Galindo[1,2]*, Saúl Santana-Espinoza[3], Susana Torres Valles[4], Miguel Ángel Garza Martínez[2], Jesús Salvador Becerra López[3]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango, México. [2]Laboratorio de Cambio Climático y Conservación de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, México. [4]Universidad Politécnica de la Región Laguna.
* Autor de correspondencia:biolfraire@gmail.com

Introducción

La reproducción natural de *Apis mellifera* ocurre mediante vuelos nupciales en sitios específicos del paisaje denominados Áreas de Congregación de Zánganos (ACZ), donde convergen zánganos procedentes de múltiples colonias. Estas áreas favorecen la poliandria, el flujo génico y el mantenimiento de la diversidad genética, aspectos relevantes para la adaptación y resiliencia de las poblaciones de abejas melíferas y para los programas de producción de reinas y mejoramiento genético (Galindo-Cardona et al., 2012).

Las ACZ pueden mantener una notable estabilidad espacial y temporal, y su establecimiento está asociado con la interacción de factores como la topografía, configuración del paisaje, protección contra el viento, temperatura y rutas de vuelo de los zánganos (Galindo-Cardona et al., 2012; Koeniger et al*.,* 2014). Sin embargo, su identificación depende principalmente de recorridos sistemáticos, observaciones repetidas y métodos de captura en campo, lo que implica una considerable inversión de tiempo y recursos y dificulta la prospección de áreas extensas o poco estudiadas.

Los índices multicriterio permiten integrar variables biológicas, ambientales y espaciales para evaluar y priorizar áreas de interés mediante procedimientos estandarizados (Malczewski y Rinner, 2015). No obstante, se carece de una herramienta que integre los principales factores asociados con las ACZ para orientar su prospección. Por ello, el objetivo de este trabajo fue desarrollar el Índice de Aptitud para Áreas de Congregación de Zánganos (IA-ACZ), una herramienta multicriterio basada en variables biológicas y ambientales para identificar y priorizar sitios con potencial para funcionar como ACZ y apoyar los programas de producción de reinas y mejoramiento genético de *A. mellifera*.

Materiales y métodos

Diseño del estudio. El presente trabajo consistió en el desarrollo de un índice multicriterio denominado Índice de Aptitud para Áreas de Congregación de Zánganos (IA-ACZ), diseñado para apoyar la identificación preliminar de sitios con potencial para funcionar como Áreas de Congregación de Zánganos (ACZ) de *A. mellifera*. La construcción del índice se desarrolló en cuatro etapas consecutivas: i) revisión e integración de la literatura científica; ii) selección de variables; iii) asignación de ponderaciones; y iv) construcción de la herramienta de evaluación.

Revisión de literatura. Se realizó una revisión integradora de la literatura científica, metodología ampliamente utilizada para sintetizar conocimiento proveniente de diferentes tipos de investigaciones y generar herramientas aplicables para la toma de decisiones (Whittemore & Knafl, 2005; Torraco, 2016; Snyder, 2019). La búsqueda bibliográfica se efectuó entre enero y abril de 2026 mediante las bases de datos Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar, complementándose con libros especializados y documentos técnicos relacionados con la biología reproductiva de *A. mellifera*. Se seleccionaron artículos científicos arbitrados, revisiones y documentos técnicos publicados preferentemente entre 2010 y 2025, además de investigaciones clásicas ampliamente reconocidas cuando constituyeron la base conceptual para explicar la ecología de las ACZ.

Selección de variables. La información obtenida fue organizada mediante un proceso de clasificación temática con el propósito de identificar los factores cuya asociación con la presencia de ACZ había sido documentada de manera consistente; como resultado, se seleccionaron siete variables: Actividad de zánganos, Características del paisaje, Protección contra el viento, Cercanía de apiarios, Temperatura y condiciones climáticas, Permanencia de la actividad, Evidencias complementarias. La selección se basó en tres criterios: evidencia científica consistente; relevancia biológica durante el apareamiento; facilidad de evaluación en campo. Con ello se buscó desarrollar una herramienta que pudiera ser utilizada por investigadores, técnicos y apicultores sin requerir instrumentación especializada.

Asignación de ponderaciones. Las ponderaciones del IA-ACZ fueron definidas mediante un proceso de valoración conceptual sustentado en la evidencia científica disponible. Para ello se consideró la importancia relativa de cada variable dentro del proceso de establecimiento y permanencia de las ACZ, así como la frecuencia con que dichos factores fueron identificados en la literatura especializada. Bajo este criterio, la actividad de zánganos recibió la mayor ponderación (30 %), ya que representa el principal indicador biológico de una ACZ y constituye evidencia directa de actividad reproductiva (Galindo-Cardona et al., 2012; Koeniger et al., 2014). Las características del paisaje recibieron una ponderación de 20 %, ya que diversos estudios demuestran que la topografía, la orientación del relieve y la configuración espacial del paisaje condicionan la localización recurrente de estas áreas (Galindo-Cardona et al., 2012). La variable protección contra el viento obtuvo una ponderación del 15 %, dado que las velocidades elevadas afectan el comportamiento de vuelo tanto de zánganos como de reinas durante los vuelos nupciales. Las variables cercanía de apiarios, temperatura y condiciones climáticas y permanencia de la actividad recibieron un peso del 10 % cada una, debido a que influyen en la disponibilidad continua de zánganos sexualmente maduros y en la estabilidad temporal de las ACZ. Finalmente, las evidencias complementarias recibieron una ponderación del 5 %, ya que constituyen indicadores auxiliares que fortalecen la evaluación, aunque por sí solos no permiten confirmar la presencia de una ACZ.

Construcción del índice. Cada variable fue evaluada mediante una escala ordinal de tres categorías:

- 0 = condición desfavorable
- 0.5 = condición intermedia
- 1 = condición favorable

El valor del índice se calculó mediante una suma ponderada:

$$IA\text{-}ACZ = \sum_{i=1}^{n} (P_i \times C_i)$$

donde:

- *Pi* corresponde a la ponderación asignada a la variable *i*.
- *Ci* representa la calificación obtenida durante la evaluación en campo.

El resultado final se clasificó en cuatro categorías de aptitud:

- Muy baja
- Baja
- Media
- Alta

Los intervalos de clasificación del IA-ACZ se establecieron mediante un criterio conceptual de priorización, considerando una escala de 0 a 100 puntos y cuatro categorías de aptitud: muy baja (0–40), baja (>40–60), media (>60–80) y alta (>80–100). Estos intervalos permiten diferenciar los sitios de acuerdo con las condiciones biológicas y ambientales evaluadas mediante el índice. Los puntos de corte fueron definidos con fines operativos y deberán someterse a procesos posteriores de calibración mediante evaluaciones sistemáticas en campo, debido a que no fueron derivados de procedimientos estadísticos.

Aplicación exploratoria en campo. Con el propósito de evaluar la aplicabilidad del IA-ACZ en condiciones reales, se realizó un ejercicio exploratorio mediante la valoración de las siete variables biológicas y ambientales que integran el índice. Cada variable recibió una calificación conforme a los criterios establecidos y posteriormente se calculó el puntaje total mediante una suma ponderada. Adicionalmente, se efectuó una prueba de atracción utilizando una reina en vuelo, con la finalidad de observar la respuesta de los zánganos en el sitio evaluado. El arribo de zánganos se consideró evidencia preliminar de actividad reproductiva, sin asumir que dicha observación fuera suficiente para confirmar la presencia de un ACZ estable.

Validación conceptual del índice. El IA-ACZ constituye una herramienta de evaluación preliminar desarrollada a partir de la integración de evidencia científica sobre la ecología reproductiva de *A. mellifera*. Su propósito es apoyar la identificación inicial de sitios con potencial para funcionar como ACZ y proporcionar un criterio estandarizado para la toma de decisiones durante la prospección en campo.

Debido a que el índice fue construido mediante una síntesis de la literatura y no mediante modelos predictivos derivados de datos empíricos, las ponderaciones propuestas deben considerarse de carácter conceptual. En consecuencia, la aplicación del IA-ACZ debe complementarse con observaciones repetidas durante la temporada reproductiva para confirmar la presencia y permanencia de las ACZ. Asimismo, futuras investigaciones deberán evaluar el desempeño del índice en diferentes regiones biogeográficas, cuantificar la contribución relativa de cada variable mediante análisis estadísticos y ajustar las ponderaciones cuando sea necesario, fortaleciendo así su capacidad predictiva y su aplicación en programas de mejoramiento genético apícola.

Resultados y discusión

Como resultado de la revisión e integración de la literatura científica se desarrolló el Índice de Aptitud para Áreas de Congregación de Zánganos (IA-ACZ), una herramienta multicriterio diseñada para apoyar la identificación preliminar de sitios con potencial para funcionar como Áreas de Congregación de Zánganos (ACZ) de *A. mellifera*. El índice quedó integrado por siete variables biológicas y ambientales cuya selección se sustentó en la evidencia científica relacionada con la ecología reproductiva de la especie y los factores que influyen en el establecimiento de las ACZ (Cuadro 1).

La aplicación exploratoria del IA-ACZ en campo permitió obtener un puntaje de 87.5, correspondiente a la categoría de aptitud alta. Durante la evaluación se observó el arribo de zánganos ante la exposición de una reina utilizada como atrayente, lo que aportó evidencia preliminar de actividad reproductiva en el sitio. Sin embargo, este resultado no permite establecer la capacidad predictiva del índice ni confirmar la permanencia espacial y temporal de una ACZ, por lo que se requieren evaluaciones adicionales en sitios con diferentes condiciones de aptitud.

El Cuadro 1 muestra que el IA-ACZ incorpora variables que representan tanto procesos biológicos como condiciones ambientales asociadas con el éxito reproductivo de las colonias. La inclusión simultánea de la actividad de zánganos, las características del paisaje, la protección contra el viento, la cercanía de apiarios, la temperatura y condiciones climáticas, la permanencia de la actividad y las evidencias complementarias permite realizar una evaluación integral del potencial reproductivo de un sitio, superando los enfoques basados en un único criterio de evaluación.

Una vez definidas las variables, se estableció una ponderación relativa de acuerdo con su importancia biológica dentro del proceso reproductivo (Cuadro 1). La actividad de zánganos recibió la mayor ponderación (30 %), debido a que constituye la evidencia más directa de la existencia de una ACZ. Las características del paisaje representaron el 20 %, mientras que la protección contra el viento representó el 15 %. Las variables cercanía de apiarios, temperatura y condiciones climáticas y permanencia de la actividad recibieron un peso del 10 % cada una, y las evidencias complementarias el 5 %, reflejando su función como indicadores auxiliares dentro del proceso de evaluación.

La distribución de estas ponderaciones evidencia que el IA-ACZ prioriza los factores directamente relacionados con el comportamiento reproductivo de *A. mellifera*, sin dejar de considerar variables ambientales que condicionan la formación y la estabilidad de las ACZ. Este enfoque coincide con investigaciones que han demostrado que la localización de estas áreas depende de la interacción entre factores biológicos y características del paisaje, más que de un único componente ambiental (Galindo-Cardona et al., 2012; Koeniger et al., 2014).

Como producto final se obtuvo un procedimiento de evaluación estandarizado que integra las variables mediante una escala ordinal y una suma ponderada, permitiendo clasificar los sitios evaluados en cuatro categorías de aptitud (muy baja, baja, media y alta). La aplicación exploratoria del índice se documentó mediante el registro fotográfico de las actividades de evaluación en campo y la prueba de atracción realizada con una reina (Figura 1). Esta estructura facilita la aplicación del índice por investigadores, técnicos y productores sin requerir equipo especializado, favoreciendo su implementación durante actividades rutinarias de prospección.

La principal aportación del IA-ACZ consiste en transformar el conocimiento ecológico generado durante décadas de investigación sobre las ACZ en una herramienta de apoyo para la toma de decisiones. Mientras que la mayoría de los estudios publicados describen la distribución espacial, el comportamiento de vuelo de los zánganos y la influencia del paisaje sobre la ubicación de estas áreas (Galindo-Cardona et al., 2012), el presente trabajo propone un procedimiento práctico que integra esta información en un esquema de evaluación reproducible y de fácil aplicación.

Desde una perspectiva aplicada, el IA-ACZ puede contribuir a optimizar los programas de producción de reinas y mejoramiento genético, al permitir una selección preliminar de sitios con condiciones biológicas y ambientales más favorables para el establecimiento de ACZ. Esto puede reducir el tiempo y los costos asociados a la prospección de campo, facilitar el establecimiento de estaciones de fecundación natural y fortalecer las estrategias dirigidas a conservar la diversidad genética de las poblaciones de *A. mellifera*. Asimismo, el empleo de un enfoque multicriterio coincide con metodologías utilizadas en otros ámbitos del manejo de recursos naturales, donde la integración de variables biológicas y ambientales ha demostrado mejorar la objetividad en los procesos de evaluación (Malczewski y Rinner, 2015). No obstante, el IA-ACZ debe considerarse una herramienta de evaluación preliminar.

Las ponderaciones asignadas a las variables representan una aproximación basada en la evidencia científica disponible y deberán refinarse mediante estudios de validación en diferentes regiones biogeográficas. La comparación entre sitios con ACZ confirmadas y sitios sin actividad reproductiva permitirá evaluar la capacidad predictiva del índice, optimizar la importancia relativa de cada variable y fortalecer su aplicación como herramienta de apoyo para el mejoramiento genético y la producción de reinas.

Cuadro 1. Variables, ponderaciones, calificaciones y puntajes obtenidos durante la aplicación exploratoria en campo del Índice de Aptitud para Áreas de Congregación de Zánganos (IA-ACZ).

Variable	Peso (%)	Calificación	Puntaje
Actividad de zánganos	30	1.0	30.0
Características del paisaje	20	1.0	20.0
Protección contra el viento	15	0.5	7.5
Cercanía de apiarios	10	1.0	10.0
Temperatura y condiciones climáticas	10	1.0	10.0
Permanencia de la actividad	10	0.5	5.0
Evidencias complementarias	5	1.0	5.0
Total (IA-ACZ)	**100**	—	**87.5**

Cuadro 2. Categorías de aptitud del IA-ACZ.

Puntaje IA-ACZ	Categoría de aptitud	Interpretación
0–40	Muy baja	Condiciones biológicas y ambientales poco favorables para la presencia de una ACZ.
>40–60	Baja	Condiciones de aptitud limitada; se recomienda complementar la evaluación con observaciones en campo.
>60–80	Media	Condiciones potencialmente favorables para la presencia de una ACZ; sitio con potencial para actividades de prospección.
>80–100	Alta	Condiciones altamente favorables para la presencia de una ACZ; sitio prioritario para evaluaciones sistemáticas en campo.



Figura 1. Evaluación y muestreo en campo para la determinación del Índice de Aptitud para Áreas de Congregación de Zánganos (IA-ACZ).

Conclusiones

El Índice de Aptitud para Áreas de Congregación de Zánganos (IA-ACZ) constituye una herramienta multicriterio que integra variables biológicas y ambientales para apoyar la identificación preliminar de sitios con potencial reproductivo de *Apis mellifera*. Su aplicación exploratoria en campo permitió obtener un puntaje de 87.5, correspondiente a la categoría de aptitud alta, y registrar el arribo de zánganos durante una prueba de atracción con una reina. Estos resultados demuestran la factibilidad operativa de aplicar el índice en condiciones reales, aunque no constituyen una validación de su capacidad predictiva. Por ello, se requieren evaluaciones sistemáticas en diferentes sitios y regiones biogeográficas para confirmar su utilidad, calibrar sus ponderaciones y fortalecer su aplicación en programas de producción de reinas y mejoramiento genético.

Referencias

Galindo-Cardona, A., Carolina Monmany, A., Moreno-Jackson, R., Rivera-Rivera, C., Huertas-Dones, C., Caicedo-Quiroga, L. y Giray, T. (2012). Landscape analysis of drone congregation areas of the honey bee, *Apis mellifera*. *Journal of Insect Science*, *12*(1), Artículo 122.

Koeniger, G., Koeniger, N., Ellis, J. D. y Connor, L. J. (2014). *Mating Biology of Honey Bees (Apis mellifera)*. Wicwas Press.

Malczewski, J. y Rinner, C. (2015). *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. Springer International Publishing.

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *104*, 333–339.

Torraco, R. J. (2016). Writing integrative literature reviews: Using the past and present to explore the future. *Human Resource Development Review*, *15*(4), 404–428.

Whittemore, R. y Knafl, K. (2005). The integrative review: Updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, *52*(5), 546–553.

RESULTADOS PRELIMINARES DE SANIDAD PREVENTIVA EN *Apis mellifera* L.: INTEGRACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS APÍCOLAS PARA EL MANEJO SANITARIO DE COLONIAS

Jorge Luis Becerra-López[2], Karen Fraire-Galindo[1,2]*, Saúl Santana-Espinoza[3], Susana Torres Valles[4] Jesús Salvador Becerra Lopez[3], Jorge Alonso Maldonado Jaquez[3]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango, México. [2]Laboratorio de Cambio Climático y Conservación de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, México. [4]Universidad Politécnica de La Región Laguna (UPRL), Ejido Santa Teresa, San Pedro de las Colonias, Coahuila. *Autor de correspondencia:biolfraire@gmail.com

Introducción

La apicultura constituye una actividad de importancia productiva y ecológica debido a la obtención de miel y otros productos de la colmena, así como al servicio de polinización que *Apis mellifera* proporciona a cultivos agrícolas y especies silvestres (Klein et al*.,* 2007; Potts et al*.,* 2016; FAO, 2023). En este contexto, mantener colonias saludables es fundamental para la productividad de los apiarios y la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios.

La salud de las colonias está determinada por la interacción de factores nutricionales, ambientales y sanitarios (Brodschneider y Crailsheim, 2010; Dolezal y Toth, 2018). Entre las principales amenazas se encuentra *Varroa destructor*, cuya infestación afecta la condición fisiológica de las abejas y favorece la transmisión de virus (Rosenkranz et al*.,* 2010; Ramsey et al., 2019). Asimismo, enfermedades bacterianas, nosemosis y otras plagas pueden ocasionar pérdidas productivas, particularmente cuando interactúan con deficiencias nutricionales y condiciones ambientales adversas (Ellis y Munn, 2015; Branchiccela et al*.,* 2019; WOAH, 2023).

Ante estos riesgos, la prevención constituye un componente fundamental del manejo sanitario. Las Buenas Prácticas Apícolas (BPA) integran medidas como el mantenimiento de colonias vigorosas, la higiene del apiario y del equipo, la renovación de panales, el monitoreo sanitario, el uso responsable de medicamentos veterinarios y el registro de las actividades de manejo (Delaplane et al*.,* 2013; FAO, 2023; WOAH, 2023). Su implementación favorece la detección temprana de problemas sanitarios y contribuye a reducir los factores que comprometen la salud de las colonias.

Sin embargo, la información relacionada con estas prácticas se encuentra dispersa entre publicaciones científicas, manuales técnicos y documentos normativos, lo que puede dificultar su integración y aplicación práctica. Las revisiones integradoras permiten sintetizar evidencia procedente de diferentes fuentes y transformarla en herramientas útiles para la toma de decisiones y la transferencia del conocimiento (Whittemore y Knafl, 2005; Torraco, 2016; Snyder, 2019). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue integrar y sintetizar la evidencia científica disponible sobre Buenas Prácticas Apícolas y sanidad preventiva en *A. mellifera*, para desarrollar una guía técnica que facilite la implementación de estrategias de manejo orientadas a fortalecer la salud de las colonias y la productividad de los apiarios.

Materiales y métodos

Diseño del estudio. El presente trabajo se desarrolló mediante una revisión integradora de la literatura, metodología que permite recopilar, evaluar, comparar y sintetizar información científica proveniente de diferentes tipos de estudios para generar una comprensión amplia de un tema de investigación y facilitar la transferencia del conocimiento hacia la práctica (Whittemore y Knafl, 2005; Torraco, 2016; Snyder, 2019).

Estrategia de búsqueda bibliográfica. La búsqueda de información se realizó entre enero y marzo de 2026 utilizando las bases de datos Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink y Google Scholar, complementándose con documentos técnicos publicados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de Sanidad Animal (WOAH). Se emplearon combinaciones de palabras clave en español e inglés, incluyendo: *A. mellifera*, honey bee health, good beekeeping practices, best management practices, bee diseases, *Varroa destructor*, Nosema, American foulbrood, *European foulbrood*, *Aethina tumida*, apiary management, sanidad apícola y Buenas Prácticas Apícolas.

***Criterios de selección*.** Se incluyeron artículos científicos arbitrados, revisiones, capítulos de libro, manuales técnicos y documentos normativos publicados principalmente entre 2010 y 2025, priorizando investigaciones relacionadas con la sanidad de *A. mellifera*, prevención de enfermedades, manejo sanitario y Buenas Prácticas Apícolas. Asimismo, se incorporaron publicaciones clásicas cuando constituyeron referencias fundamentales para comprender aspectos ampliamente aceptados, como la biología de *Varroa destructor* o los principios metodológicos de las revisiones integradoras. Se excluyeron publicaciones duplicadas, documentos sin respaldo científico y trabajos cuyo contenido no abordara directamente el manejo sanitario de colonias.

***Organización y análisis de la información*.** La información seleccionada fue analizada mediante un proceso de análisis temático, agrupando la evidencia en cinco categorías principales: (1) importancia de la sanidad apícola; (2) principales plagas y enfermedades de *A. mellifera*; (3) factores de riesgo asociados con el manejo del apiario; (4) Buenas Prácticas Apícolas para la prevención sanitaria; y (5) estrategias de monitoreo y toma de decisiones. Posteriormente, la información fue comparada entre las diferentes fuentes para identificar coincidencias, diferencias y recomendaciones respaldadas por evidencia científica.

Integración de la guía técnica. Con base en la síntesis de la evidencia, se elaboró una guía técnica orientada a productores, técnicos y estudiantes, organizada en componentes prácticos que incluyen recomendaciones de manejo preventivo, medidas de higiene, monitoreo sanitario, registros técnicos y criterios para la identificación temprana de problemas sanitarios. Finalmente, la información fue estructurada mediante Cuadros y esquemas con el propósito de facilitar su consulta y aplicación durante las inspecciones rutinarias de los apiarios.

Resultados y discusión

La revisión integradora permitió identificar un amplio consenso en la literatura respecto a que la sanidad de las colonias depende de un manejo preventivo continuo más que de la aplicación de tratamientos una vez establecidas las enfermedades (Delaplane et al., 2013; FAO, 2023; WOAH, 2023).

En la mayoría de los estudios revisados, las Buenas Prácticas Apícolas (BPA) se describen como un conjunto de procedimientos orientados a disminuir los factores de riesgo que favorecen la aparición y propagación de enfermedades, fortaleciendo simultáneamente la productividad y sostenibilidad de los apiarios. La información recopilada permitió organizar estas prácticas en cuatro componentes principales: manejo de la colonia, higiene del apiario, vigilancia sanitaria y registros técnicos (Cuadro 1).

El manejo adecuado de las colonias constituye el primer componente preventivo identificado en la literatura. Diversos autores coinciden en que las colonias fuertes presentan mayor capacidad para regular la temperatura, defenderse de plagas, aprovechar los recursos florales y recuperarse después de eventos de estrés, en comparación con colonias débiles o con baja población (Brodschneider y Crailsheim, 2010; Delaplane et al., 2013). Asimismo, el reemplazo periódico de reinas, la disponibilidad de reservas alimenticias suficientes y las inspecciones sistemáticas favorecen la estabilidad demográfica de la colonia y reducen la probabilidad de pérdidas productivas (FAO, 2023).

La higiene del apiario representa otro componente fundamental para disminuir la transmisión de agentes patógenos. La renovación periódica de panales envejecidos, la limpieza y desinfección del equipo, el uso de agua limpia y el retiro oportuno de materiales contaminados reducen la acumulación de esporas, bacterias y otros organismos potencialmente patógenos (Ellis y Munn, 2015; WOAH, 2023). Estas medidas, aunque de bajo costo, son consideradas prácticas esenciales dentro de los programas modernos de sanidad apícola debido a su efecto preventivo sobre diversas enfermedades.

La vigilancia sanitaria fue uno de los aspectos con mayor coincidencia entre las publicaciones revisadas. El monitoreo periódico de *V. destructor*, la observación del patrón de cría, la evaluación de la población adulta y la detección temprana de signos clínicos permiten identificar oportunamente alteraciones en la condición sanitaria de las colonias (Rosenkranz et al., 2010; Ramsey et al*.,* 2019). La literatura coincide en que las inspecciones periódicas reducen la dependencia de tratamientos de emergencia y permiten establecer estrategias de manejo basadas en umbrales de infestación, disminuyendo el uso innecesario de medicamentos veterinarios (Delaplane et al., 2013; WOAH, 2023).

Otro hallazgo importante fue la relevancia de los registros técnicos como herramienta para la toma de decisiones. Aunque frecuentemente reciben menor atención que otras prácticas de manejo, diversos documentos técnicos destacan que el registro sistemático de inspecciones, tratamientos, alimentación suplementaria, reemplazo de reinas y producción de miel facilita la evaluación del desempeño de las colonias a través del tiempo y mejora la planeación de las actividades del apiario (FAO, 2023). Además, estos registros constituyen un elemento indispensable para la trazabilidad y para la implementación de programas de certificación sanitaria.

La revisión también evidenció que las principales enfermedades y plagas de *A. mellifera* comparten factores predisponentes relacionados con deficiencias en el manejo. Colonias debilitadas por problemas nutricionales, infestaciones elevadas de *V. destructor* o condiciones inadecuadas de higiene presentan una mayor probabilidad de desarrollar infecciones bacterianas, fúngicas o parasitarias (Branchiccela et al., 2019; Ansaloni et al*.,* 2025). En este sentido, la literatura coincide en que la prevención debe fundamentarse en un enfoque integral que combine manejo nutricional, vigilancia sanitaria e higiene, en lugar de depender exclusivamente del control químico de enfermedades.

Finalmente, la síntesis de la información permitió elaborar una guía técnica orientada a facilitar la aplicación práctica de las Buenas Prácticas Apícolas durante las inspecciones rutinarias del apiario. A diferencia de los documentos científicos individuales, la guía integra en un solo instrumento recomendaciones respaldadas por evidencia para el manejo preventivo, la identificación de señales de alerta sanitaria y la toma de decisiones en campo. Esta integración favorece la transferencia tecnológica hacia productores, técnicos y estudiantes, contribuyendo a la adopción de estrategias preventivas que fortalecen la salud de las colonias y promueven una apicultura más eficiente y sostenible.

Cuadro 1. Manejo preventivo del apiario.

Componente	Recomendación
Manejo	Inspección 7–15 días; colonias fuertes; reemplazar reinas 1–2 años.
Higiene	Renovar 20–30 % de panales/año; agua limpia; desinfectar equipo.
Vigilancia	Monitorear Varroa ≥3 veces/año; revisar cría, abejas y panales.
Registros	Registrar inspecciones, alimentación, tratamientos, reinas y producción.

Cuadro 2. Indicadores de alerta sanitaria en colonias de *Apis mellifera*.

Condición Normal	Recomendación
✔ Colonia fuerte	Continuar monitoreo
✔ Cría uniforme	Mantener registros
✔ Buenas reservas	Inspección periódica
Vigilancia	**Recomendación**
⚠ Baja población	Revisar nutrición
⚠ Postura irregular	Evaluar reina
⚠ Aumento de varroa	Cuantificar infestación
Acción Inmediata	**Recomendación**
🚨 Cría hundida o con mal olor	Aplicar protocolo sanitario
🚨 Alas deformes	Control inmediato de Varroa
🚨 Mortalidad anormal	Investigar la causa

Conclusiones

La integración de la evidencia científica permitió identificar que la sanidad preventiva de *Apis mellifera* debe sustentarse en cuatro componentes complementarios: manejo adecuado de las colonias, higiene del apiario, vigilancia sanitaria y registro sistemático de las actividades. La aplicación conjunta de estas Buenas Prácticas Apícolas favorece la detección temprana de problemas sanitarios y permite orientar oportunamente las decisiones de manejo, reduciendo la dependencia de acciones correctivas una vez establecidas las enfermedades. La guía técnica derivada de esta revisión constituye una herramienta práctica para integrar estas medidas durante las inspecciones rutinarias del apiario y facilitar la transferencia de conocimiento hacia productores, técnicos y estudiantes. En conjunto, la adopción sistemática de estrategias preventivas puede contribuir al mantenimiento de colonias saludables y a una producción apícola más eficiente y sostenible.

Referencias

Ansaloni, L. S., Kristl, J., Domingues, C. E. C., & Gregorc, A. (2025). An overview of the nutritional requirements of honey bees (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758). Insects, 16(1), 97. https://doi.org/10.3390/insects16010097

Branchiccela, B., Castelli, L., Corona, M., Díaz-Cetti, S., Invernizzi, C., Martínez de la Escalera, G., Mendoza, Y., Santos, E., Silva, C., & Antúnez, K. (2019). Impact of nutritional stress on honeybee colony health. Scientific Reports, 9, 10156. https://doi.org/10.1038/s41598-019-46453-9

Brodschneider, R., & Crailsheim, K. (2010). Nutrition and health in honey bees. Apidologie, 41(3), 278–294. https://doi.org/10.1051/apido/2010012

Delaplane, K. S., van der Steen, J., & Guzman-Novoa, E. (2013). Standard methods for estimating strength parameters of *Apis mellifera* colonies. Journal of Apicultural Research, 52(1), 1–12. https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.1.03

Dolezal, A. G., & Toth, A. L. (2018). Feedbacks between nutrition and disease in honey bee health. Current Opinion in Insect Science, 26, 114–119. https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.02.006

Ellis, J. D., & Munn, P. A. (2015). The worldwide health status of honey bees. Bee World, 92(3), 88–101. https://doi.org/10.1080/0005772X.2005.11417323

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). The State of Food and Agriculture 2023. Rome, Italy: FAO.

Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 274(1608), 303–313. https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721

Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Dicks, L. V., Garibaldi, L. A., Hill, R., Settele, J., & Vanbergen, A. J. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. Nature, 540, 220–229. https://doi.org/10.1038/nature20588

Ramsey, S. D., Ochoa, R., Bauchan, G., Gulbronson, C., Mowery, J. D., Cohen, A., Lim, D., Joklik, J., Cicero, J. M., Ellis, J. D., Hawthorne, D., & vanEngelsdorp, D. (2019). Varroa destructor feeds primarily on honey bee fat body tissue and not hemolymph. Proceedings of the National Academy of Sciences, 116(5), 1792–1801. https://doi.org/10.1073/pnas.1818371116

Rosenkranz, P., Aumeier, P., & Ziegelmann, B. (2010). Biology and control of Varroa destructor. Journal of Invertebrate Pathology, 103, S96–S119. https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.07.016

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. Journal of Business Research, 104, 333–339. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

Torraco, R. J. (2016). Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. Human Resource Development Review, 15(4), 404–428. https://doi.org/10.1177/1534484316671606

Whittemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: Updated methodology. Journal of Advanced Nursing, 52(5), 546–553. https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x

World Organisation for Animal Health (WOAH). (2023). Terrestrial Animal Health Code. Chapter 9.4. Infection of honey bees (*Apis mellifera*) with Paenibacillus larvae (American foulbrood). Paris, France: WOAH.

PORCENTAJE DE OVULACIÓN Y TASA OVULATORIA EN CABRAS TRATADAS CON PULPA DE CAFÉ Y SINCRONIZADAS AL ESTRO

Leonardo García-Muñoz[4], Katherin Castañeda-Moreno[3], Guadalupe Calderón-Leyva[1], Leticia Romana Gaytan-Aleman[1], Fernando Arellano-Rodríguez[1], Fortunato Nava-Joachin[3], Ana Isabel Aguilar-Mejía[3], Oscar Ángel- García*[2].

[1]Departamento de Producción animal, UAAAN UL, [2]Departamento de Ciencias Médico Veterinario, UAAAN UL, [3]Programa de Postgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria, UAAAN UL, [4]Medicina Veterinaria Zootecnia, UAAAN UL. *Autor de correspondencia: angelgarciao@gmail.com

Introducción

La tasa ovulatoria es uno de los componentes que determina la eficiencia reproductiva de las explotaciones (Viñoles, 2011). La tasa ovulatoria (TO) determina el valor de la prolificidad al parto, y por lo tanto la productividad de una explotación. Para los pequeños rumiantes, el límite superior de la TO está determinado genéticamente y por lo tanto puede ser que se mejore mediante la selección. Sin embargo, la expresión de ese potencial genético está fuertemente influenciada por el régimen nutricional, al que son sometidos los animales antes del empadre (Scaramuzzi y Martin 2008). Pero lo más importante, en el contexto de la suplementación estratégica, es que se produce un efecto agudo sobre las ovulaciones. EI fenómeno de la ovulación ha sido estudiado en los últimos años, atribuyéndole principalmente a dos hormonas, la hormona foliculoestimulante (FSH) ~~y~~ la hormona luteinizante (LH), además en forma indirecta están involucrados los estrógenos y la progesterona, Igualmente, se sabe que existen varios péptidos de origen folicular, cuyas concentraciones cambian de acuerdo al estado de crecimiento y desarrollo del folículo; algunos de estos péptidos se han logrado caracterizar bioquímicamente, pero su función exacta hasta el momenta no es totalmente clara (Rojas Rodríguez & Rodríguez Rivera, 1997). Una buena alimentación dentro de un hato de cabras es sin duda relevante, ya que es necesario que los animales estén en buena condición corporal y así poder llevar a cabo sus actividades reproductivas (Jimeno et al., 2000). Tal es el caso de la TO, la cual se ve reducida en las hembras debido a una desnutrición (Mani et al., 1992; Abecia et al., 2006). Estudios previos han demostrado que con una buena condición corporal tanto en ovejas (Johnson et al., 2011) como en cabras se incrementa la TO con respecto a hembras con una baja condición corporal (Henniawati y Fletcher, 1986). Así, la suplementación nutricional puede contrarrestar el efecto negativo de una desnutrición. Como alternativa de suplementación se ha optado en los subproductos como la pulpa de café (PCaf), que en la producción de café, se aprovecha el 60 % del grano y el excedente es PCaf, un subproducto con pocos usos industriales (Nava et al., 2023; Ulloa et al., 2003). Actualmente existen pocas investigaciones del uso de PCaf sobre la respuesta reproductiva en cabras bajo condiciones de pastoreo semi-intensivo.

Materiales y métodos

Todos los métodos y manejo de las unidades experimentales utilizadas en este estudio fueron en estricto acuerdo con los lineamientos para el uso ético, cuidado y bienestar de animales en investigación a nivel internacional (FASS, 2010) y nivel nacional (NAM, 2002).

Localización del estudio y manejo de los animales. El experimento se realizó en Villa Juárez, Mpio de Lerdo, Durango que se encuentra localizada en las coordenadas geográficas 25°29′43″N y 103°35′42″O. El área de estudio se encuentra a una altitud 1155 msnm, con una precipitación media anual de 230 mm y con temperatura promedio de 24 °C, máxima de 41 °C en mayo y junio, y mínima de -1 °C en diciembre y enero (CONAGUA, 2015).

El estudio se realizó en los meses de mayo-julio, correspondiente a la época reproductiva. Se utilizaron 28 cabras multirraciales, las cuales, se encontraban en producción lechera, y fueron divididas en 2 grupos (n=14 c/u) con un peso vivo (43.1±1.5 kg) y una condición corporal (2.6 ± 0.1, unidades) en escala de 1 al 5. Las cabras fueron pastoreadas de 10:00 am a 18:00 pm principalmente en los pastizales, y ocasionalmente en residuos de cultivos como maíz, sorgo y algodón, y además estas cabras fueron llevadas a diferentes sitios de pastoreo cada día, caminando aproximadamente 5 km diarios (Gaytán-Alemán et al*.,* 2014; Mellado et al*.*, 2012), al regreso del pastoreo, las cabras fueron alojadas en corrales abiertos ventilados y sujetos a las variaciones naturales del fotoperiodo. Antes del inicio del periodo experimental las cabras fueron vitaminadas y desparasitadas, además de recibían agua y block de minerales a libre acceso. Todas las cabras de estudio tuvieron un periodo de adaptación a la suplementación de 7 días previos al periodo experimental.

Tratamiento de los animales. Las cabras se asignaron bajo un diseño completamente al azar a dos tratamientos dietarios: 1) cabras suplementadas con 100g de concentrado comercial + 200g de pulpa de Café (PCaf) o cabras suplementadas con 100g de concentrado comercial (Testigo), las cuales fueron suplementadas durante 35 días, la cual fue ofrecida diariamente de manera individual (8:00 am) durante todo el periodo experimental previo al pastoreo, además el sobrante de cada cabra fue pesado para determinar el consumo real por cada cabra. Al final del tratamiento las cabras fueron sincronizadas al estro utilizando 25 mg de progesterona más 200 UI de gonadotripina coriónica equina vía intramuscular.

Variables evaluadas

Porcentaje de ovulación y tasa ovulatoria. El porcentaje de ovulación se determinó a los 14 días posteriores a la monta y que consistió en determinar a través de ultrasonografía transrectal, para lo cual se contó el número de cabras que presentó por lo menos un cuerpo lúteo por 100 entre el total de hembras de cada grupo. La tasa ovulatoria se determinó al día 14 posterior a la monta del macho mediante ultrasonografía transrectal, que consistió en contar el número de cuerpos lúteos en la superficie de ambos ovarios, divididos entre el total de cabras ovuladas de cada grupo.

Análisis estadístico. Los datos fueron analizados mediante un ANOVA usando el procedimiento Modelo Lineal General (GLM). Las medias obtenidas de los parámetros de numero de cuerpos lúteos fueron comparadas usando una prueba de *t- student*. Mientras que el porcentaje de ovulación fue comparado por medio de una Chi-Cuadrada. Todos los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc. Cary. NC. USA, V9.1). Las diferencias fueron consideradas significativas a un valor de P≤0.05.

Resultados y discusión

Los resultados para la respuesta reproductiva de las cabras tratadas con pulpa de café se muestran el cuadro 1. El porcentaje de ovulación general (89.3%) fue similar para ambos grupos sin mostrar diferencia estadística (P>0.05). Los resultados en cuanto al número de cuerpos lúteos no mostraron diferencias significativas para ambos grupos (P>0.05).

Cuadro1. Respuesta reproductiva para cabras complementadas con pulpa de café (Pcaf) o cabra sin complementar (Testigo) durante 35 días.

Variables	Testigo	PCaf
Ovulación (%, n)	86 (12/14) [a]	93 (13/14) [a]
Tasa ovulatoria (n)	1.6±0.2 [a]	1.9±0.2 [a]

[a,b] Literales con superíndice diferente difieren a P<0.05

El porcentaje de ovulación obtenido en las hembras suplementadas con pulpa de café sugieren que no se afectó la actividad ovárica en cabras bajo un sistema semi-intensivo. Sin embargo, la adición de 200 g de pulpa de café en la dieta no interfiere negativamente con la capacidad del ovario para responder a la maduración y rotura folicular. Los datos del presente estudio en cabras muestran que un aporte de 200 g diarios no afecta de manera negativa dicha respuesta Es probable que lo anterior se deba a que estos animales no se encontraban en un déficit de energía. Asimismo, investigaciones en bovinos y ovinos han mostrado que el incremento en la disponibilidad de glucosa puede estimular la liberación de LH y FSH, favoreciendo la dinámica folicular (Scaramuzzi et al., 2006).

Conclusión

La complementación alimenticia con 200 g diarios de pulpa de café en cabras bajo sistemas semi-intensivos no afecto el desempeño reproductivo. Por lo tanto, la pulpa de café constituye una alternativa viable, accesible y económicamente sostenible como subproducto agroindustrial para la alimentación caprina en la Comarca Lagunera. Su inclusión no interfiere negativamente con la respuesta ovárica y favorece el potencial reproductivo de las cabras bajo estas condiciones de manejo.

Referencias

De Santiago-Miramontes, M. A., Rivas-Muñoz, R., Muñoz-Gutiérrez, M., Malpaux, B., Scaramuzzi, R. J., & Delgadillo, J. A. (2008). The ovulation rate in anoestrous female goats managed under grazing conditions and exposed to the male effect is increased by nutritional supplementation. *Animal Reproduction Science*, *105*(3–4), 409–416.

Nava-Joachin, F., Ángel-García, O., Rojas-Hernández, S., Olivares-Pérez, J., Quiroz-Cardoso, F., Damián-Valdés, M. Á., & Robledo-Reyes, E. E. (2023). Efecto de la pulpa de café sobre la calidad de la leche en cabras en pastoreo en el norte de México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, *31*, 169–173.

Rojas Rodríguez, O., & Rodríguez Rivera, O. L. (1997). Tasa ovulatoria y presencia de folículos después del estro en ovejas Blackbelly. *Técnica Pecuaria en México*, *35*(1), 32–37.

Salinas-Rios, T., Sánchez-Torres-Esqueda, M. T., Díaz-Cruz, A., Cordero-Mora, J. L., Cárdenas León, M., Hernández-Bautista, J., Nava-Cuellar, C., & Nieto Aquino, R. (2016). Oxidative status and fertility of ewes supplemented coffee pulp during estrous synchronization and early pregnancy. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, *29*(4), 255–263.

Scaramuzzi, R. J., Campbell, B. K., Downing, J. A., Kendall, N. R., Khalid, M., Muñoz-Gutiérrez, M., y Somchit, A. 2006. A review of the effects of supplementary nutrition on the reproduction of the female sheep. Reproduction, Fertility and Development, 18(4), 391–408.

Ulloa Rojas, J. B., Verreth, J. A. J., Amato, S., & Huisman, E. A. (2003). Biological treatments affect the chemical composition of coffee pulp. *Bioresource Technology*, *89*(3), 267–274.

Viñoles G., C. (2011). Regulación de la foliculogénesis y la tasa ovulatoria en la oveja. *Spermova*, *1*(1), 92–94.

MORBILIDAD TEMPRANA Y DINÁMICA DE CRECIMIENTO PREDESTETE EN BECERRAS HOLSTEIN FRIESIAN DE LA COMARCA LAGUNERA

Karla Q. Ramirez-Uranga[1*], César A. Meza-Herrera[1], Francisco G. Véliz-Deras[2], Guadalupe Calderón-Leyva[2], Edgar J. Macias-Ortiz[2]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo 35230, México. [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera Santa Fe, s/n. Colonia Valle Verde, Torreón, Coahuila de Zaragoza, 27054, México. *Autor de correspondencia: karlarmzuranga@gmail.com

Introducción

La crianza de reemplazos es una etapa estratégica en los sistemas lecheros intensivos, ya que contribuye al mantenimiento del hato y al desarrollo de las futuras vacas productoras. Durante el predestete, la diarrea y la enfermedad respiratoria bovina (ERB) representan problemas sanitarios frecuentes. En 11 hatos del Reino Unido, se registró diarrea en el 48.2 % de las becerras y ERB en el 45.9 % antes del destete (Johnson et al*.,* 2021). Estas enfermedades pueden coincidir con una reducción del crecimiento: en un estudio de hatos estadounidenses, las becerras con antecedentes de enfermedad presentaron una ganancia diaria de peso (GDP) inferior a las que no presentaron dichos antecedentes (Shivley et al*.,* 2018).

La importancia de la morbilidad temprana puede extenderse más allá de la crianza. La diarrea predestete se ha asociado con 50 g/d menos de GDP y con una menor producción de leche en la primera lactancia (Abuelo et al*.,* 2021). Asimismo, un metaanálisis relacionó los antecedentes de ERB con 67 g/d menos de GDP y 121 kg menos de leche en la primera lactancia (Buczinski et al*.,* 2021). Estas asociaciones muestran la relevancia de registrar conjuntamente la salud y el crecimiento de las becerras. La transferencia de inmunidad pasiva (TIP) es un componente fundamental del manejo sanitario neonatal. Lombard et al. (2020) propusieron cuatro categorías de TIP y una meta de hato en la que más del 40 % de las becerras alcance la categoría excelente, equivalente a una proteína sérica total (PST) ≥ 6.2 g/dL. Sin embargo, una TIP adecuada no elimina todos los riesgos sanitarios. En el estudio de Johnson et al. (2021), una mejor transferencia pasiva se relacionó con menor gravedad de la ERB, pero no mostró una asociación significativa con la diarrea. El peso al nacimiento también podría contribuir a identificar becerras vulnerables: en un hato de una zona árida del norte de México, las becerras de menor peso al nacer presentaron una mayor frecuencia de diarrea (Olivera et al*.,* 2024).

En la Comarca Lagunera, describir conjuntamente la morbilidad y la trayectoria de crecimiento puede orientar la vigilancia de las becerras durante esta etapa tan crucial. Por lo tanto, se planteó la hipótesis de que las becerras tratadas durante el primer mes presentarían menor crecimiento predestete y que el tratamiento temprano sería más frecuente entre las de menor peso al nacimiento. El objetivo fue describir la morbilidad y el crecimiento durante los primeros 60 días de vida de becerras Holstein Friesian y explorar las asociaciones del tratamiento sanitario temprano con el crecimiento y el peso al nacimiento.

Materiales y métodos

Lugar y diseño de estudio. El estudio se realizó de octubre de 2025 a enero de 2026 en un establo lechero del municipio de Matamoros, Coahuila, ubicado en la Comarca Lagunera (25.593556° N, 103.310405° O, a 1,110 m). Se utilizó un diseño observacional de cohorte, en el que se analizaron los registros de 60 becerras Holstein Friesian nacidas entre el 26 de octubre y el 18 de noviembre de 2025, con seguimiento hasta los 60 días de edad.

Manejo general. Las becerras se separaron de la madre al nacimiento y se alojaron individualmente en jaulas lavadas y desinfectadas. Recibieron 3 L de calostro con IgG > 50 mg/mL durante la primera hora y otros 3 L a las 6 h. Posteriormente se ofreció leche entera pasteurizada en dos tomas diarias: 6 L/d del día 1 al 7, 8 L/d del 8 al 22, 10 L/d del 23 al 41, 12 L/d del 42 al 45 y 2 L/d del 46 al 60 (430 L programados por becerra). El agua estuvo disponible a libre acceso y el iniciador Nuplen Supra 380® se ofreció desde el segundo día de vida.

Variables evaluadas. A las 24 h se obtuvo sangre yugular para medir la PST por refractometría y clasificar la TIP según Lombard et al. (2020). El peso se registró al nacimiento y cada 10 días hasta los 60 días con una báscula ganadera (Fabela®). La GDP se calculó como cambio de peso dividido entre días transcurridos para los intervalos 0-30, 30-60 y 0-60 días, en g/d.

Los registros diarios de salud permitieron identificar el primer tratamiento por problemas digestivos o respiratorios y la edad en que se aplicó. Cada becerra se contó una vez en la morbilidad total, incluso si presentó ambos padecimientos. Por tanto, “morbilidad” designa aquí la proporción de becerras con al menos un tratamiento.

Se calcularon los porcentajes con PST ≥ 6.2 g/dL, duplicación del peso al nacimiento a los 60 días, GDP de 0-60 días ≥ 600 o ≥ 700 g/d y ausencia de tratamiento durante los 60 días. Los puntos de corte de crecimiento se emplearon como referencias descriptivas.

Análisis estadístico. Los datos continuos se presentan como media ± desviación estándar (DE) y los categóricos como frecuencias y porcentajes. Se compararon 21 becerras tratadas en los primeros 30 días con 39 sin tratamiento en ese periodo; cuatro de estas últimas fueron tratadas después del día 30. Las comparaciones hasta el día 60 se interpretan según el estado sanitario del primer mes.

Se aplicó un ANCOVA por separado al peso a los 30 y 60 días y a la GDP de 0-30, 30-60 y 0-60 días, con el estado sanitario del primer mes como factor y el peso al nacimiento como covariable. Las diferencias ajustadas consideran la desigualdad inicial de peso. El modelo fue:

$$Y_{ij} = \mu + E_i + \beta(X_{ij} - \bar{X}) + \varepsilon_{ij}$$

donde Yij es el peso o la GDP; μ, la media general; Ei, el estado sanitario; β, el coeficiente del peso al nacimiento; Xij, el peso de cada becerra al nacer; $\bar{X}$, la media de peso al nacimiento; y εij, el error. El peso al nacimiento y la PST se compararon mediante prueba t de Student. La asociación del peso al nacimiento (< 35 o ≥ 35 kg) con el tratamiento en el primer mes se examinó mediante prueba exacta de Fisher y razón de momios (OR). Se consideró $P \leq 0.05$ y se utilizó (versión 25; IBM Corp., Armonk, NY, EUA).

Resultados y discusión

Desempeño general y cumplimiento de indicadores de crianza. El peso al nacimiento fue de 35.5 ± 4.1 kg y a los 60 días de 71.9 ± 7.8 kg; la GDP fue de 607 ± 109 g/d. La PST alcanzó la categoría excelente en 57/60 becerras (95.0 %), por encima de la meta de hato de 40% propuesta por Lombard et al. (2020). No obstante, solo 39/60 (65.0 %) duplicaron su peso al nacimiento y 14/60 (23.3 %) alcanzaron una GDP ≥ 700 g/d (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cumplimiento de indicadores de crianza en becerras Holstein Friesian durante los primeros 60 días de vida (n = 60).

Indicador	Becerras	%
PST a las 24 h ≥ 6.2 g/dL	57/60	95.0
Duplicación del peso al nacimiento a los 60 días	39/60	65.0
GDP de 0 a 60 días ≥ 600 g/d	35/60	58.3
GDP de 0 a 60 días ≥ 700 g/d	14/60	23.3
Sin tratamiento durante los primeros 60 días	35/60	58.3

Nota. PST = proteína sérica total; GDP = ganancia diaria de peso.

Morbilidad durante la etapa de crianza. Se trataron 25/60 becerras (41.7 %): 20 por un primer padecimiento digestivo y cinco por uno respiratorio. La duración del tratamiento fue de 4.0 ± 2.0 días; 19/25 primeros tratamientos (76 %) ocurrieron entre los días 8 y 14 (Figura 1). Esta proporción fue mayor a la registrada por Urie et al. (2018) en hatos de Estados Unidos (33.9 %). En este lote, la segunda semana de vida concentró los tratamientos.

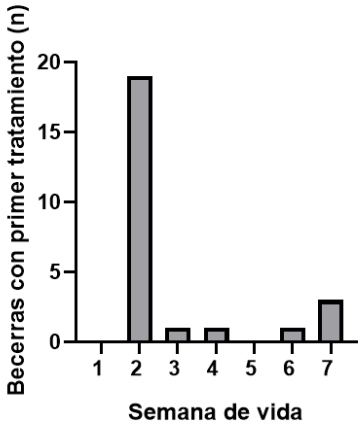


Figura 1. Distribución de la edad al primer tratamiento en becerras Holstein Friesian que recibieron tratamiento durante los primeros 60 días de vida (n = 25). Los valores se presentan como número de becerras por semana de edad.

Peso corporal y ganancia diaria de peso según la condición sanitaria temprana. Las becerras tratadas en el primer mes nacieron con menor peso que las no tratadas en ese periodo (33.6 ± 4.0 frente a 36.5 ± 3.8 kg; P = 0.009). Tras ajustar por peso al nacimiento, su GDP fue 191 g/d menor entre los días 0-30 y 121 g/d menor entre 0-60; a los 60 días pesaron 7.3 kg menos (P < 0.001 en los tres casos; Cuadro 2).

Cuadro 2. Peso corporal, ganancia diaria de peso (GDP) y proteína sérica total (PST) según la presencia de tratamiento durante los primeros 30 días de vida.

Variable	Tratadas 0-30 días (n = 21)	Sin tratamiento 0-30 días (n = 39)	Diferencia ajustada[1]	*P*
Peso al nacimiento (kg)	33.6 ± 4.0	36.5 ± 3.8	−2.8[2]	0.009[2]
Peso a los 30 días (kg)	45.3 ± 4.8	53.0 ± 4.6	−5.7	< 0.001
Peso a los 60 días (kg)	65.8 ± 7.3	75.2 ± 5.8	−7.3	< 0.001
GDP de 0 a 30 días (g/d)	389 ± 164	550 ± 113	−191	< 0.001
GDP de 30 a 60 días (g/d)	683 ± 146	740 ± 130	−52	0.19
GDP de 0 a 60 días (g/d)	536 ± 112	645 ± 86	−121	< 0.001
PST a las 24 h (g/dL)	7.3 ± 0.7	7.4 ± 0.7	−0.15[2]	0.44[2]

Nota. Los valores de cada grupo se presentan como media ± DE. [1]Diferencia entre tratadas y sin tratamiento estimada mediante ANCOVA con el peso al nacimiento como covariable; por ello, puede diferir de la resta de las medias mostradas. [2]Diferencia sin ajustar y valor de *P* de la prueba t de Student. Cuatro becerras clasificadas como «sin tratamiento 0-30 días» recibieron tratamiento después del día 30.

Las trayectorias se separaron entre los días 10 y 30 (Figura 2). No se detectó diferencia de GDP entre los días 30 y 60 (P = 0.19), aunque la diferencia de peso se mantuvo hasta el día 60. Estos resultados coinciden con los de Shivley et al. (2018) y Olivera et al. (2024), quienes también observaron menor crecimiento en becerras enfermas. De igual forma, coinciden con Abuelo et al. (2021), quienes reportaron 50 g/d menos de GDP en becerras con diarrea, y con Buczinski et al. (2021), quienes reportaron 67 g/d menos en becerras con ERB.

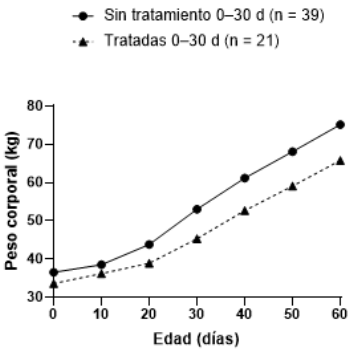


Figura 2. Peso corporal del nacimiento a los 60 días según la presencia de tratamiento durante los primeros 30 días de vida. Los valores se presentan como medias ± error estándar de la media.

Peso al nacimiento y tratamiento durante el primer mes. Entre las becerras de < 35 kg al nacimiento, 13/23 (56.5 %) recibieron tratamiento durante el primer mes, frente a 8/37 (21.6 %) entre las de ≥ 35 kg (OR = 4.7; P = 0.011). Este resultado coincide con Olivera et al. (2024), quienes observaron mayor frecuencia de diarrea en becerras de menor peso al nacer.

La PST fue similar en becerras tratadas y no tratadas durante el primer mes (7.3 ± 0.7 frente a 7.4 ± 0.7 g/dL; P = 0.44), y las tres becerras que quedaron fuera de la categoría excelente no recibieron tratamiento temprano. Este resultado no coincide con Crannell y Abuelo (2023) ni con Sutter et al. (2023), quienes observaron mayor morbilidad en las categorías inferiores de TIP; esta diferencia posiblemente se explica porque, en este lote, casi todas las becerras alcanzaron la categoría excelente.

Conclusiones

Aun con una transferencia de inmunidad pasiva excelente en la mayoría del lote, la morbilidad se concentró en la segunda semana de vida. Las becerras tratadas durante el primer mes presentaron menor crecimiento hasta el día 60, y aquellas de menor peso al nacimiento requirieron tratamiento con mayor frecuencia. En conjunto, estos hallazgos señalan al peso al nacimiento y a la vigilancia sanitaria temprana como elementos clave para el seguimiento de las becerras en sistemas lecheros intensivos de la Comarca Lagunera.

Referencias

Abuelo, A., Cullens, F., & Brester, J. L. (2021). Effect of preweaning disease on the reproductive performance and first-lactation milk production of heifers in a large dairy herd. *Journal of Dairy Science*, 104(6), 7008-7017. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19791

Buczinski, S., Achard, D., & Timsit, E. (2021). Effects of calfhood respiratory disease on health and performance of dairy cattle: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 104(7), 8214-8227. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19941

Crannell, P., & Abuelo, A. (2023). Comparison of calf morbidity, mortality, and future performance across categories of passive immunity: A retrospective cohort study in a dairy herd. *Journal of Dairy Science*, 106(4), 2729-2738. https://doi.org/10.3168/jds.2022-22567

Johnson, K. F., Chancellor, N., & Wathes, D. C. (2021). A cohort study risk factor analysis for endemic disease in pre-weaned dairy heifer calves. *Animals*, 11(2), 378. https://doi.org/10.3390/ani11020378

Lombard, J., Urie, N., Garry, F., Godden, S., Quigley, J., Earleywine, T., McGuirk, S., Moore, D., Branan, M., Chamorro, M., Smith, G., Shivley, C., Catherman, D., Haines, D., Heinrichs, A. J., James, R., Maas, J., & Sterner, K. (2020). Consensus recommendations on calf- and herd-level passive immunity in dairy calves in the United States. *Journal of Dairy Science*, 103(8), 7611-7624. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17955

Olivera, M. T., Mellado, J., García, J. E., Encina, J. A., Álvarez, P., Macías-Cruz, U., Avendaño, L., & Mellado, M. (2024). The influence of calfhood diarrhea and pneumonia on preweaning growth and reproductive performance of Holstein heifers. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 22(4), 21154. https://doi.org/10.5424/sjar/2024224-21154

Shivley, C. B., Lombard, J. E., Urie, N. J., Kopral, C. A., Santin, M., Earleywine, T. J., Olson, J. D., & Garry, F. B. (2018). Preweaned heifer management on US dairy operations: Part VI. Factors associated with average daily gain in preweaned dairy heifer calves. *Journal of Dairy Science*, 101(10), 9245-9258. https://doi.org/10.3168/jds.2017-14022

Sutter, F., Venjakob, P. L., Heuwieser, W., & Borchardt, S. (2023). Association between transfer of passive immunity, health, and performance of female dairy calves from birth to weaning. *Journal of Dairy Science*, 106(10), 7043-7055. https://doi.org/10.3168/jds.2022-22448

Urie, N. J., Lombard, J. E., Shivley, C. B., Kopral, C. A., Adams, A. E., Earleywine, T. J., Olson, J. D., & Garry, F. B. (2018). Preweaned heifer management on US dairy operations: Part V. Factors associated with morbidity and mortality in preweaned dairy heifer calves. *Journal of Dairy Science*, 101(10), 9229-9244. https://doi.org/10.3168/jds.2017-14019

MICROBIOTA BACTERIANA Y ENFERMEDADES RESPIRATORIAS BAJO EL ENFOQUE ONE HEALTH: UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

Karen P. Maciel Torres[1]*, Sandra P. Maciel Torres[1], Sandra I. Martínez Orona[1], L. Danilo Granados Rivera[2], Cristina García De la Peña[3]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango., México. [2]Campo Experimental La Laguna, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Matamoros CP 27440, Coahuila, México. [3]Universidad Juárez del Estado de Durango Facultad de Ciencias Biológicas, Gómez Palacio, Durango, México; *Autor por correspondencia: karenmaciel_18@hotmail.com

Introducción

En México, la crianza de ovinos y caprinos contribuye a la alimentación y a los ingresos de las familias rurales (Tajonar et al., 2022; Vargas-Bello-Pérez et al., 2023). En las zonas áridas del norte, como la Comarca Lagunera, la producción ovina de carne y caprina de leche y carne tiene importancia para la economía regional (Sifuentes-Lamónt et al., 2022; Navarrete-Molina et al., 2020). Sin embargo, las enfermedades respiratorias pueden afectar la producción y ocasionar pérdidas económicas por neumonía y muerte de animales. Su desarrollo depende de la interacción entre los microorganismos, la salud animal y las condiciones ambientales y de manejo (Simões et al., 2021; Lacasta et al., 2019; Shrivastava et al., 2025).

Las técnicas que no requieren cultivo han permitido conocer con mayor detalle las comunidades bacterianas del tracto respiratorio y sus cambios entre condiciones de salud y enfermedad (Dickson et al., 2016). Su estudio puede abordarse desde el enfoque de Una Sola Salud (*One Health*), que reconoce la relación entre la salud humana, animal y ambiental e integra distintas disciplinas para comprenderla (OMS, 2021).

Para conocer cómo se ha desarrollado la investigación en este campo, el análisis bibliométrico permite examinar la evolución de las publicaciones, los temas predominantes y la colaboración entre autores, instituciones y países (Donthu et al., 2021). Las herramientas de visualización complementan este análisis mediante mapas que muestran conexiones y agrupaciones temáticas (van Eck y Waltman, 2010). En conjunto, permiten explorar cómo se relacionan los componentes de Una Sola Salud en la literatura y orientar nuevas preguntas de investigación.

Por ello, el objetivo de este trabajo fue analizar la producción científica sobre microbiota bacteriana y enfermedades respiratorias en humanos, ovinos y caprinos bajo el enfoque *One Health*, mediante un análisis bibliométrico y herramientas de visualización, para describir su evolución temporal, identificar tendencias temáticas y caracterizar las redes de colaboración científica.

Materiales y métodos

En mayo de 2026, se realizó una búsqueda en Scopus en los campos de título, resumen y palabras clave, utilizando la siguiente ecuación: (“microbiota” OR “bacterial microbiota” OR “microbiome” OR “microbial community” OR “microbial diversity”) AND (“16S rRNA” OR “next-generation sequencing” OR metagenom* OR “metabarcoding”) AND (“respiratory disease*” OR “respiratory infection*” OR pneumonia OR “lung infection*” OR “respiratory complex” OR “respiratory tract infection*” OR “airway disease*”) AND (human* OR herder* OR “livestock handler*” OR goat* OR sheep OR ruminant* OR ovine OR caprine) AND (“one health” OR “zoonotic interface” OR “animal-human interface” OR “animal-human transmission” OR zoono* OR “cross species”).

No se aplicaron filtros por año, idioma, área temática, tipo de documento o acceso abierto. Se recuperaron 43 documentos, cuyos registros se exportaron en formatos CSV y RIS y se analizaron en VOSviewer versión 1.6.20. Se utilizó conteo completo, con un mínimo de cinco apariciones por palabra clave y dos documentos por autor; para la red de autores se excluyeron los trabajos con más de 25 autores. Después de depurar términos poco relevantes o repetidos, se elaboraron mapas de redes, temporales y de densidad para identificar relaciones temáticas, tendencias de investigación y colaboraciones entre autores y países.

Resultados y discusión

La búsqueda en Scopus permitió obtener 43 documentos científicos sobre microbiota bacteriana, enfermedades respiratorias y el enfoque de Una Sola Salud. La producción científica mostró una tendencia general de crecimiento. El análisis de palabras clave identificó tres agrupaciones relacionadas con diversidad microbiana, herramientas moleculares y salud pública. La resistencia a los antibióticos destacó por sus conexiones con microbioma, metagenómica y comunidad microbiana (figura 1), lo que muestra su importancia en las publicaciones seleccionadas. Este resultado guarda relación con lo señalado por Hoelzer et al. (2017), quienes abordan la relación entre el uso de antimicrobianos en animales de producción y la resistencia bacteriana. Así, la literatura analizada relaciona el estudio de las comunidades bacterianas con una problemática relevante para la salud humana y animal. Asimismo, se identificaron bacterias como *Klebsiella pneumoniae* y *Staphylococcus aureus*, vinculadas con temas de resistencia antimicrobiana y diversidad microbiana. Su presencia en la red refleja la atención que reciben estos microorganismos de importancia humana y veterinaria dentro de la literatura analizada.

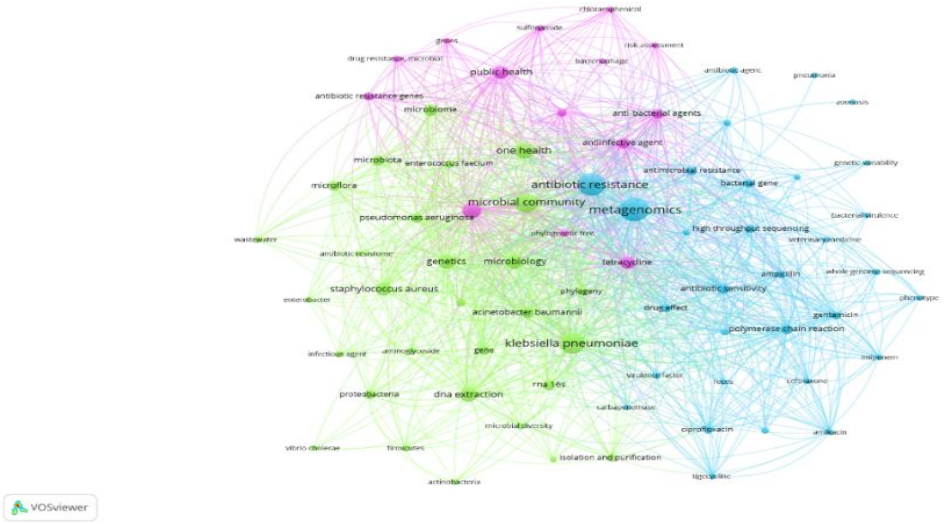


Figura 1. Red de co-ocurrencia de palabras clave relacionadas con microbiota bacteriana, enfermedades respiratorias y enfoque One Health, generada mediante el software VOSviewer. Los colores distinguen las agrupaciones identificadas en la red.

La visualización temporal vinculó la extracción de ADN, la diversidad microbiana, el resistoma y Una Sola Salud con publicaciones más recientes (figura 2). Esta asociación sugiere una atención reciente al estudio de las comunidades bacterianas y del conjunto de genes que pueden conferir resistencia a los antibióticos, así como a sus relaciones con la salud humana, animal y ambiental. La presencia de estos términos permite reconocer la conexión entre los procedimientos para obtener material genético y las preguntas sobre la composición y las características de las comunidades microbianas.

Aunque los documentos analizados abarcaron de 2017 a 2026, el mapa destacó años promedio comprendidos principalmente entre 2023 y 2025, en concordancia con la mayor concentración de publicaciones durante los últimos años del periodo estudiado. Estas herramientas permiten abordar preguntas sobre qué microorganismos integran las comunidades bacterianas y qué características genéticas presentan, ampliando el estudio de la microbiota más allá de la identificación de bacterias individuales.

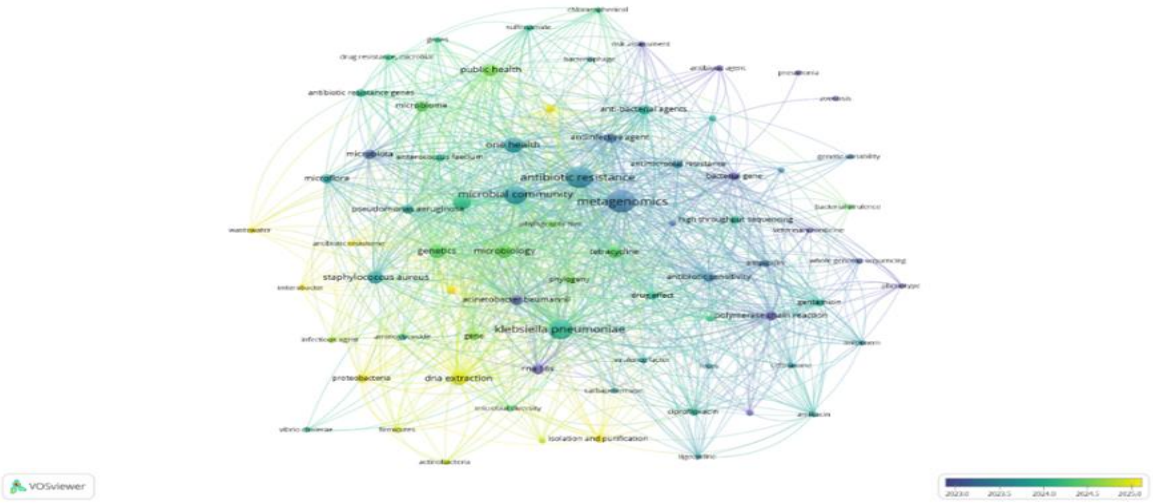


Figura 2. Visualización temporal de palabras clave asociadas con microbiota bacteriana y enfoque One Health. Los colores representan el promedio temporal de aparición de los términos dentro de la literatura analizada.

Asimismo, el mapa de densidad destacó la metagenómica y la resistencia antimicrobiana (figura 3). Estos hallazgos son compatibles con la importancia que Ceric et al. (2019) atribuyen a la secuenciación genómica para estudiar la resistencia bajo el enfoque de Una Sola Salud. Sin embargo, la presencia de este enfoque como palabra clave no demuestra que todas las publicaciones hayan integrado efectivamente los componentes humano, animal y ambiental; para determinarlo es necesario revisar su contenido.

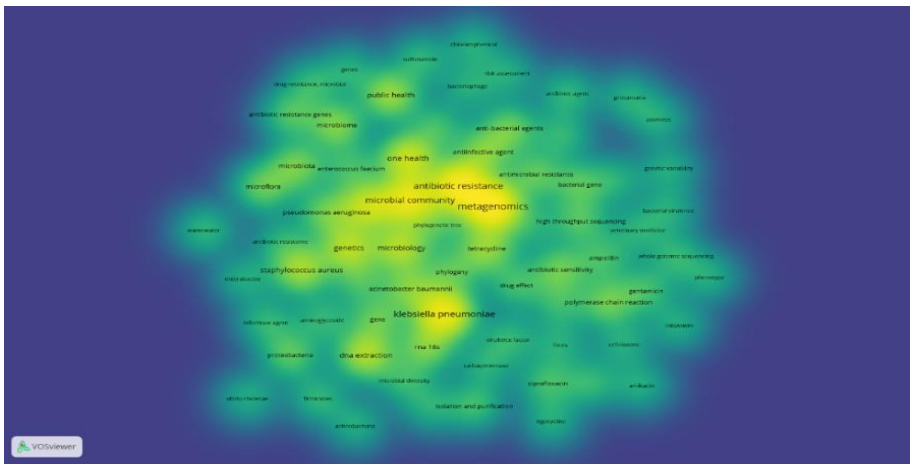


Figura 3. Visualización de densidad de palabras clave. Las zonas amarillas con mayor intensidad representan una mayor concentración temática dentro de la red bibliométrica.

Por otro lado, China, Estados Unidos y Reino Unido destacaron por sus conexiones en la red internacional. También participaron España, Canadá, Australia, Suiza, Nigeria y Chile, lo que muestra relaciones de colaboración entre países de distintas regiones. Estos vínculos representan publicaciones compartidas por investigadores con adscripciones en diferentes países y permiten reconocer la dimensión internacional del conjunto estudiado.

En la red de coautoría se observaron dos agrupaciones principales. La primera reunió a Zhang, Y., Zhang, M., Li, H. y Wang, D., mientras que la segunda incluyó a Wang, M., Li, J. y Yang, J. Las líneas entre los autores indican su participación conjunta en publicaciones. Wang, M. presentó conexiones con integrantes de ambas agrupaciones, entre ellos Zhang, Y., Zhang, M. y Li, H., por lo que ocupó una posición de enlace entre los grupos representados. Asimismo, Zhang, M. mantuvo vínculos con Wang, M. y Li, J., mostrando que la colaboración se extendió más allá de su propia agrupación. Esta estructura permite identificar equipos de trabajo y autores que conectan distintas colaboraciones. Tales vínculos ofrecen oportunidades para el intercambio de métodos y experiencias, aunque el mapa no permite determinar por sí solo qué conocimientos se compartieron ni la calidad de las investigaciones.

Conclusión

El análisis bibliométrico de 43 publicaciones mostró una tendencia general de crecimiento en la investigación sobre microbiota bacteriana, enfermedades respiratorias y Una Sola Salud, con la mayor producción científica en 2025. La resistencia antimicrobiana, las comunidades bacterianas y las herramientas moleculares de secuenciación destacaron como ejes temáticos de la literatura analizada.

Su conexión señala que el interés científico comprende tanto la identificación de los microorganismos como el estudio de sus características genéticas y su relación con la salud humana, animal y ambiental. Las redes permitieron reconocer grupos de colaboración y conexiones internacionales, con una participación destacada de Estados Unidos, China y Reino Unido. Estos hallazgos ofrecen un panorama de los temas y actores que articulan el conjunto estudiado, cuyo alcance corresponde a los documentos recuperados mediante la estrategia de búsqueda utilizada en Scopus.

La principal aportación del trabajo es proporcionar una base organizada para orientar la revisión y formulación de nuevas preguntas de investigación. Para la producción ovina y caprina de zonas áridas, este panorama permite reconocer líneas y herramientas pertinentes para estudiar las comunidades bacterianas y la resistencia antimicrobiana. Su aplicación en regiones como la Comarca Lagunera requiere examinar la evidencia específica por especie y sistema productivo, de manera que las futuras investigaciones respondan a las condiciones locales y generen conocimiento útil para la producción animal bajo el enfoque de Una Sola Salud.

Referencias

Ceric, O., Tyson, G. H., Goodman, L. B., Mitchell, P. K., Zhang, Y., Prarat, M., Cui, J., Peak, L., Scaria, J., Antony, L., Thomas, M., Nemser, S. M., Anderson, R., Thachil, A. J., Franklin-Guild, R. J., Slavic, D., Bommineni, Y. R., Mohan, S., Sanchez, S., . . . Reimschuessel, R. (2019). Enhancing the one health initiative by using whole genome sequencing to monitor antimicrobial resistance of animal pathogens: Vet-LIRN collaborative project with veterinary diagnostic laboratories in United States and Canada. *BMC Veterinary Research, 15*, Article 130. https://doi.org/10.1186/s12917-019-1864-2

Dickson, R. P., Erb-Downward, J. R., Martinez, F. J., & Huffnagle, G. B. (2016). The microbiome and the respiratory tract. *Annual Review of Physiology, 78*, 481–504. https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-021115-105238

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research, 133*, 285–296. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070 ideas.repec.org

Hoelzer, K., Wong, N., Thomas, J., Talkington, K., Jungman, E., & Coukell, A. (2017). Antimicrobial drug use in food-producing animals and associated human health risks: What, and how strong, is the evidence? *BMC Veterinary Research, 13*, Article 211. https://doi.org/10.1186/s12917-017-1131-3 Springer Nature Link

Lacasta, D., González, J. M., Navarro, T., Saura, F., Acín, C., & Vasileiou, N. G. C. (2019). Significance of respiratory diseases in the health management of sheep. *Small Ruminant Research, 181*, 99–102. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.03.004 zaguan.unizar.es

Navarrete-Molina, C., Meza-Herrera, C. A., Herrera-Machuca, M. A., Macias-Cruz, U., & Veliz-Deras, F. G. (2020). Not all ruminants were created equal: Environmental and socio-economic sustainability of goats under a marginal-extensive production system. *Journal of Cleaner Production, 255*, Article 120237. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120237 www.sciencedirect.com

Organización Mundial de la Salud. (2021, 1 de diciembre). *El grupo tripartito y el PNUMA respaldan la definición de «Una sola salud» proporcionada por el Cuadro de Expertos de Alto Nivel para el Enfoque de «Una sola salud»*. https://www.who.int/es/news/item/01-12-2021-tripartite-and-unep-support-ohhlep-s-definition-of-one-health who.int

Shrivastava, D. P., Saminathan, M., Niyogi, D., Dharanesha, N. K., Singh, K. P., Singh, S., Yadav, V., Kumar, H., & Chaudhary, J. K. (2025). Isolation, molecular characterization, and pathological findings of important bacterial respiratory infections in goats of Eastern Plain Zone of Uttar Pradesh, North India. *Journal of Pure and Applied Microbiology, 19*(1), 723–746. https://doi.org/10.22207/JPAM.19.1.63 microbiologyjournal.org

Sifuentes-Lamónt, P. I., Meza-Herrera, C. A., Véliz-Deras, F. G., Alvarado-Espino, A. S., Alvarado-Espino, A. V., Calderón-Leyva, G., Angel-Garcia, O., Carrillo-Moreno, D. I., Contreras-Villarreal, V., & Delgado-González, R. A. (2022). Multifaceted interplay among social dominance, body condition, appetitive and consummatory sexual behaviors, and semen quality in Dorper rams during out-of-season and transition periods. *Animals, 12*(23), Article 3339. https://doi.org/10.3390/ani12233339 era.ujat.mx

Simões, J., Abecia, J. A., Cannas, A., Delgadillo, J. A., Lacasta, D., Voigt, K., & Chemineau, P. (2021). Review: Managing sheep and goats for sustainable high yield production. *Animal, 15*(Suppl. 1), Article 100293. https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100293 pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

Tajonar, K., López Díaz, C. A., Sánchez Ibarra, L. E., Chay-Canul, A. J., Gonzalez-Ronquillo, M., & Vargas-Bello-Pérez, E. (2022). A brief update on the challenges and prospects for goat production in Mexico. *Animals, 12*(7), Article 837. https://doi.org/10.3390/ani12070837 agris.fao.org

van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics, 84*(2), 523–538. https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3 Springer Nature Link

Vargas-Bello-Pérez, E., López Díaz, C. A., Ruiz-Romero, R. A., Chay-Canul, A. J., Lee-Rangel, H. A., Gonzalez-Ronquillo, M., Ghavipanje, N., & Tajonar, K. (2023). A brief update on sheep production in Mexico: Challenges and prospects. *Tropical and Subtropical Agroecosystems, 26*(3), Article 101. https://doi.org/10.56369/tsaes.4872

ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES NATIVAS DE LA SELVA BAJA CADUCIFOLIA COMO ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN Y RECUPERACIÓN DE SUELOS EN LA UES AMATEPEC

Ricardo Telles Antonio[1], Dora Alicia García García[2*], Genaro Esteban García Mosqueda[3]

[1]Universidad Mexiquense del Bicentenario, Unidad de Estudios Superiores Amatepec. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Saltillo. [3]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. *Autor de correspondencia: doragarcia101275@gmail.com

Introducción

La expansión de la frontera agropecuaria, en los últimos años, ha producido cambios sustanciales en los sistemas de uso de la tierra, ingresando en áreas naturales de bosques, praderas, pastizales y humedales. Estos cambios contribuyeron a la pérdida o destrucción de hábitat, su fragmentación y disminución de biodiversidad, tanto a nivel de especies como de paisajes. La cobertura vegetal de la selva baja caducifolia ha disminuido considerablemente debido a la ganadería extensiva, la extracción de madera, la agricultura y los incendios forestales. La superficie deforestada estimada en 1992 para esta selva en México fue de 163,000 hectáreas (Moreno y Paradowska, 2009). Sin embargo, Masera et al. (1997) consideran que la deforestación de este tipo de vegetación alcanza tasas de más de 300 mil ha por año, debido a las actuales políticas de desarrollo rural y los problemas de tenencia de la tierra (Moreno y Paradowska, 2009). En la Cuenca del Balsas las selvas bajas caducifolias conforman un territorio con altos niveles de diversidad florística (Rzedowski, 2006; Trejo, 2010) y de endemismos regionales y locales como parte de ella, la región de tierra caliente del Estado de México se ha descrito como un área florísticamente diversa (Zepeda et al., 2017).

Materiales y métodos

Área de estudio. La investigación se desarrolló en la Unidad de Estudios Superiores Amatepec ubicada en la localidad de Palmar Chico, municipio de Amatepec, Estado de México (Figura 1), las coordenadas de ubicación son 18. 69935 de latitud Norte y 100.37257 de longitud Oeste y presenta una altitud promedio de 776 msnm. Según la clasificación de Köppen (García, 2004.) el clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media. Los tipos de suelos predominantes son Phaeozem y Regosol (INEGI, 2020).

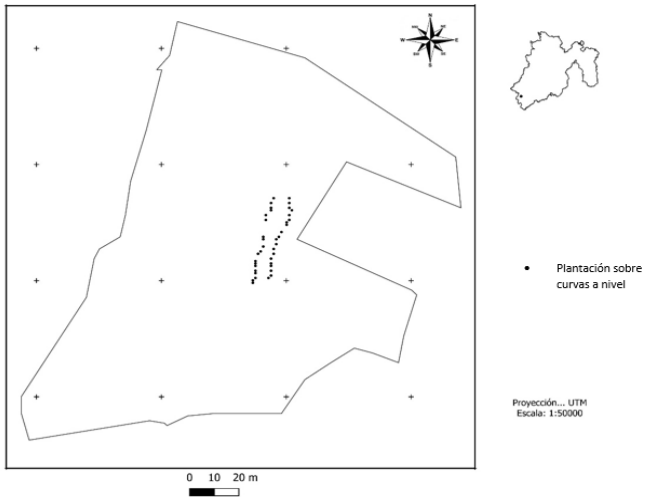


Figura 1. Ubicación del área de estudio, plantación sobre las curvas a nivel.

Producción de planta. Para la investigación se consideraron tres especies leñosas, el criterio de selección fue que presentaran alta densidad de individuos en la selva baja caducifolia por su uso para construcción, medicinal, ornamental, producción de leña y producción de tintes en la región (Zepeda et al., 2017). Las plántulas fueron producidas en el vivero forestal ubicado dentro de la Unidad de Estudios Superiores Amatepec en el municipio de Amatepec. Las semillas fueron colectadas de árboles padre de la región durante el mes de abril de 2024. Las semillas fueron sembradas en bolsas de polietileno negro de 7 cm de diámetro por 27 cm de altura, con una mezcla de sustrato compuesta por 100 % tierra de monte. La producción de planta se realizó en camellones sobre el suelo con malla sombra color negra del 90 % y se regaron una vez al día. La producción se realizó en el mes de mayo del año 2024.

Reforestación. Previo a la plantación se trazaron dos curvas de nivel con una longitud de 20 y 44 metros lineales respectivamente con una separación de 6.00 m, en cada línea se ubicaron los puntos donde se realizó la reforestación con una distancia entre plántulas de 2 m. Se realizaron cepas de 0.30 m de diámetro por 0.30 m de profundidad, utilizando palas y barretas. En cada cepa se agregaron 200 g de composta. En octubre del año 2024 se realizó la reforestación, el número de individuos y las dimensiones de altura y diámetro del cuello de las plántulas que fueron plantadas se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Nombre científico, nombre común, número de planta, altura y diámetro de cuello (valores promedios ± desviación estándar) de las plantas utilizadas en la reforestación.

Nombre científico	Nombre común	Número de plantas	Altura (cm)	Diámetro cuello (mm)	Índice de robustez
Crescentia alata Kunth.	cirian	17	36.00 ± 8.77	6.00 ± 1.73	5.98 ± 2.17
Dalbergia spp	granadillo	3	30.83 ± 5.06	4.00 ± 1.00	8.00 ± 0.99
Swietenia humilis Zucc.	caobilla o zopilote	12	35.91 ± 8.72	5.00 ± 1.83	7.00 ± 2.52

Evaluación en campo. Se realizaron 6 mediciones cada semana, siendo la primera evaluación en octubre de 2024, recién concluida la reforestación, para posteriormente hacer cinco mediciones de noviembre a diciembre de 2024.

Registro de variables. Los datos que se tomaron en cuenta son: mediciones dasométricas (diámetro del cuello (mm), altura (cm)).

$$IR = \frac{Altura\ (cm)}{Diámetro\ cuello\ de\ la\ raíz\ (mm)}$$

***Evaluación de la supervivencia de la plantación*.** La evaluación de la sobrevivencia permite obtener una medida cuantitativa del éxito de la plantación bajo la influencia de los factores del sitio. El valor que se desea conocer es la proporción de árboles que están vivos respecto a los árboles efectivamente plantados o la densidad mínima establecida o autorizada, si ésta es mayor; la medición se hace en cada árbol. Para estimar la supervivencia de las especies establecidas en la reforestación se utilizó la ecuación propuesta por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2010) y empleada por Mata-Balderas et al., (2024).

$$\%S = \left(\frac{pi}{p\ (N)}\right) * N$$

Donde:
%S = Porcentaje de supervivencia
pi = Número de plantas vivas
p(N) = Número de plantas contadas por cada curva a nivel
N = Número de líneas de muestreo

***Análisis estadístico*.** Se realizó una prueba de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk a los parámetros de altura total (h) y diámetro del cuello (d_0) de las especies evaluadas. Para determinar si los valores presentaban diferencias estadísticas para los datos paramétricos se utilizó un ANOVA de un factor, y para los no paramétricos la prueba de H de Kruskal-Wallis. Para determinar en qué fecha de medición existió diferencia se realizaron pruebas post hoc; la prueba de Tukey para el ANOVA y la de Dunn´s para la prueba de H de Kruskal-Wallis (Mata-Balderas et al., 2024). Todos los análisis se realizaron en el Software PAST.

Resultados y discusión

Altura. Los resultados indicaron que existen diferencias significativas (p>0.05) en el crecimiento de los árboles durante las seis mediciones de las especies evaluadas. Las especies presentaron un ligero aumento en su altura promedio entre la primera y última evaluación, la especie que tuvo mayor crecimiento fue Dalbergia spp con 57.00 cm (Tabla2). Aunque la altura de la planta se utiliza para su calificación, diversos estudios indican que la altura inicial no se correlaciona con la supervivencia; es decir, por si sola es de valor limitado, pero combinada con otras variables como el diámetro, influye de manera importante. La altura de la planta también influye en su capacidad fotosintética, pero no permite predecir la supervivencia en forma clara. Plantas pequeñas menores a 10 cm, tienen poca superficie fotosintética, lo que ocasiona que tengan un crecimiento menor y sean más susceptibles a sufrir daños por insectos, mientras que en plantas grandes mayores a 15 cm de altura y diámetro del cuello menor a 4 mm, la superficie fotosintética es mayor y en teoría su crecimiento es superior; sin embargo, la tasa de transpiración es alta y en condiciones de sequía el riesgo de morir se incrementa; además, están más expuestas a sufrir daños por viento, para evitar lo antes mencionado es preferible que la planta seleccionada en vivero tenga la altura que le permita competir y desarrollarse en campo (Prieto et al., 2003); para establecer la altura adecuada de la planta es necesario analizar las condiciones de calidad del sitio de plantación.

Cuadro 2. Nombre científico, nombre común, número de planta, altura y diámetro de cuello (valores promedios ± desviación estándar) de las plantas utilizadas en la reforestación.

Nombre científico	Nombre común	Número de plantas	Altura (cm)	Diámetro cuello (mm)	Índice de robustez
Crescentia alata Kunth.	cirian	13	53.38 ± 7.34	9.00 ± 1.19	6.06 ± 1.04
Dalbergia spp.	granadillo	2	57.00 ± 11.31	8.00 ± 0.71	8.00 ± 2.23
Swietenia humilis Zucc.	caobilla o zopilote	9	53.00 ± 7.14	7.00 ± 1.41	7.00 ± 1.18

***Diámetro del cuello*.** Dos de las tres especies no mostraron incrementos significativos en su crecimiento (*p<0.05*). La única especie que presentó diferencias estadísticas significativas en el crecimiento de diámetro del cuello (d_0) fue *Crescentia alata* (*p=0.007*). Considerando el diámetro del cuello inicial y final de cada especie se estimó la diferencia en crecimiento, obtenido que la especie con mayor valor fue *Crescentia alata* con 9.0 mm. La especie con menor crecimiento fue *Swietenia humilis* con 2 mm. Se considera como el mejor indicador individual del crecimiento y de supervivencia en campo, define la robustez del tallo y se asocia con el vigor de la planta. Plantas con diámetros mayores a 5 mm son más resistentes al doblamiento y toleran mejor los daños por plagas y fauna nociva, aunque esto varía de acuerdo con la especie (Mexal y Landis, 1990).

Índice de robustez. Respecto a la relación entre la altura de la planta (cm) y el diámetro (mm) la especie que mostró valores bajos fue *Crescentia alata* con un valor inicial de 5.98 y al final de la evaluación fue de 6.06. Valores bajos están asociados a mejor calidad de planta, ya que es más robusta. En cambio, valores altos indican que la planta es más esbelta y menos fuerte al existir desproporción entre la altura y el diámetro de la planta; generalmente se recomienda que sea menor a seis (Prieto et al., 2003). Este valor estima el grado de resistencia de las plantas a factores adversos (Cuevas, 1995).

Supervivencia. La supervivencia de las especies a tres meses de su establecimiento fue de 76.47 %, 75 % y 66.67 % para *C. alata*, *S. humilis* y *D. spp* respectivamente.

Conclusiones

Es viable establecer especies nativas de la región debido a su adaptación a las condiciones edafoclimáticas de la zona. Las especies establecidas requieren monitoreo para determinar su comportamiento.

Referencias

CONAFOR. (2010). Manual básico de Prácticas de reforestación.

Cuevas R., R.A. 1995. Calidad de planta. In: Viveros Forestales. Pub. Esp. No.3. Centro de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP. México D.F. 112 p.

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México.

INEGI. (2020). Compendio de información municipal Amatepec 2020. Amatepec, México (15008).

Masera, O. R., M. J. Ordóñez y R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long–term scenarios. Climatic Change 35(3): 265–295.

Mata-Balderas, J. M., Alanís-Rodríguez, E., Sarmiento-Muñoz, T. I., Rodríguez-Alejandro, E. S., & Garza-Pérez, A. C. (2024). Supervivencia y crecimiento de una reforestación de seis especies del matorral espinoso tamaulipeco en el noreste de México. Polibotánica, (58), 135-147.

Mexal, J.G. y T.D. Landis. 1990. Target seedling concepts: Height and diameter. In: Rose R., S.J. Campbell and T.D. Landis (eds.) Target seedling symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. GTR RM-200. USDA, Forest Service. USA. p. 17-36.

Moreno-Casasola, Patricia, & Paradowska, Krystina. (2009). Especies útiles de la selva baja caducifolia en las dunas costeras del centro de Veracruz. Madera y bosques, 15(3), 21-44. Recuperado en 04 de abril de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712009000300002&lng=es&tlng=es.

Prieto R., J. A., G. Vera C., y E. Merlín B. 2003. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico Núm. 12. Primera reimpresión. Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP. Durango, Dgo. 24 p.

Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México (1a ed.). Ciudad de México, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Trejo, I. (2010). Las selvas secas del Pacífico Mexicano. En G. Ceballos Dirzo, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury y R. Dirzo, Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México (1a ed., pp. 41-51). Ciudad de México, México: Fondo de cultura económica-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Zepeda Gómez, Carmen, Burrola Aguilar, Cristina, White Olascoaga, Laura, & Rodríguez Soto, Clarita. (2017). Especies leñosas útiles de la selva baja caducifolia en la Sierra de Nanchititla, México. Madera y bosques, 23(3), 101-119. https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331426

REVISION BIBLIOGRAFICA DE LA DEFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN DE BOSQUES BOREALES

Dora Alicia García García[1]*, Genaro Esteban García Mosqueda[2], Ricardo Telles Antonio[3], Diana Yemilet Ávila Flores[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Saltillo [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro [3]Universidad Mexiquense del Bicentenario, Unidad de Estudios Superiores Amatepec. *Autor de Correspondencia: doragarcia101275@gmail.com

Introducción

Los bosques boreales proveen el 37% de la madera a nivel mundial y representan el 45% de la producción de coníferas. Aunque su aprovechamiento comenzó en el siglo XVIII bajo una extracción intensiva, a mediados del siglo XIX se reconoció el valor de la silvicultura. A partir de entonces, se implementaron sistemas de corta selectiva con resultados exitosos en las regiones más meridionales del continente (Hagner, 1995).

El acelerado incremento de la deforestación responde, entre sus causas principales, a la expansión agrícola y a la consecuente homogeneización del paisaje. Este proceso reduce la superficie de hábitats seminaturales, lo que impacta de forma directa en la biodiversidad y provoca la pérdida de numerosas especies (Donald, 2004).

Los motores directos de la deforestación y degradación de los bosques responden a dinámicas económicas, debilidades institucionales y marcos políticos que promueven la conversión del suelo hacia usos agropecuarios. En contraste, las causas indirectas o subyacentes abarcan condicionantes macroambiéntales como el cambio climático, la fragmentación del paisaje y la introducción de especies invasoras (Lund y Simula, 2009; Bustamante et al., 2015).

Materiales y métodos:

Para el desarrollo del presente estudio se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura fundamentada en un enfoque multidisciplinario. El proceso de búsqueda y selección de información se estructuró a partir de tres categorías de fuentes principales:

1. Literatura científica indexada: Artículos y publicaciones arbitradas para el sustento teórico y conceptual sobre el cambio metodológico y ecológico.
2. Portales institucionales: Informes y documentación oficial de organismos especializados.
3. Prensa de investigación: Reportes periodísticos de profundidad para contextualizar las dinámicas territoriales contemporáneas.

A través de la sistematización y análisis temático de las fuentes seleccionadas, se examinó el impacto de la intervención antrópica en la transformación de los ecosistemas. Específicamente, se tomaron como marco de referencia las delimitaciones conceptuales de autores clave como Altamirano (2010), quien identifica a la deforestación como un factor determinante en la alteración continua de los ecosistemas, y Sumit (2012), cuyo esquema conceptual define la deforestación a partir de la transición de cobertura forestal hacia usos no forestales (agrícolas, pecuarios y urbanos) y sus consecuencias en la pérdida de biodiversidad.

Respecto a la degradación forestal, Sasaki y Putz (2009) sostienen que ocurre cuando los bosques reducen su capacidad para proveer servicios ecosistémicos o sufren modificaciones drásticas en su composición de especies, lo que genera afectaciones ecológicas, sociales y culturales. Al respecto, Tarrasón (2010) y Souza (2010) coinciden en la estrecha relación entre ambos procesos; no obstante, la degradación suele actuar como un detonante previo de la deforestación, aun cuando los bosques pueden permanecer degradados durante periodos prolongados sin llegar a ser deforestados por completo (Armenteras, 2016)

El bosque boreal constituye un conjunto de ecosistemas dominados por coníferas como: piceas, abetos, pinos y alerces; adaptadas a las rigurosas condiciones subárticas. Este bioma se concentra en el eje septentrional de la Tierra, distribuyéndose principalmente entre los 50° y 60° de latitud norte. A pesar de restringirse exclusivamente al hemisferio norte (Figura 1), representa uno de los mantos forestales más extensos del planeta: abarca aproximadamente 920 millones de hectáreas (Kuusela, 1992), lo que equivale al 29 % de la superficie forestal global y al 73 % de los bosques de coníferas.

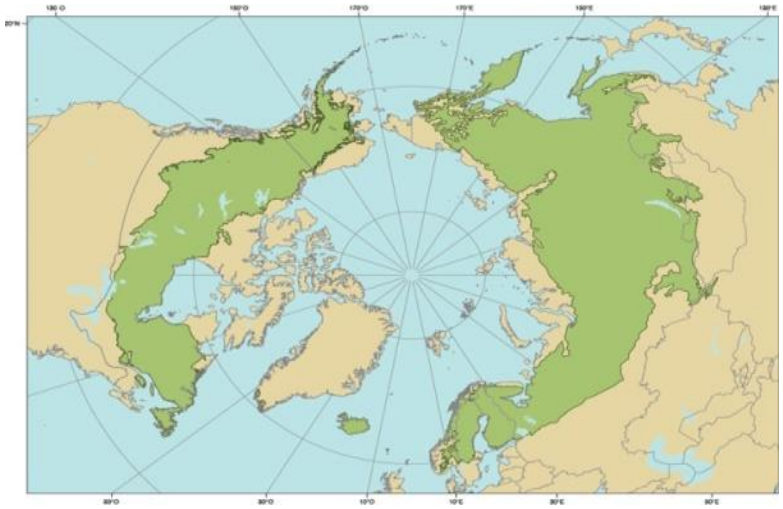


Figura 1. Distribución natural del bosque boreal localizado en el hemisferio norte.

Los bosques de oyamel (*Abies*) son comunidades vegetales densas y de gran porte (hasta 30 m de altura) que se distribuyen en las zonas más frías y húmedas, en un rango altitudinal de 2000 a 3400 m. Su presencia se concentra en el Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre del Sur; donde forman amplias masas forestales, encontrándose de forma más fragmentada en otras serranías. Por su parte, los bosques de ayarín o pinabete (dominados por los géneros *Picea* y *Pseudotsuga*) se desarrollan bajo condiciones similares a las del oyamel, pero presentan una mayor distribución en el norte del país, principalmente en la Sierra Madre Oriental, además de registros en la Sierra Madre Occidental, el Eje Neovolcánico y otras áreas relictuales.

Sin embargo, a pesar de las afinitas florísticas y faunísticas entre estos bosques mexicanos y los ecosistemas boreales, las condiciones climáticas locales exhiben marcadas diferencias. Esto otorga a las especies mexicanas tasas de crecimiento e incrementos maderables significativamente superiores a las registradas en las latitudes boreales (Challenger et al., 2008).

Resultados y discusión

A partir del análisis de la literatura consultada, se concluye que las causas directas de la deforestación y la degradación forestal están estrechamente vinculadas a factores económicos, debilidades institucionales, políticas que incentivan el cambio de uso de suelo y la expansión de las fronteras agrícola y ganadera. Por otro lado, entre los factores indirectos emergen dinámicas como el cambio climático, la fragmentación de hábitats y la propagación de especies invasoras (Lund y Simula, 2009; Bustamante et al., 2015).

En el caso particular de los bosques boreales, el régimen de incendios presenta cuatro características fundamentales para comprender la dinámica de sus poblaciones: la ocurrencia de incendios de copa, la extensión de la superficie afectada, la frecuencia del evento y el volumen de masa forestal destruida (Johnson, 1992). Desde 2015, Canadá ha experimentado varios años con incendios severos, incluido 2023, la peor temporada de incendios registrada (Barnes et al., 2025). En este contexto, los bosques y el clima mantienen una relación de retroalimentación constante, donde la pérdida y degradación de la cobertura arbórea actúan simultáneamente como causa y consecuencia del cambio climático global.

Para Cabrera, et al.,(2026) las actividades antrópicas como la minería en especial de bauxita, aluminio, hierro, cobre, plata y Oro llevan consigo la deforestación la cual está asociada a un aumento de las emisiones de CO2, también, revelan que, en los países con mayor actividad minera como Rusia, China y Brasil existe una mayor tasa de erosión, lo cual se ha evidenciado en aumento de temperaturas, lo cual cambio los regímenes de precipitación aumentando los riesgos de inundación, sequía y erosión, por lo que se recomiendan establecer programas de reforestación con especies autóctonas para recuperar las áreas degradadas.

En el territorio mexicano se observa la presencia de elementos de origen holártico. Al respecto, Leopold (1950) señaló en su trabajo Vegetation Zones of Mexico que los bosques de Abies constituyen componentes emparentados con el bosque boreal.

Conclusiones

Con base en lo expuesto y analizado en este documento, se vislumbra que el fuego constituye una de las principales causas de deforestación y degradación en los bosques boreales. Si bien el fuego desempeña un papel ecológico regulador en estos ecosistemas, la alteración de sus patrones naturales ha incrementado su frecuencia e intensidad, transformándolo en un factor desestabilizador.

Por otra parte, el cambio de uso de suelo, impulsado por la expansión de la frontera agrícola, los asentamientos humanos y el desarrollo industrial, representa otra causa determinante de la pérdida forestal. En particular, las actividades industriales generan un grado severo de degradación, lo que incrementa sustancialmente la dificultad para revertir el deterioro ecológico.

Desde una perspectiva socioeconómica, dado que los bosques boreales abastecen el 37% de la madera a nivel mundial, la pérdida continua de esta cobertura arbórea generaría un impacto económico considerable en la industria forestal global y en la estabilidad de los países productores.

Referencias

Altamirano, A. 2010. Deforestación en ecosistemas templados de la precordillera andina del centro-sur de Chile. BOSQUE. 31(1):53-64

Armenteras, D., M. González, J. Retana, M. Espelta. 2016. Degradación de bosques en Latinoamérica: Síntesis conceptual, metodologías de evaluación y casos de estudio nacionales.Publicado por IBERO-REDD+.

Barnes C., Jain P., Keeping TR, Gillett N., Boucher J., Gachon P., et al. 2025. Desentrañando los roles de la variabilidad natural y el cambio climático en la temporada de incendios de 2023 en Canadá.

Bustamante, M., I. Roitman, T. Aide, A. Alencar, L. Anderso, L. Aragão, G. Asner, J. Barlow, E. Berenguer, J. Chambers, H. Costa, T. Fanin, G. Ferreira, N. Ferreira, M. Keller, E. Magnusson, L. Morales, D. Morton, J. Ometto, M. Palace, C. Peres, D. Silvério, S. Trumbore, G. Vieira. 2015. Towards an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. Glob Change. Doi:10.1111/gcb.13087

Challenger, A., y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 87-108.

Donald, P. 2004. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. Conservation Biology. 18:17–37.

Hagner, S. 1995. Silvicultura en los bosques boreales. Corporativo: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación., Roma, Italia. Unasylva. 46(181):18-25.

Jhonson, E. 1992. Fire and Vegetation Dynamics: Studies from the North American Boreal Forest. Cambrdge University Press. Cambridge, Great Britain. pp 2-6

Kuusela, K., 1992. Reseña de los bosques boreales. En los bosques boreales. Unasylva, FAO, 43(170):22.

Leopold, A.S. 1950. Vegetation zones of Mexico. Ecology 31: 507–518.

Lund H. 2009. What is a degraded forest. White Paper on Forest Degradation Definitions Prepared for FAO. Forest Information Services. Gainesville, VA, USA. 39p.

Sasaki, N., E. Putz. 2009. Critical need for new definitions of “forest” and “forest degradation” in global climate change agreements. Conserv Lett 2:226–232. doi:10.1111/j.1755-263X.2009.00067

Simula, M. 2009. Hacia una definición de Degradación de los bosques: Análisis comparativo de las definiciones existentes. Roma, Italia. 54p.

Souza, M., V. Siqueira, H. Sales. 2013. Ten year landsat classification of deforestation and forest degradation in the brazilian amazon. Remote Sens 5:5493–5513. doi: 10.3390/rs5115493

Sumit, C, S. Ghosh, C. Suresh, A. Dey, G. Shukla. 2012. Deforestation: Causes, Effects and Control Strategies. Global Perspectives on Sustainable Forest Management. InTech. ISBN: 978-953-51-0569-5. 300p. Recuperado: http://www.intechopen.com/books/globalperspectives-on-sustainable-forest-management/deforestation-causes-effects-and-control-strategies

Tarrasón, D., T. Urrutia, F. Ravera. 2010. Conservation status of tropical dry forest remnants in Nicaragua: Do ecological indicators and social perception tally Biodiversity Conservation 19:813–827. doi:10.1007/s10531-009-9736-x.

DESEMPEÑO ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE *Opuntia spp*. EN MÉXICO: UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

Daniela Vega Vega[1*], Ricardo Mata González[1], Blanca Isabel Sánchez Toledano[2], Luis Gerardo Yáñez Chávez[1]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Carretera Gómez Palacio Chihuahua km 40. 35230 Bermejillo, Durango, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Km 24.5 Ctra. Zacatecas - Fresnillo, Calera de V.R., Zacatecas, México. *Autor de correspondencia: al26510462@chapingo.mx

Introducción

En zonas áridas y semiáridas, *Opuntia* spp. destaca por su adaptación a la escasez hídrica y su uso eficiente de recursos naturales (Nobel, 2002; Inglese et al., 2017). Perteneciente a las cactáceas, su metabolismo CAM le confiere alta eficiencia en el uso del agua y tolerancia a sequías prolongadas (Torres-Ponce et al., 2017), lo que motiva investigaciones en ámbitos ambientales, económicos y de sostenibilidad (Naorem et al., 2024). Este creciente interés científico ha generado un alto volumen de publicaciones sobre cambio climático, sostenibilidad y aprovechamiento económico, lo que hace necesario el uso de herramientas de análisis sintético para identificar tendencias y vacíos de información. En este contexto, la bibliometría (o cienciometría) aplica métodos estadísticos a las publicaciones científicas para examinar las relaciones entre autores, revistas, palabras clave y citas (Manterola et al., 2024).

A pesar del incremento de la literatura sobre Opuntia spp., la información que aborde simultáneamente su desempeño económico y ambiental en México es escasa. Por ello, el objetivo del presente estudio fue realizar un mapeo bibliométrico de *Opuntia* spp. mediante herramientas de visualización científica y análisis de redes a partir de la base de datos Scopus.

Materiales y métodos

Se realizó un análisis bibliométrico utilizando la base de datos Scopus de Elsevier la cual integra una gran cantidad de artículos científicos, libros, capítulos de libros, que permite obtener información relevante, confiable, actualizada y de alta calidad, lo que facilita la exportación de registros bibliográficos compatibles (RIS) con herramientas de análisis bibliométrico como el programa VOSviewer de forma directa y precisa (Elsevier, 2026). Los datos fueron procesados en el software VOSviewer versión 1.6.20 (Van Eck & Waltman, 2010), para generar mapas de red de coocurrencia de palabras clave. Se aplicó una técnica de visualización de red para identificar clústeres temáticos y una visualización de superposición para determinar la evolución temporal de los términos de investigación.

Se utilizaron datos de la base de datos Scopus (Elsevier, 2026). Se introdujo una ecuación de búsqueda que permitió identificar más de 100 citas que cubren el periodo 2000-2026. La ecuación de búsqueda empleada combinó términos taxonómicos, productivos, económicos y ambientales mediante operadores booleanos:

La ecuación de búsqueda fue la siguiente: (Opuntia OR "cactus pear" OR nopal OR "prickly pear") AND (agriculture OR crop OR farming OR cultivation OR "agricultural production") AND (econom* OR profit* OR income OR livelihood OR agribusiness OR "rural development" OR "value chain") AND (sustainab* OR environment* OR ecology OR "environmental impact" OR "climate change" OR "resource use") OR MEXICO.

Para elegir los documentos se leyeron los resúmenes de los documentos arrojados por la base de datos, lo que permitió identificar los estudios que realmente se enfocaron en el impacto ambiental y el desempeño económico del nopal. El análisis final incluyó 173 documentos distribuidos en artículos científicos (111), conferencias (31), revistas (16), capítulos de libro (13) y libros (1). Estos artículos se analizaron tanto por año de publicación como por título y se compararon con las palabras clave de los autores. Se procesaron los registros bibliográficos en el software VOSviewer, herramienta utilizada para construir y visualizar redes bibliométricas (Van Eck & Waltman, 2010) para generar mapas de coocurrencia de palabras clave mediante visualizaciones de red, superposición temporal y densidad.

Resultados y discusión

Desde el año 2000 hasta 2014, se observa un comportamiento relativamente estable, registrando entre tres y siete documentos por año. A partir de 2015 la tendencia es creciente ya que se analizaron valores entre nueve y veintiséis documentos anuales, al ser temas que han adquirido mayor relevancia dentro de diversas áreas del conocimiento, principalmente en el área ambiental y económica (Figura 1). Entre los artículos más relevantes en la literatura científica sobre el desempeño económico y ambiental del nopal, destacan los estudios de Abyar et al. (2026), Azad et al. (2026) y Jarray et al. (2026).

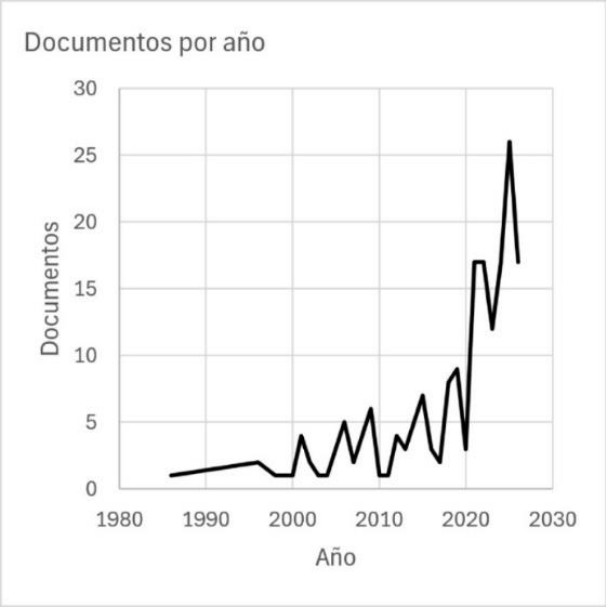


Figura 1. Evolución del desempeño económico y ambiental de *Opuntia spp*., en México (2000-2026).

Redes de Coocurrencia y Clústeres Temáticos. El análisis de red (Network Visualization) identificó cuatro clústeres principales que definen las líneas de investigación sobre *Opuntia spp.* (Figura 2):

1. Clúster Azul (Sistemática y Biología): Este grupo se centra en la caracterización biológica y taxonómica de la familia Cactaceae, con especial énfasis en el género *Opuntia* y en su relación con otras especies, como *Pyrus* y *Zea mays*. Desde la perspectiva eco fisiológica Nobel (2002) lo sustenta al analizar las adaptaciones morfológicas que permiten a estas especies prosperar en condiciones extremas de aridez.

2. Clúster Rojo (Producción y Sostenibilidad): Esta vertiente se enfoca en la producción agrícola, el aprovechamiento de la biomasa y la gestión de cultivos en regiones áridas. Destacan las aportaciones de Louhaichi et al. (2025) y de Naorem et al. (2024), quienes identifican al nopal como un recurso estratégico, clave para la mitigación de la desertificación, la restauración de suelos degradados y la generación de energías renovables, como el biogás.

3. Clúster Verde (Estudios Aplicados y Control): Este clúster agrupa temas de química de productos naturales, interacción ecológica y sustentabilidad social (livelihood) en el contexto de México. Al respecto, Torres-Madrid et al. (2026) examinan tanto el potencial socioeconómico de las cactáceas como la dinámica de los ecosistemas.

4. Clúster Morado (Viabilidad Económica): Finalmente, este nodo vincula el análisis económico con la eficiencia en el uso del agua. En esta línea Azad et al. (2026) evalúa la factibilidad económica de los sistemas de producción bajo restricciones de riego y de qué manera esta optimización retribuye en los ingresos del cultivo.

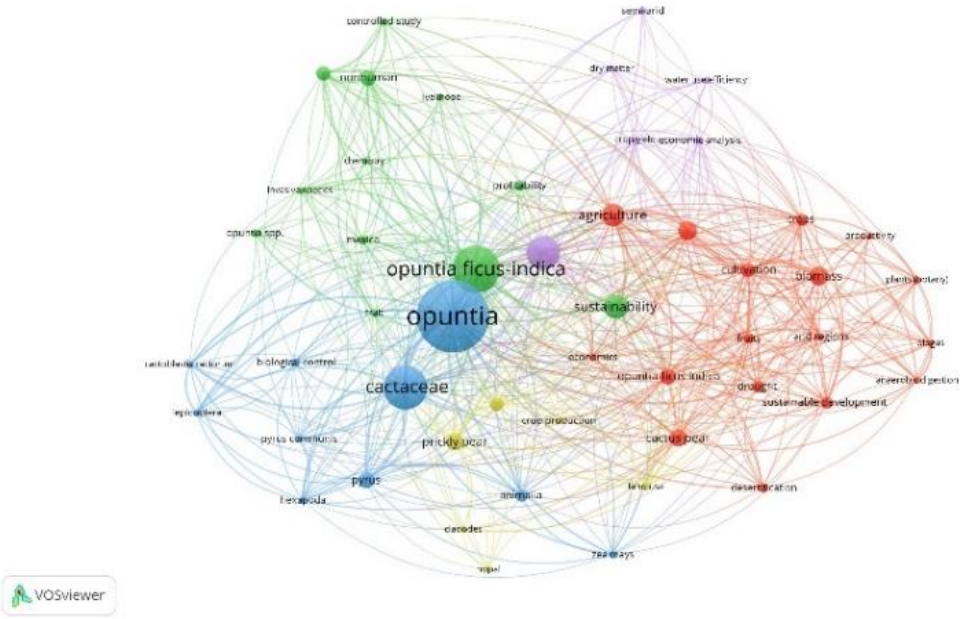


Figura 2. Mapa de Network Visualization Fuente: Elaboración propia en VOSviewer con Scopus (2026).

La visualización de superposición (Overlay Visualization) (Figura 3) permite identificar los temas que están marcando la pauta en la investigación actual (2020-2026) los cuales fueron: Análisis Económico/Rentabilidad, Biogás y Sostenibilidad, al existir un interés emergente en el aprovechamiento de la biomasa para energías renovables (Jarray et al., 2026; Naorem et al., 2024).

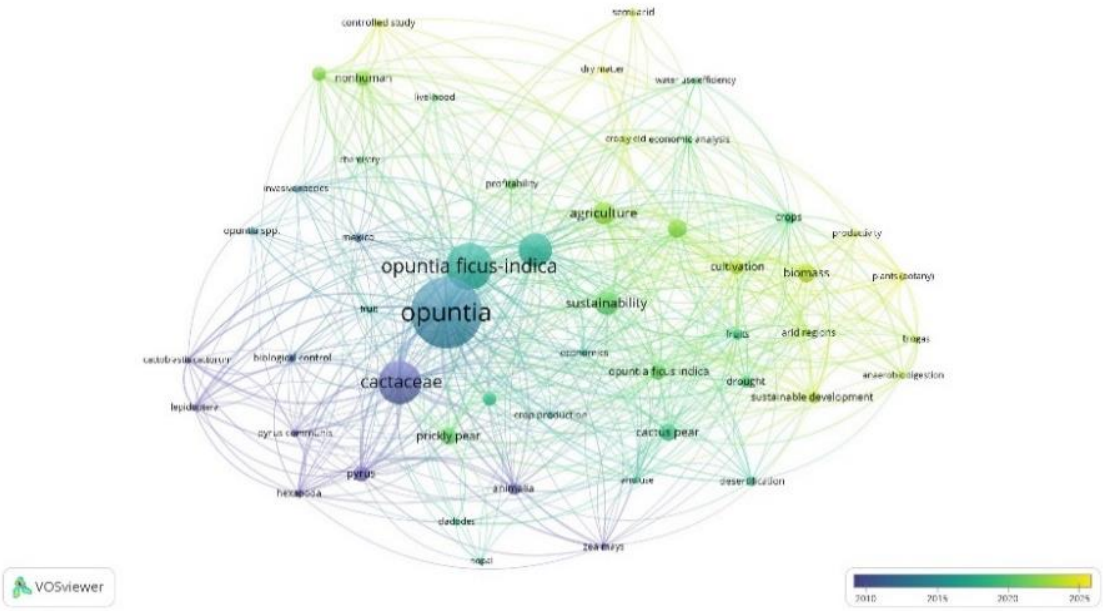


Figura 3. Mapa de Overlay Visualization. Fuente: Elaboración propia en VOSviewer con Scopus (2026).

Por su parte, la visualización por densidad muestra las áreas con mayor concentración de publicaciones. "Cactus pear", "sustainability", "climate change" y "economic performance" fueron los términos que tuvieron alta densidad y aparecen con gran frecuencia, lo que confirma su relevancia en la literatura reciente. Aquellos términos con densidad media como biogás, livelihood y resource use muestran un crecimiento progresivo. Aquellos que tienen baja densidad indicaron que existe poca investigación y fueron: soil biodiversity, ecosystem services y water footprint (Figura 4). Lo anterior, revela vacíos de información y oportunidades para futuros estudios (Sánchez-Toledano & Zegbe, 2021).

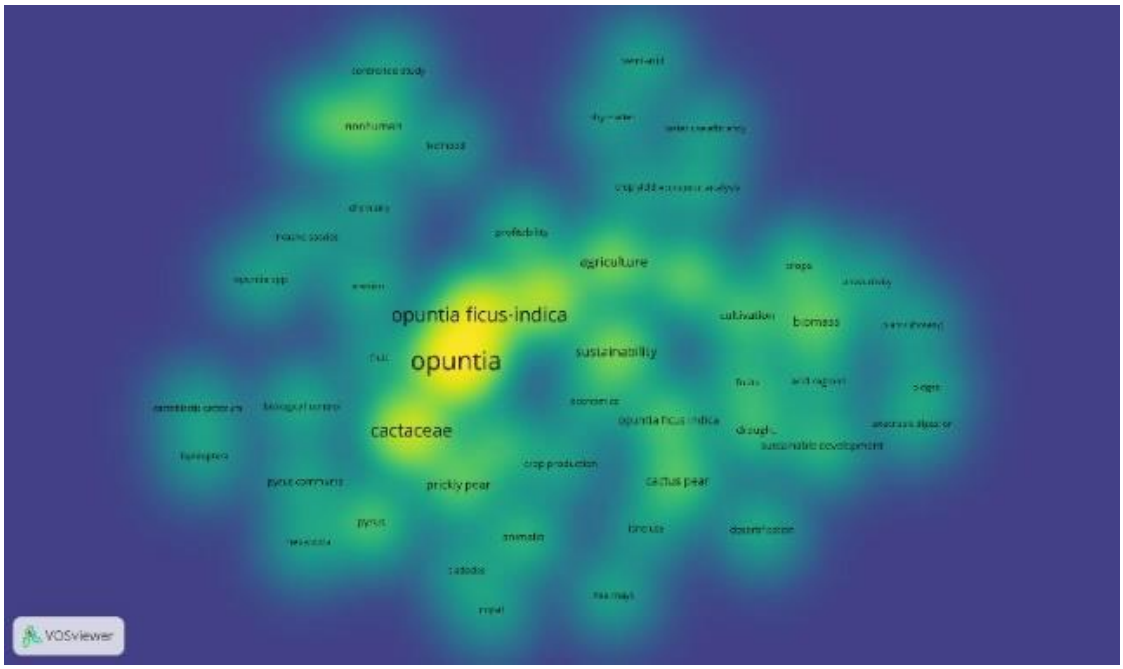


Figura 4. Mapa de Density Visualization. Fuente: Elaboración propia en VOSviewer con Scopus (2026).

Conclusiones

Esta investigación tuvo como objetivo analizar un mapeo bibliométrico de investigaciones científicas sobre el desempeño económico y ambiental de *Opuntia spp*., principalmente en México, pero también en otras regiones a través de herramientas de visualización científica y análisis de redes bibliométricas con VOSviewer utilizando información de Scopus. El tema ha despertado un amplio interés en la comunidad de investigadores, ya que se incrementó el número de publicaciones científicas a partir de 2015, alcanzando su máxima en el año 2026. (Naorem et al., 2024; Louhaichi et al., 2025).

A través del análisis de coocurrencia y densidad de palabras clave, este trabajo mostró las principales líneas de investigación donde se encuentra la mayor concentración de literatura: la evaluación económica, el aprovechamiento de biomasa, la sostenibilidad y el cambio climático. Asimismo, el análisis de densidad identificó áreas con escasa atención en la literatura científica actual. Estos vacíos representan oportunidades clave para futuras investigaciones en México, entre los vacíos más importantes se encuentra el estudio de la biodiversidad del suelo asociada a *Opuntia spp.*

Referencias

Abyar, H., Pakzad-Toochaei, S., & Einollahipeer, F. (2026). Comparative environmental and economic assessment of greenhouse cucumber and *Opuntia ficus-indica* cultivation in arid regions. *Scientific Reports, 16*(1), 11736. https://doi.org/10.1038/s41598-026-43088-5

Avelar-Rodríguez, D., & Toro-Monjaraz, E. M. (2018). PubMed: Clinical Queries, terminología MeSH y operadores Booleanos. *Revista de Medicina Clínica, 2*(3), 96–100. https://doi.org/10.5281/zenodo.1442811

Azad, A. K., Kayess, O., Purnota, S. J., Haque, A., Khan, H. I., & Hosain, S. (2026). Optimization of *in vitro* regeneration of *Opuntia ficus-indica* and acclimatization under humid subtropical conditions. *Plant Biosystems, 160*(3), 128. https://doi.org/10.1007/s44473-026-00134-4

Elsevier. (2026). *Scopus: A comprehensive abstract and citation database for impact makers*. https://www.elsevier.com/products/scopus

Inglese, P., Basile, F., & Schirra, M. (2002). Cactus pear fruit production. En P. S. Nobel (Ed.), *Cacti: Biology and uses* (pp. 163–183). University of California Press. https://doi.org/10.1525/california/9780520231573.003.0010

Jarray, F., Kotti, M. L., Slatni, A., Yacoubi, S., Ben Abdallah, M. A., Aschonitis, V., & Hermassi, T. (2026). Land degradation and resilience pathways: The role of *Opuntia ficus-indica* in semi-arid Tunisia. *Remote Sensing, 18*(5), 739. https://doi.org/10.3390/rs18050739

Louhaichi, M., Yigezu, Y. A., Hassan, S., Naorem, A., Mata-Gonzalez, R., Kumar, S., Hamdeni, I., Dana Ram, P., Kauthale, V. K., Al-Mahasneh, A. M., Al-Tawaieh, M. A., Sáenz, C., Abdallah, M. A. B., & Mora, M. (2025). Characterization of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) production systems and analysis of the adoption and economic viability of spineless cactus for animal feed in four continents. *Cogent Food & Agriculture, 11*(1), Article 2550493. https://doi.org/10.1080/23311932.2025.2550493

Naorem, A., Patel, A., Hassan, S., Louhaichi, M., & Jayaraman, S. (2024). Global research landscape of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) in agricultural science. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 8*, 1354395. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1354395

Nobel, P. S. (Ed.). (2002). *Cacti: Biology and uses*. University of California Press. https://doi.org/10.1525/california/9780520231573.001.0001

Quiroz, M., Varnero, M. T., Cuevas, J. G., & Sierra, H. (2021). Cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) in areas with limited rainfall for the production of biogas and biofertilizer. *Journal of Cleaner Production, 289*, 125839. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125839

Sánchez-Toledano, B. I., & Zegbe, J. A. (2021). Economic indices for the application of irrigation to enhance cactus pear fruit yield. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology, 39*(1), 73–81. https://doi.org/10.9734/ajaees/2021/v39i130504

Torres-Ponce, R. L., Morales-Corral, D., Ballinas-Casarrubias, M. de L., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2015). El nopal: Planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 6*(5), 1129–1142. https://doi.org/10.29312/remexca.v6i5.604

van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics, 84*(2), 523–538. https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3

DESCRIPCIÓN MORFOLOGÍA DE LAS SEMILLAS DE *Myrospermum sousanum* A. Delgado & M. C. Johnston

David Castillo-Quiroz[1], Adriana Antonio-Bautista[2]*, Francisco Castillo-Reyes[3], Marina López-Rodríguez[4], Dora A. García García[3], Froylan Meraz-Saavedra[5]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, calzada Antonio Narro No. 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315. [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Fitomejoramiento, calzada Antonio Narro No. 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Saltillo. Ctra. Saltillo - Zacatecas Km 342+119 No. 9515. Col. Hacienda Buenavista, Saltillo. [4]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Ciencias del Suelo. Calzada Antonio Narro No.1923, Colonia Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315. [5]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Jardín Botánico "Gustavo Aguirre Benavides", calzada Antonio Narro No.1923, Colonia Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315. *Autor para correspondencia: adis_anba@hotmail.com

Introducción

Myrospermum sousanum A. Delgado & M. C. Johnston (Fabaceae) Tropicos, (2026) de nombre común falsa canela arroyera (González-Martínez, 2025; Garden Sytle, 2026), es un árbol entre 2-8 m altura, nativo y endémico de la Sierra Madre Oriental, con distribución restringida para el norte del estado de Nuevo León, México, en Bustamante y Villaldama, N.L (Estrada et al., 2014; Estrada-Castillón et al., 2005; Delgado y Johnston,1984). Se desarrolla en sistemas montañosos de ecosistemas desérticos, entre cañones y en arroyos superficiales intermitentes, crece en el matorral submontano asociado a especies como *Cercocarpus*, *Rhamnus-Ostrya*, en una altitud entre 860-1,550 m (Estrada et al., 2014), en una superficie de 4,572.613 km^2 considera una distribución reducida (Estrada et al., 2014; Estrada-Castillón et al., 2005). Los usos de esta especie, destacan como planta ornamental utilizada para la reforestación urbana en Texas, EUA (Delgado y Johnston, 1984), proporciona protección de aves y artrópodos debido a su denso follaje; sus flores atraen a insectos que sirven como alimento y el transporte de polen de diversos polinizadores, como abejas y lepidópteros (Garden Sytle, 2026; Botanical Realm, 2026). Debido a la presión de actividades antrópicas, entre ellas la deforestación, cambio de uso de suelo para urbanización y la ganadería (Estrada-Castillón et al., 2005), ha provocando una reducción importante en sus poblaciones naturales, lo que ha ocasionado que esté incluida en la categoría de especies en Peligro en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2026), por lo que requiere su protección y conservación *ex situ*. Ante este panorama, se requiere realizar en una etapa inicial, la caracterización morfológica de las semillas de *M. sausanum* debido a que es un campo poco explorado, y a futuro realizar pretratamientos para la propagación sexual, por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar las características morfológicas externas de las semillas de *Myrospermum sousanum* A. Delgado & M. C. Johnston.

Materiales y métodos

Colecta del material biológico. La colecta de los frutos se realizó en siete árboles adultos una altura promedio de 4.0 m en etapa de fructificación en agosto de 2023. Previo a la colecta de los frutos se comprobó que todas las semillas contaran con la madurez fisiológica adecuada y bien conformadas, además que presentaran un estado masoso, pues esta característica indica que la semilla está completamente madura (Castillo et al., 2020).

La colecta del material bilógico se realizó en el Jardín Botánico "Gustavo Aguirre Benavides", ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo (25°21′21″ N, 101°01′59″ O), a una altitud de 1776 m.s.n.m. con un clima templado semiseco (BS1kw), y una temperatura media anual de 18 °C, inviernos fríos y una precipitación anual de 340 mm (García, 2004).

De cada árbol se recolectaron 65 frutos (vainas) maduros, previo a la dispersión de semillas. Para su recolección se realizó un muestreo dirigido en la parte media de cada uno de los árboles. El criterio para la colecta de los frutos fue que presentaran un color café indicativo de la madurez fisiológica óptima. Los frutos recolectados por árbol se trasladaron en bolsas de papel estraza y se mantuvieron en el laboratorio a una temperatura de 25 °C hasta su caracterización morfológica.

Caracterización morfológica de semillas de Myrospermum sousanum A. Delgado & M. C. Johnston. La presente investigación se realizó en agosto de 2025 en el Laboratorio del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila (25°21´22.52" LN y 101°2´9.88" LO). En el laboratorio, las semillas se extrajeron de forma manual, se limpiaron y se almacenaron en envases herméticos de cristal transparente a temperatura ambiente. Para la medición de las variables morfológicas externas de las semillas, solo se consideraron aquellas con un color café y bien conformadas; se excluyeron aquellas con daño mecánico, enfermas y ataque de insectos (Sánchez-Paz y Ramírez-Villalobos, 2006).

Las semillas seleccionadas de cada árbol, se homogenizaron mecánicamente en un divisor cónico tipo Boerner SEEDBURO® para obtener una muestra perfectamente homogénea. Del total de semillas, se tomaron aleatoriamente 100 para la caracterización morfológica. Para cada semilla, se midieron las variables: longitud de la semilla (LS), medida desde el extremo hilar hasta el extremo calazal; ancho de la semilla (AS), para esta variable se tomó la lectura en la porción media y más ancha de la semilla; y el grosor (GS) se midió la parte central de la misma. Para el registro de cada una de las variables se utilizó un calibrador Vernier (Fisher Scientific®), con precisión en milímetros. El peso de la semilla (PS) se obtuvo empleando una balanza analítica digital Explorer Pro marca Ohaus® expresado en gramos (g). Por último, se calculó el número de semillas por kilogramo, registrando el peso de 1000 semillas, utilizando la siguiente fórmula: Número de semillas por kg= (Número de semillas en la muestra/Peso de la muestra) × 1000, según normas (ISTA, 2014).

Caracterización cualitativa de las semillas. Se determinaron las características cualitativas forma y el color de las semillas de *M. sousanum* en una muestra de 50 semillas. Para la forma se utilizó el índice de redondez (IR), sugerido por Aguirre-Dugua et al*.* (2012), obtenido a partir de la relación largo-ancho. Cuando IR = 1, la semilla es esférica; cuando IR > 1, es grande u oblonga; y cuando IR < 1, es ovoide (más larga que ancha). El color de la semilla se determinó visualmente utilizando la tabla de colores para suelos Munsell como referencia (Munsell Soil Color Charts, 2000).

Análisis de datos*.* Se generó una base de datos en el software Excel 2016 de la paquetería Microsoft Office. Para analizar y describir las variables morfométricas externas de las semillas (LS, AS, ES y PS) y se realizaron estadísticos descriptivos a cada una de ellas considerando: a) Medidas de tendencia central (media, mediana y moda) para lo cual se realizó el cálculo la media, la cual es la suma de todos los valores dividida por la cantidad total de valores. Mediana que es el valor medio de los datos; se encuentra en el medio de un conjunto de datos ordenados de manera ascendente o descendente y la moda que es el valor o el conjunto de valores más recurrentes en la estadística y b) Medidas de dispersión (rango, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación).

Se determinó el rango, esta es la medida más básica de variabilidad y proporciona una idea general de cuánto se extienden los datos en toda la escala. Se calculó la varianza, la cual, mide la variabilidad de los datos respecto a la media aritmética y puede servir para comparar diferentes grupos de datos. Se determinó la desviación estándar, la cual, indica cuánto se desvían los valores individuales de la media aritmética. Se determinó el coeficiente de variación como el resultado de la relación entre la desviación estándar y la media.

Resultados y discusión

Los resultados en relación al color de las semillas de *M. sousanum* muestran que del total de las semillas evaluadas (n= 50) el 55% presentan una tonalidad de color café obscuro (7.5 YR 7/8) y el 45% son de color café claro (7.5 YR 5/6) de acuerdo con la tabla de colores de Munsell (2000), donde el porcentaje de semillas de color café obscuro superó al café claro. El color observado coincide con lo reportado con Estrada et al., 2014 donde mencionan que la testa de la semilla presenta una coloración café.

La forma de la semilla de acuerdo con los valores de IR, el 100 % de las semillas presentaron IR > 1, clasificándolas como oblongas o alargadas, en cambio, Estrada et al., 2014 mencionan que en una revisión de especímenes de herbario presentan una forma suborbicular. El número de semillas fue de 5,109 semillas kg^{-1}.

Distribución de frecuencia. En el Cuadro 1 se presenta la distribución de frecuencia de las variables relacionadas con la longitud de la semilla (LS), ancho de las semillas (AS), espesor de la semilla (ES) y el peso de las semillas (PS). Para la LS los valores observados oscilaron entre 7.2 y 10.8 mm y una media de 9.09 mm; para el AS entre 5.7 y 8.6 mm, con una media de 7.16 mm. En relación a la LS y AS obtenidos en este estudio son similares a los reportados por Estrada et al. (2014), donde mencionan que en la revisión de las semillas en especímenes de herbario para esta misma especie presentaron valores de 10-13 × 8-10 mm.

Para el caso de los valores del ES, oscilaron entre 4.0 y 6.6 mm y una media de 5.14 mm, en relación a esta variable, Sánchez-Salas et al. (2015), mencionan que la dimensión de las semillas es un factor importante que influye en la capacidad y velocidad de germinación, y así mismo, es un punto clave en el establecimiento en una población (Baloch et al., 2007). Asimismo, Suárez-Vidal et al. (2017), indican que las semillas con mayor dimensión producen plántulas con mayor vigor.

En relación al ES Meyer y Carlson (2001), refieren que esta variable es un factor importante en semillas de taxas de ambientes áridos y semiáridos, donde aluden que un mayor espesor de la semilla promueve un rápido crecimiento en especial en las etapas juveniles y, en consecuencia, mayor posibilidad de su establecimiento en campo. No obstante, el ES, es uno de los caracteres morfológicos de menor objeto de estudio sobre la caracterización morfológica y fisiológica en los ensayos de germinación de semillas (Sánchez-Salas et al., 2017). Finalmente, para el PS varió de 0.12 a 0.26 g y una media de 0.19 g.

Cuadro 1. Medidas de tendencia central y dispersión de las características morfométricas de semillas de *Myrospermum sousanum* A. Delgado & M. C. Johnston.

	LS (mm)	AS (mm)	ES (mm)	PS (g)
Media	9.09	7.16	5.14	0.19573
Error típico	0.06932947	0.05403656	0.04325389	0.00335926
Mediana	9.2	7.2	5.2	0.195
Moda	9.2	7.6	5.3	0.173
Deviación estándar	0.69329473	0.54036557	0.4325389	0.03359258
Varianza de la muestra	0.48065758	0.29199495	0.1870899	0.00112846
Curtosis	0.35784611	0.40216337	0.82143369	-0.22633517
Coeficiente de asimetría	-0.34715247	-0.25916983	-0.12992715	-0.07449006
Rango	3.6	2.9	2.6	0.146
Valor Mínimo	7.2	5.7	4	0.12
Valor Máximo	10.8	8.6	6.6	0.266
N	100	100	100	100
Nivel de confianza(95.0%)	0.13756471	0.10722025	0.0858251	0.0066655

LS: longitud de semilla, AS: ancho de semilla, ES: espesor de semilla, PS: peso de semilla

Medidas de tendencia central. En el Cuadro 1, se muestran las medidas de tendencia central para *M. sousanum* de las variables evaluadas. La media de la LS fue de 9.09 mm con una mediana de 9.2 mm y una moda de 9.2 mm. Para el AS presentó una media de 7.16 mm, mediana de 7.2 mm y una moda de 7.6 mm. Para el caso del ES presentó una media 5.14 mm, una mediana de 5.2 mm y una moda de 5.3 mm. Finalmente, el PS la media fue 0.195 g, con una mediana de 0.195 y una moda de 0.173 mm.

Medidas de dispersión. En el Cuadro 1, se presentan los valores de dispersión para cada variable de *M. sousanum*. Para la variable LS presentó un rango de 3.6, con una desviación estándar de 0.69329 y un coeficiente de variación de 7.62%. Para el AS presentó un rango de 2.9, con un coeficiente de variación 7.54%. Para el ES tuvo un rango de 2.6 y un coeficiente de variación de variación de 8.41. Finalmente, el PS presentó un rango de 0.146 mg con un coeficiente de variación de 17.16%.

Conclusiones

El 55% de las semillas de *M. sousanum* presentaron un color café obscuro (7.5 YR 7/8) y el 45% de color café claro (7.5 YR 5/6). Una media de 9.09 mm, ancho promedio de 7.16 mm, espesor medio 5.14 mm y un peso promedio de 0.195 g. Los estudios sobre la caracterización morfológica de las semillas de *M. sousanum* son básicos para generar información para la realización de futuros estudios sobre la calidad física y fisiológica, de importancia para la reproducción sexual y multiplicación de masiva en vivero para su uso en proyectos de conservación y restauración de las poblaciones naturales.

Referencias

Aguirre-Dugua X., Eguiarte, L.E., and González-Rodríguez, A. y Casas A. (2012). Round and large: morphological and genetic consequences of artificial selection on the gourd tree Crescentia cujete by the Maya of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Annals of Botany* 109 (7):1297-13 06. Doi: https://doi.org/10.1093/aob/mcs068

Baloch, H.A., DiTommaso, A., Watson, A.K. (2007). Intrapopulation variation in *Abutilon theophrasti* seed mass and its relationship to seed germinability. *Seed Science Research* 11:333-345. Doi: 10.1079/SSR200190

Botanical Realm. (2026). *Myrospermum sousanum* (Arroyo Sweetwood). https://www.botanicalrealm.com /plant-identification/arroyo-sweetwoodmyrospermum-sousanum/

Delgado, A., Johnston, M.C. (1984). A new species of *Myrospermum* (Leguminosae-Papilionoideae) from northeastern Mexico. *Systematic Botany* 9:356-358.

Estrada, C.E., Delgado, S.A., Villarreal, Q.J.A. (2014). Leguminosas de Nuevo León, México. Universidad Autónoma de México, 304 p.

Estrada-Castillón, E., Villarreal-Quintanilla, J.A., Jurado, E. (2005). Leguminosas del norte del estado de Nuevo León, México. *Acta Botanica mexicana* 73:1-18. https://www.researchgate.net/publication /264557847_Leguminosas_de_Nuevo_Leon_Mexico

García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1

Garden Style San Antonio. (2026). Arroyo Sweetwood *Myrospermum sousanum.* San Antonino Water System. https://www.gardenstylesanantonio.com/plants/arroyo-sweetwood/. Consultado: 16/01/2026.

González-Martínez, A. (2025). Modelación de nicho ecológico y distribución potencial de *Myrospermum sousanum* A. Delgado & M. C. Johnst. *Planta* No. 32. https://revistaplanta.uanl.mx/index.php/p/article /view/215/199

ISTA. (2014). "International rules for seed testing". International Seed Testing Association (ISTA).

Munsell Soil Color Charts. (2000). The Year 2000 revised washable edition. Michigan, USA: Munsell Color 4300 44th Street SE, Gran-dRapids, MI 49512, USA.

Meyer, S.E., & Carlson, S.L. (2001). Achene mass variation in *Ericameria nauseosus* (Asteraceae) in relation to dispersal ability and seedling fitness. *Functional Ecology, 15* (2), 274-281

Sánchez-Salas, J., Flores, J., Muro-Pérez, G., Arias-Montes, S., & Jurado, E. (2015). Morfometría de semillas en la cactácea amenazada de extinción *Astrophytum myriostigma* Lemaire. *Polibotánica* (39) 119-131. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S14052768201500010000 7& lng=es&tlng=es

Sánchez-Salas, J., J. Flores, E. Jurado, J., Sáenz-Mata, P., Orozco-Figueroa, y G. Muro P. (2017). Hidrocoria en semillas de *Agave victoriae-reginae* T. Moore, especie en peligro de extinción: Morfología y anatomía como facilitadores de la hidrodispersión y germinación. *Gayana Botánica* 74 (2):251-261. Doi: 10.4067/S0717-66432017000200251.

Sánchez-Paz, Y., Ramírez-Villalobos, M. (2006). Tratamientos pregerminativos en semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. y *Prosopis juliflora* (Sw.) DC*. Revista de la Facultad de Agronomía, 23*(3). 257-272.

Tropicos.org. (2026). Missouri Botanical Garden, *Myrospermum sousanum*. https://www.tropicos.org/ name/Search?name=Myrospermum%20sousanum

UICN. (2026). Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN. Versión 2025-2. https://www.iucnredlist.org

CREACIÓN DE UN BANCO DE GERMOPLASMA DE MAÍZ (*Zea mays* L.) NATIVO, DE LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA UNIVERSIDAD PARA EL BIENESTAR "BENITO JUÁREZ GARCÍA" DEL EJIDO HIDALGO MPIO. DE FCO. I MADERO, COAHUILA.

José de los Santos Aguilar Martínez*, Ana Isabel Maraña Santacruz, Vielka Nazareth Véliz Ramírez, Isabella Muñoz Ibarra, Astrid Mancha Calamaco, Claudia Delgado Aguilar, Debany Carolina Posada Rodríguez, Johana Ibarra Chavarría, Juan José Viesca Esquivel, Ángel Obed Rodríguez Rojas, Ángel de Jesús Chihuahua Zúñiga

Universidad para el Bienestar "Benito Juárez García", Ej. Hidalgo s/n ctra. Madero – Lequeitio, Fco. I. Madero, Coahuila. C.P. 27911. *Autor de correspondencia: magneticsnorte11@gmail.com

Introducción

En México, el maíz forma parte de nuestra alimentación diaria, es el cultivo de mayor presencia en el país, constituye un insumo para la ganadería y para la obtención de numerosos productos industriales, por lo que, desde el punto de vista alimentario, económico, político y social, es el cultivo agrícola más importante (Hernández 1971, Polanco y Flores 2008, SIAP 2008). México es el centro de origen del maíz, aquí se concentra, muy probablemente, la mayor diversidad de maíz del mundo y aquí han evolucionado y viven sus parientes silvestres, los teocintles, y otro conjunto de gramíneas relacionadas, especies del género *Tripsacum* (maicillos). (CONABIO, 2020)

Los recursos genéticos nativos deben ser colectados para su conservación, caracterización y aprovechamiento en diversos usos actuales y futuros para mantener una amplia base de genes para utilizarlos en el mejoramiento genético y prevenir pérdidas permanentes de la diversidad restante y la extinción de parientes silvestres. (Castro Nava, 2013)

México como centro origen del maíz tiene una amplia biodiversidad de variedades, que se reflejan en su diversidad de colores, tamaños, formas, usos y preparaciones; todavía tienen un enorme potencial productivo por desarrollar, ya que la mayoría de estos maíces se encuentran en manos de pequeños productores dispersos por zonas marginales, con carencias socioeconómicas, tecnológicas y organizativas. (Ayala Espinosa, 2019).

Se debe prestar especial atención al maíz nativo y a los factores que ponen en riesgo su preservación, ya que este grano implica un conjunto de rasgos identitarios y simbólicos por sus usos alimenticios, religiosos, míticos y domésticos; al mismo tiempo, es un recurso de control político, económico y social (VIZCARRA, 2011) (Ana Gabriela Rincón Rubio, 2017).

Se colectaron maíces locales de la zona de influencia de la universidad, con agricultores que los han conservado durante años mediante un proceso de selección y almacenamiento tradicional los cuales se fueron identificando mediante visitas de exploración y encuestas, estos maíces se concentraron en la universidad para el bienestar Benito Juárez García para su almacenamiento y etiquetado.

Materiales y métodos

La ubicación del banco de germoplasma es la Universidad para el Bienestar "Benito Juárez García" Sede Fco. I Madero, ubicada en el Ejido Hidalgo s/n carretera Madero - Lequeitio municipio de Fco. I Madero Coahuila, México.

Se realizaron salidas de exploración a los ejidos y comunidades de la zona de influencia de la universidad, para identificar a los agricultores que aún conservan los maíces nativos, una vez ubicados se procedió a visitar sus predios y viviendas para solicitarles una muestra de su maíz.
Al obtener la muestra se tomaron los siguientes datos: Nombre del agricultor, localidad, municipio, estado, fecha de recolección, nombre local del maíz, contacto.

Una vez terminada la encuesta y la recolección, se trasladaron las colectas a la universidad, se limpiaron de basura y polvo, los criterios de selección de calidad de semilla fueron daño mecánico, daño por insectos y hongos (Edgar Magdaleno Hernández, 2020). Posteriormente se colocaron en contenedores de vidrio y de plástico para etiquetarlas, ya teniendo los registros se vació la información en una bitácora y en un registro digital; después se guardó el material en condiciones de refrigeración a 4 grados centígrados. También se hicieron copias de las colectas, se les aplico fosfuro de aluminio para evitar el ataque de plagas, se resguardaron en un salón para tenerlas en exposición como apoyo académico para los alumnos y visitantes de la universidad.

Una vez teniendo los materiales genéticos y sus respectivos registros se establece un plan de capacitación y de conservación con cada productor o familia encuestada para que sigan conservando el material, ya sea mediante bancos comunitarios de semillas o de parcelas de conservación.

Los materiales utilizados fueron: Bolsas de plástico, bolsas de papel, marcadores, grapadora, frascos de vidrio de 1 litro, frascos de plástico de 1 litro, etiquetas, fosfuro de aluminio, estantería de madera, un refrigerador, cuaderno y bitácora.

Resultados y discusión

Se lograron reunir 10 colectas de los ejidos aledaños, así como de donaciones de alumnos de la universidad que apoyaron en el proyecto (Cuadro 1). Todas las colectas representan una familia de la región, de esta forma se estableció una relación entre la comunidad y la universidad; esta interacción permitirá darles seguimiento a las colectas en el banco de semillas y en las parcelas comunitarias para estar observando el comportamiento de los materiales y las formas en que los miembros de la familia practican la selección.

La información recabada es de vital importancia porque rescata años de conservación que sin el esfuerzo hecho quedaría en el olvido, por lo tanto, es relevante continuar explorando para identificar agricultores, parcelas y familias que han resguardado la variabilidad genética de los maíces mexicanos los cuales en esta pequeña región productiva han sido suplantados y olvidados.

A continuación, se presenta el cuadro con la información de cada colecta recabada, considerando que se debe hacer un mayor esfuerzo para tener más materiales identificados, por ello es necesario invertir recursos económicos y humanos para poco a poco ir rescatando maíces que pudieran correr peligro de desaparecer.

Cuadro 1. Relación de colectas de maíces nativos de la zona de influencia de la universidad del Bienestar "Benito Juárez García" del municipio de Fco. I. Madero, Coahuila.

Nombre Local	Localidad	Municipio	Estado	Contacto
Retiro	El Retiro	San Pedro	Coahuila	Federico García
Retiro Rojo	El Retiro	San Pedro	Coahuila	Federico García
Estribo	El Estribo	San Pedro	Coahuila	Daniel Hernández
San Felipe Pur	San Felipe	San Pedro	Coahuila	Edgar Chairez
Chireto Alto	20 de Nov.	San Pedro	Coahuila	Alfredo Ortiz
Charcos	Charcos de Risa	Fco. I. Madero	Coahuila	Emiliano García
Alazán	San Antonio	Arteaga	Coahuila	Esperanza Torres
Chireto 1	E. Zapata	Cuencamé	Durango	Magdaleno Mondragón
Chireto 2	E. Zapata	Cuencamé	Durango	Magdaleno Mondragón
San Luis	San Luis	San Luis del Cordero	Durango	Jacinto Martínez



Figura. 1. Banco de semillas



Figura. 2. Colectas originales en refrigeración

Las colectas de maíces nativos representan la interacción directa con los pequeños agricultores que, durante años lo han conservado, es complicado primero encontrarlos ya que actualmente se encuentran muy pocos y la fuerte actividad agrícola de la región los abruma. Durante los recorridos es común observar maíces híbridos que se han posicionado por su alto rendimiento y disponibilidad, sin embargo, aún quedan agricultores que han resistido y han hecho un gran esfuerzo por seguir conservando su maíz.

También es importante mencionar que en los recorridos se tuvo la oportunidad de investigar a cerca de otras especies como el frijol (*Phaseolus vulgaris*) y del guaje (*Lagenaria cireraria*), las cuales se tuvo la oportunidad de colectar.

Conclusiones

Los agricultores visitados carecen de conocimiento en relación a la variabilidad genética y a la importancia de mantenerla y conservarla mediante su trabajo, es importante capacitarlos para que continúen trabajando en ello. Las colectas recabadas han estado sirviendo en la educación académica de los alumnos y docentes de la universidad y representan un sencillo primer inicio en la conservación y rescate de la biodiversidad regional.

Referencias

Ana Gabriela Rincón Rubio, I. V. (2017). Empoderamiento y feminismo en la conservación del maiz nativo. *Estudos Feministas, Florianópolis,, 25*(3), 1073-1092. doi:http://dx.doi.org/10.1590/1806-9584.2017v25n3p1073

Ayala Espinosa, J. L. (2019). *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*. Obtenido de http://repositorio.iica.int/handle/11324/7938

Castro Nava, S. L. (2013).). Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 645-653.

CONABIO. (2020). *Razas de maiz en México*. Obtenido de Razas de maiz en México: https://www.biodiversidad.gob.mx

Edgar Magdaleno Hernández, A. M. (Julio-Septiembre de 2020). Evaluación de la calidad fisica y fisiológica de semilla de maíz nativo. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo, 17*, 569-581.

VARIACIÓN EN GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. greggii DE DIFERENTES PROCEDENCIAS DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL

Rosa Elvira Madrid Aispuro[1*], Eladio Heriberto Cornejo Oviedo[1], Celestino Flores López[1], Salvador Valencia Manzo[1], Silvia Salcido Ruiz[2]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento Forestal. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. [2]Universidad Veracruzana, Instituto de Investigaciones Forestales. Parque Ecológico "El Haya", Carretera Antigua a Coatepec, Coapexpan 91070, Xalapa-Enríquez, Veracruz, México. *Autor de correspondencia: rosa1984.madrid@gmail.com

Introducción

Los ensayos de procedencias permiten evaluar el desempeño de plantas provenientes de diferentes poblaciones bajo condiciones ambientales previamente caracterizadas, y contribuyen a identificar fuentes de semilla con características superiores (Rodríguez et al., 2013). Asimismo, los programas de mejoramiento genético favorecen la conservación de los recursos genéticos y la selección de características de interés productivo (Aparicio-Rentería et al., 2013). Estos programas se han desarrollado con mayor frecuencia en especies de rápido crecimiento, debido a que su menor ciclo de producción permite reducir los tiempos requeridos para obtener avances genéticos. En este contexto, *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* es una especie de interés, debido a su crecimiento favorable en altura y diámetro, lo que permite considerarla para la selección de fuentes de semilla y la producción de planta (Rodríguez et al., 2013).

La calidad de las semillas constituye un factor fundamental para el éxito de los programas de reforestación y el establecimiento de plantaciones comerciales, debido a su influencia sobre la capacidad germinativa y el posterior establecimiento de las plántulas en campo (Ramírez-García et al., 2025). Asimismo, la producción de planta de calidad es esencial para favorecer la supervivencia y el desarrollo de las plantaciones forestales, aspecto particularmente relevante en México, donde los programas de reforestación pueden presentar altas tasas de mortalidad (Burney et al., 2015). En este contexto, los ensayos de procedencias permiten identificar fuentes de semilla con características fisiológicas favorables, particularmente cuando se consideran poblaciones de origen geográfico y fuente parental conocida. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar la calidad fisiológica de semillas de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* provenientes de diferentes procedencias de la Sierra Madre Oriental, mediante la determinación de su capacidad y comportamiento germinativo.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en el laboratorio forestal del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila en las coordenadas 25° 21' 10.59" N y 101° 01' 38.1" O, a una altitud de 1784 m. Las semillas que se utilizaron provinieron de conos colectados de siete árboles seleccionados dentro de 10 poblaciones de la región septentrional de la Sierra Madre Oriental en la subprovincia conocida como Sierra Plegada ubicada en los estados de Coahuila y Nuevo León (Cuadro 1).

Cuadro 1. Localización geográfica de las procedencias de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* consideradas para la obtención de semillas.

Población	Municipio, Estado	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (m)
1. Ascensión	Aramberri, N.L.	24° 06’ 22.0”	99° 57’ 39.0”	1 789
2. Puerto Conejo	Santa, Catarina N.L.	25° 29’ 08.7’’	100° 34’ 54.2’’	2 492
3. Ejido Cuauhtémoc	Saltillo, Coah.	25° 17’ 31.1’’	100° 54’ 25.1’’	2 685
4. Jamé	Arteaga, Coah.	25° 20' 55.7"	100° 35' 27.2"	2 493
5. Cañón de Los Lirios	Arteaga, Coah.	25° 22’ 26.6’’	100° 30’ 27.7’’	2 503
6. El Penitente	Saltillo, Coah.	25° 20’ 21.1’’	100° 54’ 32.8’’	2 700
7. Las Placetas	Galeana, N.L.	24° 55' 00.0”	100° 11' 00.0”	2 717
8. Sierra Hermosa	Arteaga, Coah.	25° 18’ 28.0’’	100° 54’ 23.8’’	2 568
9. La Tapona	Galeana, N.L.	24° 44' 00.0”	100° 10' 00.0”	2 429
10. El Tejocote	Santiago, N.L.	25° 26' 35.1”	100° 29' 51.1”	2 386

La prueba de germinación se estableció el 4 de agosto de 2026. Previamente, las semillas se desinfectaron durante 5 min en una solución de 90 % de agua destilada y 10 % de cloro comercial. Posteriormente, se enjuagaron con agua destilada y se sometieron a imbibición durante 20 h. Para la prueba de germinación, las semillas se distribuyeron por repetición sobre una capa de papel absorbente y se cubrieron con papel kraft. Se utilizaron 100 semillas por población, con cuatro repeticiones de 100 semillas cada una, para un total de 400 semillas por población (ISTA, 2017). Una vez preparadas, las repeticiones se colocaron individualmente en bolsas de plástico y se introdujeron en una estufa de secado a 28 °C, bajo un diseño experimental completamente al azar. Durante la prueba se monitoreó periódicamente la humedad de los rollos y, cuando fue necesario, se aplicó una pulverización de agua con fungicida para mantener las condiciones adecuadas de humedad y prevenir el desarrollo de hongos. A partir del inicio de la germinación, las semillas se evaluaron cada tercer día durante un periodo de 26 días; posteriormente, no se observó germinación. Se consideró como semilla germinada aquella cuya radícula alcanzó una longitud ≥1 cm (ISTA, 2017).

A partir del número de semillas germinadas en cada evaluación, se calculó: la germinación acumulada = (Número de semillas germinadas/Número total de semillas)*100; la germinación media diaria= porcentaje acumulado de semillas germinadas al final del ensayo / el número de días; la velocidad de germinación = Σ(ni/ti); donde, ni es el número de semillas germinadas desde el primer al último día y ti es el tiempo en días (desde el día que fueron puestas a germinar hasta el último día de evaluación) (Maguire, 1962); y el vigor germinativo = (Pico de germinación/número de días después de la siembra)*(porcentaje de germinación final/tiempo de germinación desde la siembra hasta la germinación de la última semilla). Para determinar la existencia de diferencias significativas entre procedencias, se realizó un análisis de varianza de dos vías, considerando un nivel de significancia de $P \leq 0.05$. Cuando se detectaron diferencias significativas, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$). Previamente, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

Resultados y discusión

Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la germinación entre las procedencias evaluadas (Figura 1). La procedencia de la Ascención N.L. tuvo el mayor porcentaje (93.5 %), mientras que el menor porcentaje lo presentó las Placetas (0 %), lo anterior podría atribuirse a las condiciones en las que fueron colectadas las semillas, o a la inmadurez fisiológica de las semillas).

Herrera-Hernández et al. (2024) reportó valores similares en la germinación de *Pinus montezumae* procedentes de ocho poblaciones del centro de México, donde la germinación varió de 80.7 a 88.2 %. También, Madrigal-González et al. (2026) evaluaron seis procedencias de semillas de *Pinus pseudostrobus* originarias del Estado de México, Michoacán, Jalisco, y tres de procedencias de Veracruz, el mayor porcentaje de germinación se presentó en la procedencia del Estado de México (71 %) mientras que el porcentaje más bajo lo presentó Jalisco con 0 %, caso similar se presentó en el presente trabajo, con la procedencia de las placetas N.L. Las diferencias entre procedencias son frecuentes y pueden atribuirse tanto a la variabilidad genética propia de cada población como a las condiciones ambientales prevalecientes durante la producción de las semillas (Xu et al., 2015).

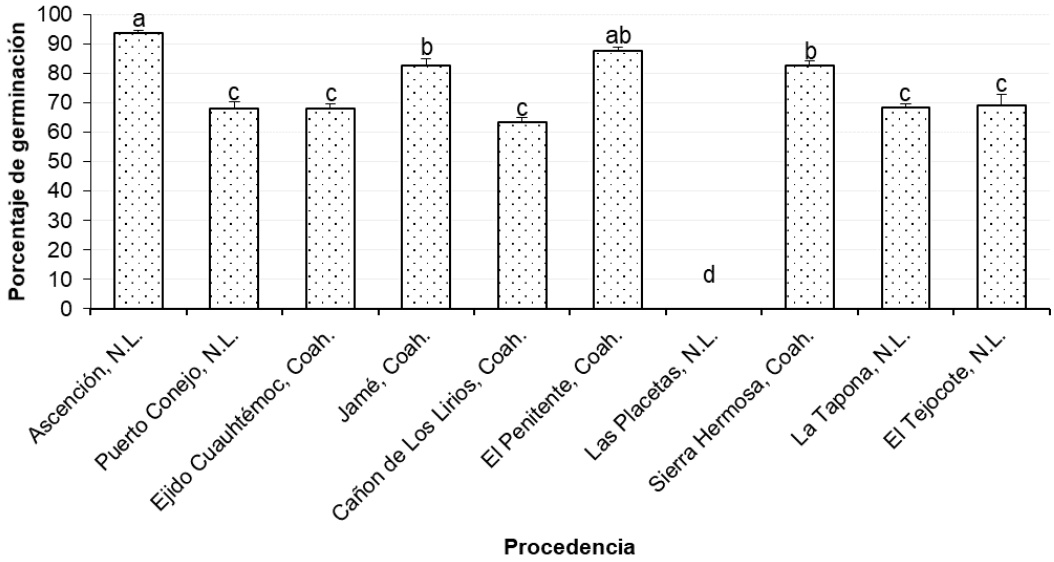


Figura 1. Porcentaje de germinación total de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* de diez procedencias de la Sierra Madre Oriental.

La germinación acumulada de las semillas de *Pinus greggii* presentó diferencias significativas entre procedencias ($p \leq 0.05$) durante el periodo de evaluación (Figura 2 y Figura 3A). La germinación inició a los cuatro días en la mayoría de las procedencias, excepto en Ejido Cuauhtémoc, donde comenzó a los seis días. La mayor germinación acumulada se registró a los 24 días. La procedencia Jamé presentó más de 50 % de germinación a los cuatro días; sin embargo, al finalizar la prueba, las procedencias La Ascensión y El Penitente alcanzaron los mayores porcentajes de germinación, con 93.5 y 87.8 %, respectivamente. En general, entre el día 6 y 8 se alcanzó el mayor porcentaje de germinación siendo hasta un 80 %. En contraste, la procedencia Las Placetas no presentó germinación durante el periodo de evaluación. En este trabajo se presentaron resultados altos comparados con lo encontrado por Mendizábal-Hernández et al. (2015) en *Pinus greggii* Engelm. provenientes de cinco procedencias dos del estado de Veracruz (Huayacocotla y Naolinco) y tres de Querétaro (San Joaquín, El Madroño y Valle Verde), con el mayor porcentaje para la procedencia de San Joaquín (87 %).

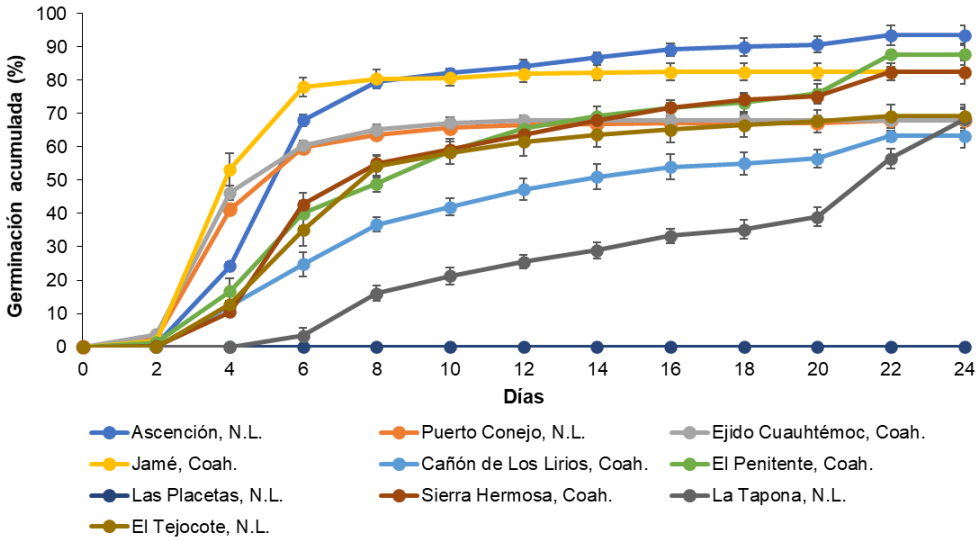


Figura 2. Curva de germinación acumulada de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* de diez procedencias de la Sierra Madre Oriental.

La procedencia las Placetas no presentó germinación durante el periodo de evaluación y al momento de abrirlas estás presentaron en su interior un color blanco lechoso y una textura blanda, de acuerdo con García-Díaz et al. (2017) lo anterior sucede porque los hongos dañan al embrión antes de germinar y hay necrosis de hipocótilo y cotiledones.

La germinación media diaria, la velocidad de germinación y el valor germinativo presentaron diferencias significativas entre las procedencias ($p \leq 0.05$) (Cuadro 2). La procedencia la Ascención tuvo en promedio cuatro semillas germinadas por día, seguida de la procedencia el Penitente con 3.7 en promedio. Mientras que en el índice de velocidad de germinación la Procedencia la Ascención, Ejido Cuauhtémoc y Jamé obtuvieron el mayor valor, por lo tanto, germinaron con mayor rapidez, misma tendencia presentó el vigor germinativo, siendo Jamé con el mayor vigor en las semillas, seguido de Ejido Cuauhtémoc y Puerto Conejo. Madrigal-González et al. (2026) reportaron una velocidad de germinación promedio de 23.4 días en *Pinus pseudostrobus* de seis procedencias del Estado de México, Michoacán, Jalisco, y tres de procedencias de Veracruz, en este trabajo el promedio fue de 12.5 días. Ambos índices permiten caracterizar la rapidez del proceso de germinación y el vigor de las semillas; por tanto, valores más altos indican una mayor rapidez y vigor germinativo, lo que puede favorecer un establecimiento más uniforme de las plántulas.

Cuadro 2. Medias poblacionales (± error estándar) en las variables de germinación de semillas de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* de diez procedencias de la Sierra Madre Oriental.

Procedencia	Germinación media diaria	Índice de velocidad de germinación	Vigor germinativo
Ascención, N.L.	4.0±0.04 a	16.0±0.23 ab	0.26±0.02 b
Puerto Conejo, N.L.	2.8±0.09 c	14.9±0.72 bc	0.31±0.01 ab
Ejido Cuauhtémoc, Coah.	2.8±0.06 c	15.7±0.15 ab	0.37±0.03 ab
Jamé, Coah.	3.4±0.11 b	18.4±0.87 a	0.41±0.07 a
Cañón de Los Lirios, Coah.	2.6±0.07 c	8.5±0.50 e	0.06±0.01 e
El Penitente, Coah.	3.7±0.05 ab	12.2±0.88 cd	0.10±0.01 c
Sierra Hermosa, Coah.	3.4±0.06 b	11.5±0.37 d	0.14±0.02 c
La Tapona, N.L.	2.8±0.06 c	5.1±0.13 f	0.05±0.00 d
El Tejocote, N.L.	2.9±0.15 c	10.4±0.81 de	0.14±0.02 c

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas Tukey (α= 0.05)

Conclusiones

Los resultados obtenidos indican que la procedencia La Ascensión, del estado de Nuevo León, presentó el mayor porcentaje de germinación. En cuanto a la germinación media diaria, destacaron las procedencias La Ascensión y El Penitente, mientras que los mayores valores del índice de velocidad de germinación correspondieron a Jamé, La Ascensión y Ejido Cuauhtémoc. Por su parte, el mayor vigor germinativo se registró en las procedencias Jamé, Ejido Cuauhtémoc y Puerto Conejo. Considerando su capacidad, rapidez y vigor germinativo, las procedencias La Ascensión y Jamé representan las alternativas más promisorias para la producción de planta, debido a que presentaron un comportamiento germinativo favorable.

Referencias

Aparicio-Rentería, A., Juárez-Cerrillo, S. F., & Sánchez-Velásquez, L. R. (2013). Propagación por enraizamiento de estacas y conservación de árboles plus extintos de *Pinus patula* procedentes del norte de Veracruz, México. *Madera y Bosques*, *20*(1), 85-96. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712014000100008

Burney, O., Aldrete, A., Alvarez R., R., Prieto Ruíz, J. A., Sánchez V., J. R., & Mexal, J. G. (2015). México−addressing challenges to reforestation. *Journal of Forestry*, *113*, 404-413. https://doi.org/10.5849/jof.14-007

García-Díaz, S. E., Aldrete, A., Alvarado-Rosales, D., Cibrián-Tovar, D., Méndez-Montiel, J. T., Valdovinos-Ponce, G., & Equíhua-Martínez, A. (2017). Efecto de *Fusarium circinatum* en la germinación y crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* en tres sustratos. *Agrociencia*, *51*(8), 895-908.

Herrera-Hernández, R., López-Upton, J., Muñoz-Gutiérrez, L., & Ramírez-Herrera, C. (2024). Germinación y características de plántulas de *Pinus montezumae* Lamb. en poblaciones del centro de México. *Rev. Fitotec. Mex*. *47*(2), 199-207. Doi: https://doi.org/10.35196/rfm.2024.2.199

International Seed Testing Association [ISTA]. (2017). International Rules for Seed Testing. *Tallin, Estonia*, *6*(12), 12 p. http://doi.org/10.15258/istarules.2017.i

Madrigal-González, D., Sánchez-Vargas, N. M., Gómez-Romero, M., Uribe-Salas, M. D., Martínez-Palacios, A., & Ramos-Ortiz, S. (2026). Caracteres morfométricos y patrones de germinación de semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. de diferentes procedencias. *Polibotánica*, *61*, 165-179. https://doi.org/10.18387/polibotanica.61.9

Maguire, J. D. (1962). Speed of Germination-Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor 1. *Crop Science*, *2*(2), 176–177.

Mendizábal-Hernández, L. C., Alba-Landa, J., Rodríguez-Juárez, M. C., Ramírez-García E. O., Márquez Ramírez, J., & Cruz-Jiménez, H. (2015). Estudio de germinación de cinco procedencias de *Pinus greggii* Engelm. *Foresta Veracruzana*, *17*(1), 49-56. https://www.redalyc.org/journal/497/49742125007/html/

Ramírez-García, R. A., Campos-Angeles, G. V., López-Upton, J., Rodríguez-Ortiz, G., Cruz-García, H., & Carrillo-Rodríguez, J. C. (2025). Calidad de semilla de *Pinus greggii* var. *Australis* de diferentes procedencias de México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, *2*(3), 176-187. https://doi.org/10.60158/mt3tpf42

Rodríguez Laguna, R., Razo Zárate, R., Valencia Manzo, S., & Meza Rangel, J. (2013). Características dasométricas de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* de nueve procedencias en Galeana, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *4*(18),117-124.

Xu, Y., Cai, N., He, B., Zhang, R., Zhao, W., Mao, J., Duan, A., Li, Y., & Woeste, K. (2015). Germination and early seedling growth of *Pinus densata* Mast. provenances. *Journal of Forest Research*, *27*:283-294. https://doi.org/10.1007/s11676-015-0186-x

CLASIFICACIÓN DE MAÍZ FORRAJERO (*Zea mays* L.) MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES Y RANDOM FOREST EN UN MÓDULO DE RIEGO

Gerardo Delgado-Ramírez[1]*, Martín Alejandro Bolaños-González[2], Abel Quevedo-Nolasco[2], Adolfo López-Pérez[2], Juan Estrada-Ávalos[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA), Gómez Palacio, Durango. [2]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco. Estado de México. *Autor de correspondencia: delgado.gerardo@inifap.gob.mx

Introducción

La agricultura de riego constituye una actividad estratégica en las regiones áridas y semiáridas del norte de México, donde la limitada disponibilidad de agua, la recurrencia de sequías y la competencia entre sus distintos usos demandan una gestión eficiente del recurso para sostener la actividad agropecuaria (Ramírez-Barraza et al., 2019). En este marco, el maíz forrajero representa uno de los cultivos de mayor relevancia para la producción pecuaria, particularmente en el Distrito de Riego 017 (DR 017), donde se concentra una importante actividad lechera. Sin embargo, la identificación y cuantificación de sus superficies depende de recorridos de campo, registros administrativos y métodos convencionales, que pueden ser laboriosos y costosos y, además, limitar la generación de información espacial detallada y oportuna sobre su distribución.

La estimación precisa de la superficie cultivada con maíz forrajero es indispensable para la planeación agrícola, la gestión eficiente del agua de riego y la toma de decisiones en los sistemas de producción. No obstante, la diversidad de cultivos, las diferentes fechas de siembra, etapas fenológicas y condiciones de manejo generan respuestas espectrales variables que dificultan su discriminación. Esta problemática es relevante en el DR 017, donde la disponibilidad de agua constituye una de las principales restricciones para la producción agrícola. La falta de información espacial precisa sobre la distribución del maíz forrajero limita la estimación de superficies, el seguimiento del cultivo y la programación eficiente del riego.

La teledetección basada en imágenes satelitales constituye una herramienta eficaz para complementar los métodos convencionales de levantamiento de información agrícola, al proporcionar información espacial y temporal de extensas superficies cultivadas. El análisis de variables espectrales y productos derivados de imágenes satelitales, integrado con técnicas de aprendizaje automático, permite aprovechar las diferencias espectro-temporales de la vegetación para discriminar cultivos y coberturas agrícolas (Aneece et al., 2024). Entre estas técnicas, Random Forest destaca por integrar múltiples variables espectrales y temporales y modelar relaciones complejas, favoreciendo su aplicación en la clasificación y mapeo de coberturas agrícolas y tipos de cultivo (Tufail et al., 2025).

En este contexto, la integración de imágenes satelitales con el algoritmo Random Forest representa una alternativa viable para identificar y mapear áreas de maíz forrajero en módulos de riego del norte de México, generando información espacial para apoyar la planificación agrícola y la gestión eficiente del agua. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue clasificar las áreas cultivadas de maíz forrajero mediante imágenes satelitales Sentinel-2 y Random Forest en un módulo de riego del Distrito 017 Región Lagunera, como herramienta para generar información espacial que contribuya a la planeación agrícola y al uso eficiente del agua de riego.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el ciclo primavera-verano (PV) 2021 en el Módulo X (Masitas) del DR 017. El área de estudio se localiza en las coordenadas 25° 39’ 13.3” de latitud norte y 103° 24’ 20.0” de longitud oeste, a una altitud de 1,113 msnm, y comprende una superficie de 7,450 ha.

El maíz forrajero representa el cultivo de mayor relevancia dentro del área evaluada. De acuerdo con la información oficial proporcionada por el personal administrativo del Módulo X, para el ciclo agrícola PV 2021 se programó una superficie de siembra de 2,400.00 ha, equivalente al 57.8% de la superficie total de riego proyectada con agua superficial. Algunos productores de este módulo disponen con derechos para utilizar tanto agua superficial (río) como subterránea (pozo). Generalmente, el agua proveniente de pozos se emplea para el riego de presiembra y el primer riego de auxilio para el maíz forrajero, mientras que los riegos de auxilio subsecuentes se realizan con agua superficial. Para determinar el tamaño de la muestra se consideró la superficie total programada de maíz forrajero, obteniéndose una muestra representativa de 331.00 ha con un nivel de confianza del 95%, y un error de estimación del 5%.

Para la clasificación del cultivo de maíz forrajero se utilizaron imágenes satelitales correspondientes a tres fechas: 22 de mayo (día juliano 142), 11 de junio (día juliano 162) y 26 de junio de 2021 (día juliano 177). Estas fechas coincidieron con etapas fenológicas comprendidas entre VT (panojamiento) y R3 (etapa reproductiva de grano lechoso) del cultivo de maíz forrajero. Su selección se fundamentó en la predicción fenológica del cultivo mediante el cálculo de los Grados Días de Desarrollo (GDD) utilizando el método racional.

Se emplearon tres imágenes multiespectrales libres de nubosidad de los satélites Sentinel 2A (22 de mayo y 11 de junio de 2021) y Sentinel 2B (26 de junio de 2021), correspondientes a la malla de barrido T13RFJ, que cubre completamente el área de estudio. Para el proceso de clasificación se utilizaron todas las bandas espectrales, excepto la banda 10 (Cirrus). Las imágenes fueron descargadas gratuitamente desde el portal Copernicus Open Access Hub con nivel de procesamiento 2A, correspondiente a reflectancia de superficie del suelo.

Se definieron tres clases representativas de la cobertura predominante en el área de estudio: Clase 1 (maíz forrajero), Clase 2 (otros cultivos), y Clase 3 (suelo desnudo o vacante). En total se evaluó una superficie de 764.20 ha distribuidas en 92 parcelas. La superficie clasificada como maíz forrajero (Clase 1) correspondió al tamaño de muestra previamente calculado para el módulo de estudio.

Cuadro 1. Clases y superficies evaluadas con los algoritmos de clasificación supervisada en el Módulo X del DR 017.

No. Clase	Nombre de la Clase	Cultivos	No. Parcelas	Superficie (ha)
Clase 1	Maíz Forrajero	Maíz Forrajero	34	332.96
Clase 2	Otros Cultivos	Sorgo Forrajero	14	78.10
		Nogal	7	80.88
		Algodón	14	98.80
		Alfalfa	5	40.15
Clase 3	Vacante	Vacante (22 mayo 2021)	8	51.83
		Vacante (11 junio 2021)	4	30.18
		Vacante (26 junio 2021)	6	51.30
Total			92	764.20

Vacante = Suelo desnudo (sin cultivo).

La clasificación supervisada del maíz forrajero se realizó con el algoritmo no paramétrico, Random Forest (RF), configurado con dos variantes de árboles de decisión: 20 (*k*=20) y 100 (*k*=100). El desempeño del algoritmo se evaluó mediante matrices de confusión generadas para cada imagen clasificada. A partir de estas matrices se calcularon los parámetros de evaluación propuestos por Congalton (1991): precisión global (P), precisión del productor (P_p), precisión del usuario (P_u) e índice Kappa ($\widehat{K}$).

Resultados y discusión

De acuerdo con el Cuadro 2, el algoritmo RF con 100 árboles de decisión (RF_{100}) presentó un desempeño consistentemente superior al obtenido con RF_{20}. La mayor precisión de RF_{100} se registró el 11 de junio de 2021, con una precisión global (P) de 79.1% y valor máximo del índice Kappa ($\widehat{K}$) de 0.63. Estos resultados indican un nivel de confiabilidad elevado de la clasificación, de acuerdo con Ikiel et al. (2012), y una buena concordancia según los criterios establecidos por Landis y Koch (1977). Estos resultados son consistentes con investigaciones previas. Ramírez et al. (2020) reportaron valores similares de P y $\widehat{K}$ al utilizar RF_{100} con imágenes Sentinel-2 para la clasificación de coberturas agrícolas. De manera similar, Chen et al. (2021) obtuvieron valores de P y $\widehat{K}$ cercanos a los registrados en el presente estudio al realizar el mapeo de superficies de maíz mediante imágenes multitemporales Sentinel-2 y el algoritmo RF.

Cuadro 2. Precisión global (P) e índice Kappa ($\widehat{K}$) obtenidos para el Módulo X en las tres fechas de evaluación.

Algoritmos	22 mayo 2021		11 junio 2021		26 junio 2021	
	P	$\widehat{K}$	P	$\widehat{K}$	P	$\widehat{K}$
RF, *k* = 20 (RF_{20})	62.2	0.36	77.9	0.61	76.9	0.61
RF, *k* = 100 (RF_{100})	64.3	0.40	**79.1**	**0.63**	77.6	0.62

RF_{20} = Random Forest con 20 árboles de decisión, RF_{100} = Random Forest con 100 árboles de decisión.

La matriz de confusión correspondiente al algoritmo RF_{100} para la imagen del 11 de junio de 2021 se presenta en el Cuadro 3. La Clase 1 (maíz forrajero) registró una P_u del 90.5%, lo que indica que, de los píxeles clasificados como maíz forrajero, el 90.5% fueron correctamente identificados, mientras que el 9.5% se clasificó erróneamente como Clase 2 (otros cultivos) y ninguno como Clase 3 (vacante). Por su parte, la precisión de productor (P_p) para la Clase 1 fue de 75.4%, lo que indica que, del total de píxeles de referencia correspondientes a maíz forrajero, el 75.4% fue correctamente clasificado como maíz, mientras que el 17.7% se clasificó como otros cultivos y el 6.9% como vacante. En contraste, la Clase 3 (vacante) presentó la menor precisión de usuario (P_u), debido a que, del total de pixeles clasificados como esta categoría, el 32.8% fue confundido como maíz forrajero y el 38.0% con otros cultivos. Este nivel de confusión entre clases incidió en el desempeño general de clasificación, que alcanzó una precisión global (P) de 79.1%. Este valor se encuentra cercano al umbral de 80%, considerado aceptable para este tipo de clasificación.

Cuadro 3. Matriz de confusión del algoritmo Random Forest (RF) con 100 árboles de decisión (*k*=100) para el Módulo X (imagen del 11 de junio de 2021).

Datos de Clasificación	Datos de Referencia				
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Total	P_u
Clase 1	**7554**	790	0	8344	90.5
Clase 2	1770	**7315**	24	9109	80.3
Clase 3	694	805	**620**	2119	29.3
Total	10018	8910	644	**19572**	
P_p	75.4	82.1	96.3		

Clase 1 = Maíz Forrajero, Clase 2 = Otros Cultivos, Clase 3 = Vacante (Suelo Desnudo), P_u = Precisión de Usuario, P_p = Precisión del Productor.

La alta precisión alcanzada en la clasificación del maíz forrajero (Clase 1) puede atribuirse al contraste espectral observado el 11 de junio de 2021 (día juliano 162). En esta fecha, la respuesta espectral característica del maíz forrajero, asociada con las condiciones fisiológicas y fenológicas correspondientes a las etapas de panojamiento (VT) y grano lechoso (R3), presentó un marcado contraste con las fases de desarrollo del sorgo forrajero (buche o grano lechoso-masoso) y del nogal (fructificación). De acuerdo con Paz-Pellat et al. (2013), las variaciones asociadas con las etapas reproductivas modifican las propiedades ópticas del dosel, favoreciendo la diferenciación espectral entre coberturas y, consecuentemente, el desempeño de los modelos de clasificación. A partir de este comportamiento espectral, la clasificación obtenida mediante el algoritmo RF_{100} permitió distribuir las 7,450 ha del área de estudio en un 46.5% de maíz forrajero, un 43.3% de otros cultivos (sorgo forrajero, nogal, algodón y alfalfa) y 10.2% de áreas vacantes (Figura 1).

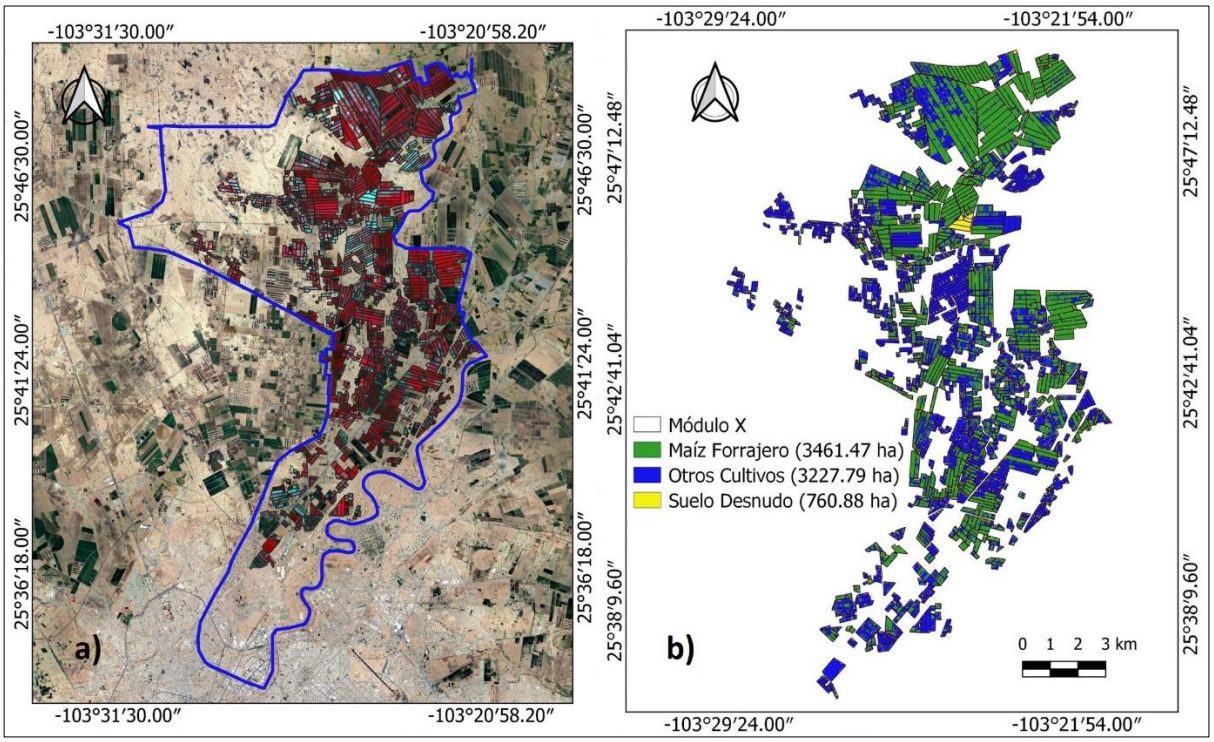


Figura 1. Superficie de cultivo del Módulo X del DR 017 del ciclo PV 2021 (imagen satelital del 11 de junio de 2021): a) Mapa de composición de falso color infrarrojo y b) Mapa de clasificación de cultivos generado por el algoritmo RF con 100 árboles de decisión (*k*=100).

Conclusiones

El presente estudio demostró la efectividad de la clasificación supervisada basada en información espectral de imágenes Sentinel-2 para identificar y mapear el maíz forrajero en el Módulo X del Distrito de Riego 017, Región Lagunera. El algoritmo Random Forest, configurado con 100 árboles de decisión (RF_{100}), presentó el mejor desempeño, al alcanzar los valores más altos de precisión global e índice Kappa, lo que evidencia su capacidad para discriminar las clases consideradas. En el Módulo X se obtuvo una precisión global de 79.1% y un índice Kappa de 0.63.

La imagen correspondiente al 11 de junio de 2021 presentó los mayores niveles de precisión, asociados con las diferencias fenológicas y de cobertura vegetal entre los cultivos, los cuales favorecieron la discriminación espectral del maíz forrajero. Esta clase presentó la mayor cobertura del suelo y alcanzó el nivel de clasificación más confiable respecto de las demás categorías evaluadas.

Además, la metodología permitió identificar y cuantificar una superficie de 3,461.47 ha de maíz forrajero durante el ciclo primavera-verano de 2021, superficie que superó la registrada en la programación del módulo de riego. La identificación espacial y temporal del cultivo mediante imágenes Sentinel-2 y Random Forest constituye una alternativa para generar inventarios agrícolas confiables y actualizados, con potencial para fortalecer la planificación y el manejo del cultivo, así como la gestión eficiente de los recursos hídricos.

Referencias

Aneece, I., Thenkabail, P. S., McCormick, R., Alifu, H., Foley, D., Oliphant, A. J., & Teluguntla, P. (2024). Machine Learning and New-Generation Spaceborne Hyperspectral Data Advance Crop Type Mapping. Photogrammetric Engineering &Amp; Remote Sensing, 90(11), 687–698.

Chen, Y., Hou, J., Huang, C., Zhang, Y., & Li, X. (2021). Mapping maize area in heterogeneous agricultural landscape with multi-temporal sentinel-1 and sentinel-2 images based on random forest. Remote Sensing, 13(15), 2988.

Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment, 37(1), 35–46.

Ikiel, C., Ustaoglu, B., Dutucu, A. A., & Kilic, D. E. (2012). Remote sensing and GIS-based integrated analysis of land cover change in Duzce plain and its surroundings (north western Turkey). Environmental Monitoring and Assessment, 185(2), 1699–1709.

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, 159-174.

Paz-Pellat, F., Casiano-Domínguez, M., Zarco-Hidalgo, A., & Bolaños-González, M. (2013). Estimación de las propiedades ópticas de la vegetación usando medios radiativos equivalentes y espacios n-paramétricos. Terra Latinoamericana, 31(2), 119-134.

Ramírez, M., Martínez, L., Montilla, M., Sarmiento, O., Lasso, J., & Díaz, S. (2020). Obtención de coberturas del suelo agropecuarias en imágenes satelitales Sentinel-2 con la inyección de imágenes de dron usando Random Forest en Google Earth Engine. Revista de Teledetección, 56, 49-68.

Ramírez-Barraza, B. A., González-Estrada, A., Valdivia-Alcalá, R., Salas-González, J. M., & García-Salazar, J. A. (2019). Tarifas eficientes para el agua de uso agrícola en la Comarca Lagunera. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10(3), 539–550.

Tufail, R., Tassinari, P., & Torreggiani, D. (2025). Assessing feature extraction, selection, and classification combinations for crop mapping using Sentinel-2 time series: A case study in northern Italy. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 38, 101525.

EVALUACIÓN DE DATOS NASA-POWER PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN UNA REGIÓN SEMIÁRIDA DEL NORTE DE MÉXICO

Gerardo Delgado-Ramírez[1]*, Martín Alejandro Bolaños-González[2], Abel Quevedo-Nolasco[2], Adolfo López-Pérez[2], Juan Estrada-Ávalos[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA), Gómez Palacio, Durango. [2]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco. Estado de México. *Autor de correspondencia: delgado.gerardo@inifap.gob.mx

Introducción

En México, particularmente en las regiones semiáridas del norte del país, la limitada disponibilidad de agua para uso agrícola constituye una de las principales restricciones para la productividad y sustentabilidad de los sistemas agrícolas. En estas condiciones, una estimación inadecuada de la evapotranspiración de referencia (ET_o) puede generar sesgos en los requerimientos hídricos y conducir a una subestimación o sobrestimación de las necesidades de riego, afectando la eficiencia en el uso del agua (Martí et al., 2024). Por ello, disponer de información meteorológica confiable es fundamental para mejorar el manejo eficiente y sostenible del riego.

Actualmente, existen diversas metodologías para estimar la ET_o, desarrolladas a partir de experimentos de campo y fundamentos teóricos. Entre ellas se encuentran el tanque evaporímetro y diversas ecuaciones empíricas, cuya clasificación depende de las variables meteorológicas requeridas. Estas incluyen métodos de base física, como FAO-56 Penman-Monteith; métodos basados principalmente en la temperatura del aire, como Blaney-Criddle, Thornthwaite y Turc; y métodos que incorporan temperatura y radiación solar, como Hargreaves, Jensen-Haise, Priestley-Taylor y FAO Radiation, entre otros.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) recomienda FAO-56 Penman-Monteith (PM) como método estandarizado para estimar la ET_o, debido a su fundamento físico y aplicabilidad en diversas condiciones climáticas, desde ambientes áridos hasta regiones templadas y tropicales (Allen et al., 2006). Sin embargo, su aplicación requiere información de temperatura del aire (T), radiación solar (Rs), humedad relativa (HR) y velocidad del viento (VV), datos que pueden no estar disponibles en regiones con escasa infraestructura meteorológica o registros discontinuos y de baja calidad. Ante esta situación, las ecuaciones de Hargreaves-Samani (HS) y Blaney-Criddle (BC) representan alternativas prácticas, debido a que requieren principalmente datos de temperatura del aire.

Los datos de reanálisis constituyen una fuente alternativa para estimar la ET_o en regiones con limitada disponibilidad de registros meteorológicos. Entre las principales plataformas destacan NASA-POWER, GLDAS, CFSv2, NLDAS y NDFD. NASA-POWER (NP) ha adquirido relevancia por su amplia cobertura espacial y disponibilidad de variables meteorológicas para calcular la ET_o (Rodrigues y Braga, 2021). Esta plataforma proporciona información meteorológica y climatológica global con resolución diaria y acceso gratuito. No obstante, es necesario evaluar su desempeño frente a observaciones meteorológicas, pues las diferencias en resolución espacial, fuentes de información e interpolación pueden generar discrepancias en las variables utilizadas para estimar la ET_o. Por ello, la validación de NASA-POWER (NP) frente a estaciones meteorológicas permite determinar su precisión y confiabilidad para la programación del riego.

En este estudio se evaluó la precisión de la ET_o estimada mediante los métodos de BC y HS, utilizando datos de temperatura máxima y mínima de la plataforma NASA-POWER (NP). Las estimaciones obtenidas se compararon con el método de referencia FAO-56 Penman-Monteith (PM), calculado a partir de registros de una estación meteorológica automatizada (EMA), con el propósito de determinar la confiabilidad de NASA-POWER como fuente alternativa de información meteorológica para el manejo y programación del riego.

Materiales y métodos

La ET_o se estimó mediante tres métodos con diferentes requerimientos de información meteorológica: FAO-56 Penman-Monteith (PM) (Allen et al., 2006), Hargreaves-Samani (HS) (Hargreaves y Samani, 1985) y Blaney-Criddle (BC) (Doorenbos y Pruitt, 1977). El método PM, considerado de referencia, se fundamenta en un modelo físico completo, mientras que los métodos HS y BC requieren principalmente información de temperatura del aire.

Para estimar la ET_o mediante la ecuación PM, se utilizaron datos meteorológicos diarios de temperatura del aire (T), radiación solar (Rs), humedad relativa (HR) y velocidad del viento (VV), registrados por una estación meteorológica automatizada (EMA) inalámbrica Davis Vantage Pro 2 Plus. El período de estudio comprendió del 26 de febrero al 9 de agosto de 2021, correspondiente a 165 días de observación. La EMA se ubicó en una unidad de producción agrícola del Módulo XII del Distrito de Riego 017, Región Lagunera, a 1110 msnm, en las coordenadas 25° 47’ 00.32” latitud norte y 103° 18’ 46.54” longitud oeste.

Para estimar la ET_o mediante los métodos HS y BC se utilizaron datos diarios de temperatura máxima y mínima obtenidos de la plataforma NP, considerando como referencia la ubicación geográfica de la EMA. La información meteorológica de NP presenta una resolución horizontal de $1/2^o$ x $5/8^o$ de latitud y longitud. Estos datos proceden de los sistemas de asimilación GMAO MERRA-2 de la NASA y GEOS 5.12.4 FP-IT. La plataforma procesa diariamente los datos de GEOS y los combina con información de MERRA-2 para generar series temporales diarias, lo que permite disponer de productos de baja latencia, generalmente disponibles aproximadamente dos días después de su generación.

El desempeño de los métodos HS y BC estimados a partir de los datos de temperatura máxima y mínima de NP, se evaluó tomando como referencia la ET_o calculada mediante PM con datos de la EMA. Para ello, se utilizaron el coeficiente de determinación (R^2), el error cuadrático medio (RMSE), el porcentaje de error de estimación (PE), el sesgo medio del error (MBE) y el coeficiente de correlación (r). La ETo se evaluó en tres escalas temporales: diaria, promedio y acumulada en períodos de cinco días, utilizando las 165 observaciones disponibles.

Resultados y discusión

La Figura 1 muestra el sesgo de los datos medidos de la estación meteorológica automatizada (EMA) y los datos de reanálisis de la plataforma NP para diversas variables meteorológicas: temperatura máxima y mínima (Tmax y Tmin), humedad relativa (HR), radiación solar (Rs) y velocidad del viento (VV). Para la Tmax, el 44% de las 165 observaciones presentó sesgos cercanos a cero. En contraste, el 39% de los datos de la plataforma NP sobrestimó la Tmax entre 2.1 y 7.5 ^{o}C, mientras que el 17% la subestimó entre 1.2 y 5.5 ^{o}C (Figura 1a). En cuanto a la Tmin, el 39% de las observaciones mostró sesgos cercanos a cero; el 46% de los datos de NP sobreestimó esta variable entre 1.6 y 5.1 ^{o}C, mientras que el 15% subestimó entre 1.8 y 5.3 ^{o}C (Figura 1b).

Para la HR, únicamente el 16% de las observaciones presentó sesgos cercanos a cero. La plataforma NP subestimó esta variable en el 76% de los casos, con diferencias de 3.0 a 38.8%, mientras que el 7% restante lo sobrestimó entre 5.9 y 14.9% (Figura 1c). Respecto a la Rs, el 45% de las observaciones presentó diferencias mínimas, con sesgos entre 0 y 1.5 MJ m^{-2} d^{-1}. Por otra parte, el 36% de los datos de NP sobrestimó la Rs entre 3.7 y 17.2 MJ m^{-2} d^{-1}, mientras que el 19% la subestimó entre 2.9 y 9.7 MJ m^{-2} d^{-1} (Figura 1d).

Finalmente, el 50% de las observaciones de VV presentó sesgos cercanos a cero. El 41% de los datos de NP sobrestimó esta variable entre 1.4 y 2.9 m s^{-1}, mientras que el 9% la subestimó entre 1.2 y 3.3 m s^{-1} (Figura 1e). En términos generales, los resultados indican que la plataforma NP tiende a sobrestimar la Tmax, Tmin, Rs y VV, y a subestimar la HR respecto de los registros de la EMA.

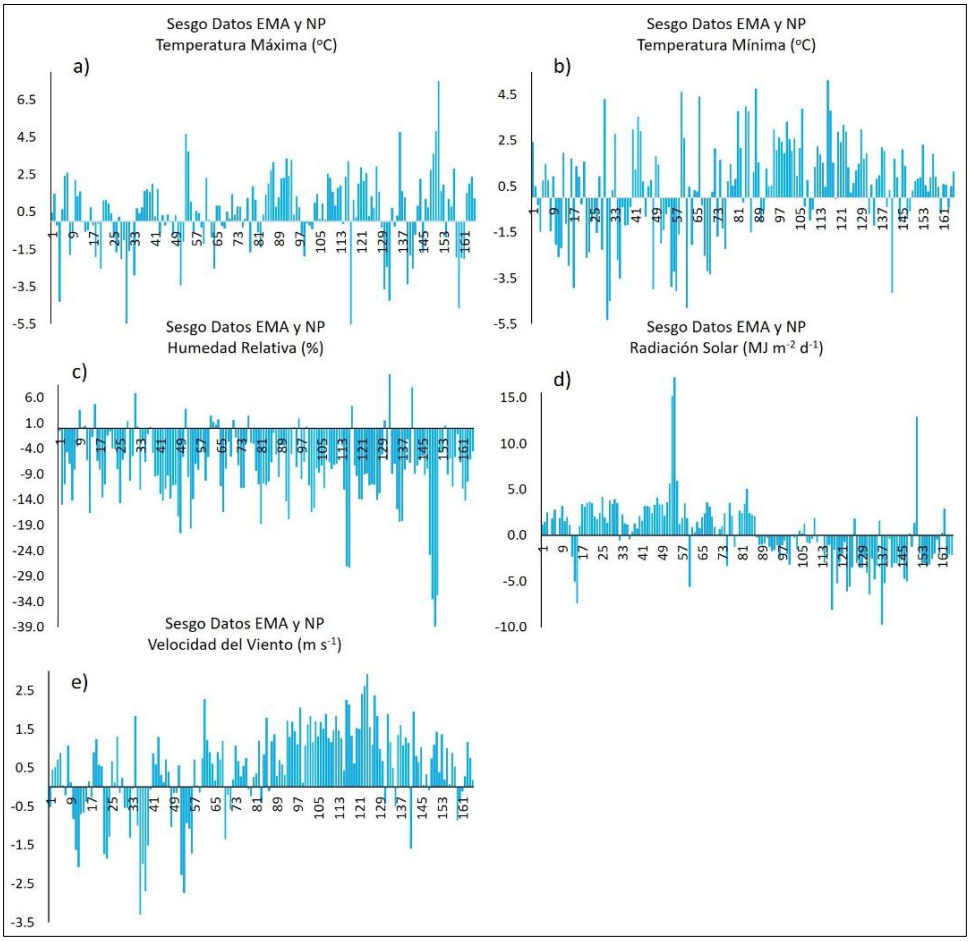


Figura 1. Sesgo entre los datos meteorológicos registrados por la EMA y los datos de reanálisis de la plataforma NP para las variables: (Tmax, a), (Tmin, b), (HR, c), (Rs. D) y (VV. e), durante el período de evaluación.

En el Cuadro 1 se presenta la relación entre las variables meteorológicas registradas por la EMA y las obtenidas de la plataforma NP durante el período de evaluación. Los resultados muestran que la velocidad del viento (VV) presentó una relación baja, mientras que la radiación solar (Rs) mostró una relación moderada, Por su parte, la Tmax y la HR presentaron relaciones altas, en tanto que la Tmin mostró una relación muy alta.

Estos resultados son consistentes con los reportados por otros autores, quienes obtuvieron valores de R^2 similares a los observados en este estudio para las variables Tmin y Tmax (White et al., 2008), y HR (Jiménez et al., 2021). La VV presentó el menor coeficiente de determinación (R^2) lo que evidencia una menor correspondencia entre los datos de NP y los registros de la EMA. En este sentido, la estimación de esta variable representa uno de los principales desafíos, por lo que factores como el control de calidad y la consistencia de los datos registrados pueden ser determinantes para mejorar la precisión de las estimaciones.

Cuadro 1. Relación entre las variables meteorológicas registradas por la estación meteorológica automatizada (EMA) y las obtenidas por la plataforma NP durante el período evaluado.

Variables Meteorológicas	Coeficiente de Determinación (R^2)				
	$Tmax_{NP}$	**$Tmin_{NP}$**	**HR_{NP}**	**VV_{NP}**	**Rs_{NP}**
$Tmax_{EMA}$	0.76				
$Tmin_{EMA}$		0.81			
HR_{EMA}			0.80		
VV_{EMA}				0.27	
Rs_{EMA}					0.45

Tmax = Temperatura máxima (ºC); Tmin = Temperatura mínima (ºC); HR = Humedad Relativa (%); VV = Velocidad del viento (m seg^{-1}); Rs = Radiación solar (MJ m^{-2} d^{-1}); EMA = Estación Meteorológica Automatizada; NP = Plataforma NAS-POWER.

El Cuadro 2 presenta los resultados de la comparación entre la ET_o estimada mediante los métodos PM, HS y BC. Para el método PM se utilizaron los registros de Tmax, Tmin, HR, Rs y VV obtenidos de la EMA, mientras que para HS y BC se emplearon los datos de Tmax y Tmin proporcionados por la plataforma NP, considerando tres periodos de cálculo: diario, promedio de cinco días y acumulado de cinco días. En términos generales, HS_{NP} presentó los mejores valores en la mayoría de los parámetros inferenciales respecto de BC_{NP}, con excepción de los coeficientes de determinación (R^2) y correlación (r) en la estimación diaria de ET_o. Estos resultados sugieren que el método HS, utilizando datos de temperatura de la plataforma NP, constituye una alternativa adecuada para estimar la ET_o en los periodos evaluados. Asimismo, el porcentaje de error de estimación (PE) obtenido con HS_{NP} fue inferior al 5% en las tres escalas temporales analizadas. El sesgo medio del error (MBE) presentó valores negativos en todos periodos, lo que indica una tendencia del método HS_{NP} a subestimar la ET_o respecto al método de referencia PM.

Para la ET_o promedio de cinco días se obtuvieron los mejores valores en la mayoría de los parámetros estadísticos en comparación con la ET_o promedio diaria. Por otra parte, la ET_o acumulada de cinco días presentó los valores más altos de r y R^2 respecto de las estimaciones ET_o diaria y ET_o promedio de cinco días. Por otra parte, la ET_o acumulada de cinco días presentó los valores más altos de los coeficientes de r y R^2 respecto de las estimaciones ET_o diaria y ET_o promedio de cinco días. Este comportamiento puede atribuirse a que la agregación temporal de la ET_o reduce la variabilidad asociada con las fluctuaciones meteorológicas diarias, particularmente las relacionadas con la precipitación, la velocidad del viento y la nubosidad, favoreciendo una mayor correspondencia entre las estimaciones de la plataforma NP y el método de referencia. Los resultados obtenidos son consistentes con los reportados por Najmaddin et al. (2017), quienes registraron un RMSE de 1.1 mm d^{-1} al comparar diariamente la ET_o estimada mediante HS con la obtenida mediante PM. Asimismo, para la estimación de ET_o promedio de cinco días, el RMSE obtenido en este estudio presentó un valor similar al reportado por Jiménez et al. (2021), quienes registraron un RMSE de 0.7 mm d^{-1} utilizando datos con resolución temporal decenal.

Cuadro 2. Comparación de la ET_o estimada mediante FAO-56 Penman-Monteith (PM), con datos meteorológicos de la EMA, y mediante los métodos HS y BC, utilizando datos de temperatura de la plataforma NP.

Parámetro	Métodos					
	$HS_{_NP}$	$BC_{_NP}$	$HS_{_NP}$	$BC_{_NP}$	$HS_{_NP}$	$BC_{_NP}$
	ET_o Diaria (n = 165)		**ET_o Prom 5 Días (n = 33)**		**ET_o Acumulada 5 Días (n = 33)**	
R^2 (Adimensional)	0.29	0.38	0.55	0.45	0.75	0.74
$RMSE$ (mm d^{-1})	1.1	1.3	0.6	1.1	3.3	5.7
PE (%)	4.4	15.0	4.1	14.6	4.4	15.0
MBE (mm d^{-1})	−0.28	−0.93	−0.26	−0.91	−1.38	−4.67

$HS_{_NP}$= Método Hargreaves-Samani con datos de la plataforma NASA-POWER; $BC_{_NP}$ = Método Blaney-Criddle con datos de la plataforma NASA-POWER.

Conclusiones

El método Hargreaves-Samani (HS) presentó el mejor desempeño respecto a FAO-56 Penman-Monteith (PM), particularmente en la estimación de la ET_o acumulada en periodos de cinco días. Los datos de temperatura máxima y mínima de NASA-POWER (NP) resultaron adecuados para estimar la ET_o mediante HS, por lo que esta plataforma constituye una fuente alternativa de información meteorológica para regiones semiáridas con limitada disponibilidad de registros en estaciones meteorológicas. La combinación NP–HS presenta potencial para apoyar la programación del riego y la estimación de la ET_c mediante información de sensores remotos.

Referencias

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Riego y Drenaje Manual 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1977). Guidelines for Predicting Crop Water Requirements; Irrigation and Drainage Paper FAO-24; FAO: Rome, Italy.

Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. Applied Engineering in Agriculture, 1(2), 96–99.

Jiménez, J. S. I., Ojeda, B. W., Inzunza, I. M. A., & Marcial, P. M. D. J. (2021). Analysis of the NASA-POWER system for estimating reference evapotranspiration in the Comarca Lagunera, Mexico. Ingeniería Agrícola y Biosistemas.13(2), 201-226.

Martí, P., López-Urrea, R., Mancha, L. A., González-Altozano, P., & Román, A. (2024). Seasonal assessment of the grass reference evapotranspiration estimation from limited inputs using different calibrating time windows and lysimeter benchmarks. Agricultural Water Management, 300, 108903.

Najmaddin, P. M.; Whelan, M. J. & Balzter, H. (2017). Estimating Daily Reference Evapotranspiration in a Semi-Arid Region Us-ing Remote Sensing Data. Remote Sens. 9(8), 779.

Rodrigues, G. C., & Braga, R. P. (2021). Estimation of Daily Reference Evapotranspiration from NASA POWER Reanalysis Products in a Hot Summer Mediterranean Climate. Agronomy, 11(10), 2077.

White, J. W., Hoogenboom, G., Stackhouse, P. W., & Hoell, J. M. (2008). Evaluation of NASA satellite- and assimilation mod-el-derived long-term daily temperature data over the continental US. Agric For Meteorol. 148(10), 1574-1584.

JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.) UNA ALTERNATIVA NATURAL Y DE BAJO COSTO PARA EL TRATAMIENTO DE LA HIPERTENSIÓN Y COLESTEROLEMIA

José Luis Ortega Sánchez[1]*, Aurora Martínez Romero[2]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo. Durango, México. [2]Universidad Juárez del estado de Durango, Facultad de Ciencias Químicas, Gómez Palacio, Durango, México *Autor de correspondencia: joeortega899@gmail.com

Introducción

La Jamaica (*Hibiscus sabdariffa L*.) es un arbusto que pertenece a la familia Malváceas, se cultiva ampliamente en zonas tropicales y subtropicales. Es una planta de uso múltiple, se aprovechan sus tallos, hojas, cáliz, flor y semillas. Pertenece a un género que comprende unas 300 especies. Se trata de plantas anuales o perennes, subarbustos y arbustos, pueden alcanzar hasta 2,5 m de altura, el tallo es liso o casi liso, cilíndrico y de color rojo. Las hojas miden hasta 15 cm, se disponen de forma alterna y están profundamente lobuladas, divididas en 3, 5 o incluso siete partes, el margen de la hoja es dentado, las flores tienen entre 8 y 12 cm de diámetro y aparecen aisladas en las axilas de las hojas o en posición terminal son de color blanco, amarillo pálido, amarillo o rosa, o bien presentan un centro de color granate. El cáliz consta de cinco sépalos grandes con un anillo (epicáliz) de 8 a 12 brácteas (o bractéolas), cáliz mide 2 cm de ancho y 6 cm de largo, el proceso de maduración dura seis meses. Transcurrido este tiempo, la cápsula se abre y las semillas se liberan. Los principales países productores son: China, India y Sudán, México es el séptimo productor mundial, y el estado de Guerrero es el mayor productor nacional (Ortega-Acosta et al., 2020).

En México la demanda nacional de flor de jamaica no se satisface con los volúmenes de producción actual. En 2021 fue necesario importar el 52% de China, Sudán, Nigeria y Senegal (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2023). Debido a su alto contenido de compuestos farmacológicamente activos y a sus propiedades curativas, la flor de Jamaica ha sido bien conocida y ampliamente utilizada en la medicina tradicional durante miles de años (Amos & Khiatah,2020). La OMS promueve la investigación de la medicina tradicional y el uso de recursos fitoterapéuticos como estrategias complementarias accesibles. Es aquí donde la Jamaica surge como medicina alternativa prometedora. Diversos estudios preliminares atribuyen a sus cálices propiedades vasodilatadoras, diuréticas e hipolipemiantes, mediadas por su alto contenido de antocianinas, polifenoles y ácidos orgánicos. Sin embargo, a pesar de la evidencia científica emergente sobre sus mecanismos de acción, aún existe una brecha en la validación, estandarización y difusión de su uso como una terapia formal, segura y de bajo costo que pueda integrarse de manera sistemática en el estilo de vida de los pacientes. La infusión de *H. sabdariffa L.* es una bebida muy popular en México y muchos lugares del mundo. Su composición fitoquímica se asocia a efectos antioxidantes, hipotensores. hipoglucemiantes y arterioesclerosis. Por lo que, el objetivo de la presente revisión fue evaluar y discutir la eficacia clínica y económica del uso de los extractos de jamaica (*Hibiscus sabdadariffa* L.) como un tratamiento alternativo, accesible y de origen natural para reducir la presión arterial alta y los niveles elevados de colesterol en la sangre.

Materiales y métodos

Se realizó una búsqueda de publicaciones recientes en las siguientes bases de datos electrónicas especializadas: Elsevier Journal, SciELO, FSTA, Science Direct, Springer Link y NCBI. Se describieron los resultados de trabajos llevados a cabo en ensayos clínicos en humanos y modelos animales. Los términos de búsqueda utilizados fueron *Hibiscus sabdariffa L*, estrés oxidativo, polifenoles, hipertensión, y perfil lipídico.

Resultados y discusión

Constituyentes fitoquímicos de H. sabdariffa. Los cálices de la Jamaica deben sus efectos terapéuticos a numerosos compuestos farmacológicamente activos (Salem, et al., 2022). Las variedades blanca y rosada de la jamaica difieren en el contenido de compuestos activos, aunque solo en pequeña medida; la variedad roja se caracteriza por un mayor contenido de fenoles totales, flavonoides y antocianinas que la variedad blanca. La variedad blanca se distingue por una mayor capacidad para captar radicales libres que la variedad roja (Tahir, et al., 2017) Otro estudio demostró que los cálices morados presentan una actividad antioxidante más potente y contienen más flavonoides que los rojos. Numerosas publicaciones indican que los cálices de la jamaica y otras partes de la planta son ricos en polifenoles (antocianinas, flavonoides, ácidos fenólicos, taninos), polisacáridos, pectinas, ácidos orgánicos no fenólicos y carotenoides. Los ácidos orgánicos más importantes de la flor de Jamaica son: ácido hibisco, hidroxicítrico, málico, ascórbico, oxálico, succínico, tartárico, araquidónico y ácido cítrico (Bedi, et al., 2020). La jamaica debe su efecto antioxidante a los polifenoles (Koala, et al., 2021). Las antocianinas más importantes en la jamaica son: delfinidina-3-sambubiósido y cianidina-3-sambubiósido (Bedi, et al., 2020). Entre los flavonoides que se han aislado de la jamaica, los más importantes son: quercetina, hibiscetina (hibiscetina-3-glucósido), sabdaritrina, gosipitrina y otros glucósidos de gosipetina, así como la luteolina. También contiene ácidos fenólicos, como, ácido clorogénico, ácido protocatéquico y ácido cafeico, además de otros muchos fitoquímicos (Riaz & Chopra, 2018). También en los en los pétalos de la flor de jamaica hay azucares principalmente, galactosa, ácido galacturónico, ramnosa, arabinosa, glucosa, manosa y xilosa. Asimismo, la jamaica tiene triterpenos en los calices tales como: lupeol y α- amyrin la presencia de triterpenos en los cálices: α-amyrin y lupeol. Los cálices de la jamaica son también ricos en Ca, Mg, Fe, oligoelementos y vitaminas (Salem, et al., 2022). El contenido de principios activos de la jamaica depende de las variaciones estacionales de los cultivos (temporadas de siembra seca o húmeda). Los resultados de la investigación indican que la jamaica cultivada en la estación seca contiene cantidades significativamente mayores de antocianinas, fructosa, glucosa y ácido málico que la cultivada durante la estación húmeda.

Propiedades medicinales de la Jamaica (*H. sabdariffa*)

Hibiscus sabdariffa L **e hipertensión arterial (HTA).** Desde el punto de vista medicinal, la parte más valiosa de la jamaica son los cálices de las flores. La HTA es un factor de riesgo cardiovascular muy importante y frecuente en la sociedad moderna. En efecto, la HTA es uno de los principales factores de riesgo para el desarrollo de la enfermedad cardiovascular, conjuntamente con el tabaquismo, las dislipidemias, y en especial, los niveles plasmáticos elevados de colesterol transportado en las lipoproteínas de baja densidad (LDL). Diversos estudios en pacientes con hipertensión estadio1 muestran que el consumo de *H. sabdariffa* en forma de infusión dos veces al día puede resultar eficaz para controlar la presión arterial en casos de hipertensión de estadio 1, como complemento a las modificaciones en el estilo de vida y la dieta (Jalalyazdi, et al., 2019). El extracto acuoso de los cálices tiene un efecto hipotensor, atribuido a su acción como vaso-relajante (Herrera-Arellano, et al., 2004). También se ha observado un efecto cardioprotector (Chen, et al., 2003) así como reducción de las concentraciones de creatinina en orina, ácido úrico, citrato, tartrato, calcio, sodio, potasio y fosfato (Mojiminiyi, et al., 2000).

Hibiscus sabdariffa L y el hipercolesterolemia. En México, existe una alta incidencia de niveles elevados de colesterol en sangre entre la población, lo que provoca numerosas afecciones derivadas como aterosclerosis, infartos cardíacos, apoplejía, vasculopatías, isquemia y accidentes cerebrovasculares, los cuales se consideran la principal causa de mortalidad. Si bien en algunos pacientes la reducción del consumo de grasas saturadas disminuye los lípidos sanguíneos, esta medida no resulta eficaz para muchas personas, obligándolas a recurrir a las estatinas y a otros fármacos menos indicados, tales como la colestiramina, el colestipol y los fibratos. No obstante, sus elevados costos y efectos secundarios limitan la capacidad adquisitiva de las personas de escasos recursos. Las medicinas tradicionales se están popularizando en gran parte del mundo, principalmente porque son económicas, abundantes y tienen menos efectos adversos para la salud. El hipercolesterolemia es consecuencia de alteraciones metabólicas en los niveles de colesterol sanguíneo y constituye la principal causa de problemas cardiovasculares. Los resultados de diversos estudios han demostrado una reducción en la concentración de lípidos sanguíneos en pacientes tratados con hibisco (Aguirre-García, et al., 2019). Los resultados de los diferentes artículos muestran un posible efecto terapéutico de los extractos de *H. sabdariffa* sobre el estrés oxidativo, el perfil lipídico, la hipertensión y la aterosclerosis, gracias a su composición rica en compuestos fenólicos. Las antocianinas reducen significativamente la oxidación de la lipoproteína LDL, inhiben la adipogénesis mediante la regulación de las vías de señalización adipogénicas y factores transcripcionales, y modulan la expresión génica de determinados micro ARN. No se comunicaron acontecimientos adversos ni efectos secundarios.

Conclusiones

El consumo tradicional de *H. sabdariffa* en forma de infusión se ha asociado a diferentes propiedades terapéuticas. Específicamente, los resultados de la presente revisión nos indican que *H. sabdariffa* tiene capacidad de captura de radicales libres, inhibiendo, por ejemplo, la oxidación de la LDL. Además, el consumo diario de extracto de *H. sabdariffa* parece que podría mejorar de manera significativa la presión sanguínea en pacientes pre- y medianamente hipertensos. Por otro lado, el consumo de *H. sabdariffa* podría mejorar el perfil lipídico, reduciendo los valores séricos de colesterol total, LDL y triglicéridos totales. Las antocianinas de *H. sabdariffa* han mostrado capacidad para inhibir la oxidación de la LDL y la posible reducción del riesgo de aterosclerosis.

Referencias

Aguirre-García, F., Yáñez-López, L., Armella, M. A., & Verde, J. R. (2019). Studies from *Hibiscus sabdariffa* (Hibiscus) plant for blood cholesterol levels reduction. *Am J Plant Sci*, 10(4), 497-511.

Amos, A., & Khiatah, B. (2022). Mechanisms of action of nutritionally rich Hibiscus sabdariffa's therapeutic uses in major common chronic diseases: a literature review. *Journal of the American Nutrition Association*, 41(1), 116-124.

Bedi, P. S., Bekele, M., & Gure, G. (2020). Phyto-chemistry and pharmacological activities of *Hibiscus sabdariffa* Linn. A review. *Int. Res. J. Pure Appl. Chem*, 21, 41-54.

Chen, C. C., Hsu, J. D., Wang, S. F., Chiang, H. C., Yang, M. Y., Kao, E. S., ... & Wang, C. J. (2003). *Hibiscus sabdariffa* extract inhibits the development of atherosclerosis in cholesterol-fed rabbits. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(18), 5472-5477.

Da Costa, R.I., Bonnlaender, B., Sievers, H., Pischel, I., & Heinrich, M. (2014). *Hibiscus sabdariffa* L. A phytochemical and pharmacological review. *Food chemistry*, 165, 424-443.

Herrera-Arellano, A., Flores-Romero, S., Chávez-Soto, M. A., & Tortoriello, J. (2004). Effectiveness and tolerability of a standardized extract from *Hibiscus sabdariffa* in patients with mild to moderate hypertension: a controlled and randomized clinical trial. *Phytomedicine*, 11(5), 375-382.

Jalalyazdi, M., Ramezani, J., Izadi, M. A., Madani, S. F., Shahlaei, S., & Ghiasi, S. S. (2019). Effect of *Hibiscus sabdariffa* on blood pressure in patients with stage 1 hypertension. *Journal of advanced pharmaceutical technology & research*, 10(3), 107.

Koala, M., Ramde, T. A., Ouedraogo, N., Ilboudo, S., Kaboré, B., Kini, F. B., & Ouedraogo, S. (2021). HPTLC phytochemical screening and hydrophilic antioxidant activities of *Apium graveolens* L., *Cleome gynandra*

L., and *Hibiscus sabdariffa* L. used for diabetes management. *American Journal of Analytical Chemistry*, 12(1), 15-28.

Mojiminiyi, F. B. O., Adegunloye, B. J., Egbeniyi, Y. A., & Okolo, R. U. (2000). An investigation of the diuretic effect of an aqueous extract of the petals of *Hibiscus sabdariffa*.

Ortega-Acosta, S. Á., Mora-Aguilera, J. A., Velasco-Cruz, C., Ochoa-Martínez, D. L., Leyva-Mir, S. G., & Hernández-Morales, J. (2020). Temporal progress of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) leaf and calyx spot disease (*Corynespora cassiicola*) in Guerrero, Mexico. *Journal of Plant Pathology*, 102(4), 1007-1013.

Riaz, G., & Chopra, R. (2018). A review on phytochemistry and therapeutic uses of *Hibiscus sabdariffa* L. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 102, 575-586.

Salem, M. A., Zayed, A., Beshay, M. E., Abdel Mesih, M. M., Ben Khayal, R. F., George, F. A., & Ezzat, S. M. (2022). *Hibiscus sabdariffa* L.: phytoconstituents, nutritive, and pharmacological applications. *Advances in Traditional Medicine*, 22(3), 497-507.

SIAP, 2023. Anuario estadístico de la producción agrícola. México: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

Tahir, H. E., Xiaobo, Z., Mariod, A. A., Mahunu, G. K., Abdualrahman, M. A., & Tchabo, W. (2017). Assessment of antioxidant properties, instrumental and sensory aroma profile of red and white Karkade/Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 1559-1568.

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES PROCEDENTE DE SUELOS CON MANEJOS AGRONÓMICOS DIFERENTES

Aracely Mena-Echevarría[1]*, Reyna Patricia Hipólito-Piedras[2], Heriberto Méndez-Cortes[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental General Terán, Km 31. Carretera Montemorelos-China, General Terán, México. [2]Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Carretera San Luis - Matehuala Km 14.5, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. *Autor para correspondencia: mena.aracely@inifap.gob.mx

Introducción

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) conforman el grupo de microorganismos benéficos que habitan el suelo, los cuales son fundamentales para la nutrición de los cultivos. Las asociaciones simbióticas micorrízicas se establecen con la mayoría de las especies vegetales favoreciendo la adquisición de nutrientes, agua, y la tolerancia a diferentes tipos de estrés bióticos o abióticos (Begum et al., 2019). Y a su vez los HMA contribuyen al adecuado funcionamiento y estabilidad de los ecosistemas terrestres.

En México se encuentra una gran biodiversidad de ecosistemas y de microorganismos que los habitan. La diversidad de especies de HMA registrada en México es elevada, predominando en agroecosistemas, bosques tropicales y templados, dunas costeras, manglares entre otros. Sin embargo, existen diferencias marcadas en la composición de las comunidades de HMA debido al tipo de ecosistema y la vegetación que predomine (Polo-Marcial et al., 2022; Matos et al., 2022).

El uso del suelo y los cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas derivado de las actividades antropogénicas son factores que afectan significativamente la diversidad y abundancia de especies de HMA al modificar la composición de las comunidades de HMA resilientes (Gil-Fernández et al., 2025). Igualmente, se ha evidenciado en ecosistemas forestales, agrícolas y pecuarios que existen diferencias en la riqueza y composición de HMA derivado del uso del suelo (Baleón-Sepúlveda et al., 2022). El presente estudio tuvo como objetivo identificar y caracterizar morfológicamente comunidades de hongos micorrízicos arbusculares procedentes de suelos del noreste de México asociados a diferentes sistemas de uso del suelo.

Materiales y métodos

El estudio se realizó con material colectado en los estados de Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas, pertenecientes a la región noreste de México. Se recolectaron 14 muestras de suelo, provenientes de diferentes sistemas de manejo agrícola y uso del suelo de tres localidades diferentes: General Terán, la Huasteca Potosina y Aldama - Tamaulipas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Sitios de colecta de los suelos, ubicación geográfica y el uso del suelo.

Sitio de Colecta	Latitud	Longitud	Uso del suelo
General Terán			
Suelo 1	25°15'54.3"N	99°40'42.9"W	Cultivo de sorgo
Suelo 2	25°19'39.7"N	99°38'53.4"W	Pasto silvestre en reposo
Suelo 3	25°25'57.9"N	99°39'15.6"W	Matorral submontano
Suelo 4	25°18'17.6"N	99°34'59.3"W	Huerta de cítrico
Huastecas Potosina			
Suelo 1	21°41'34.5"N	99°01'40.1"W	1 año de reposo (maíz)
Suelo 2	21°41'42.8"N	99°00'59.0"W	Cultivo de maíz autoconsumo
Suelo 3	21°23'49.8"N	98°46'59.6"W	Huertas de cítricos dulces
Suelo 4	21°23'34.7"N	98°46'58.1"W	Suelo agrícola
Suelo 5	21°28'28.1"N	98°58'56.5"W	Bosque natural
Aldama-Tamaulipas			
Suelo 1	22°51'49.35"N	98°14'10.53"W	Cultivo de sorgo
Suelo 2	22°51'48.66"N	98°14'12.29"W	Pasto carretero
Suelo 3	22°51'28.92"N	98°14'3.61"W	2 años de reposo (maíz)
Suelo 4	22°50'48.98"N	98°16'12.16"W	1 año de reposo (sorgo)
Suelo 5	22°52'0.39"N	98°14'25.75"W	Bosque de Huizache

Las muestras fueron extraídas a una profundidad comprendida entre 10 y 30 cm, y de cada sitio de muestreo se tomaron cinco submuestras de 1 kg que fueron depositadas en bolsas de plástico, homogenizadas y mantenidas a una temperatura de 2 °C a 4 °C hasta su traslado al laboratorio. En total se conformaron cuatro muestras de General Terán, cinco muestras de la Huasteca Potosina y cinco muestras del municipio de Aldama-Tamaulipas.

La identificación y caracterización de las especies de HMA se realizó siguiendo las morfologías básicas propuestas por Walker (1983) y Morton (1988). Para la identificación, se utilizó como referencia la clasificación del filo Glomeromycota, tal como fue propuesta por Redecker et al. (2013) (Figura 1). También se determinó el contenido de esporas por gramos de suelo empleando el procedimiento descrito por Gerdemann & Nicholson (1963).

Resultados y discusión

Se aislaron e identificaron un total de 35 especies de HMA de 14 suelos con diferentes manejos agrícolas y no agrícolas de General Terán, Huasteca Potosina y Aldama-Tamaulipas (Figura 1).

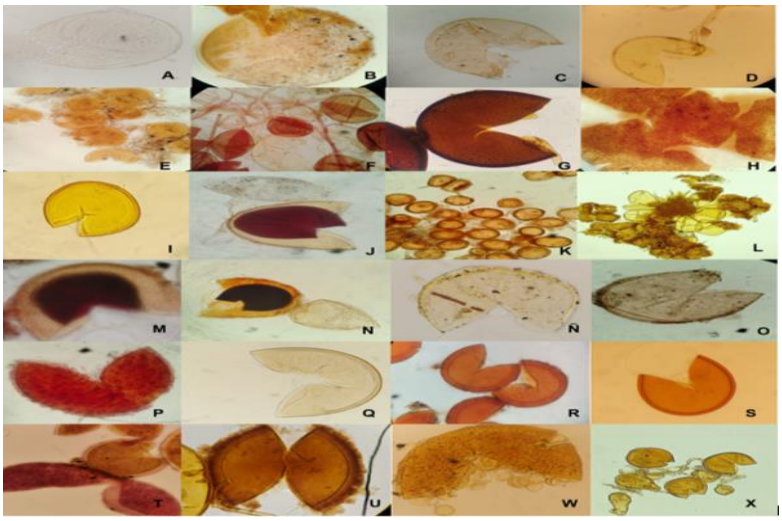


Figura 1. Imágenes de algunas de las especies de HMA identificadas: A: *Ambispora granatensis*; B: *Archaeospora spainiae*; C: *Entrophospora claroidea*; D: *Funneliformis mosseae*; E: *Glomus microcarpum*; F: *Rhizophagus aggregatus*; G: *Septoglomus constrictum*; H: *Sieverdingia tortuosa*; I: *Acaulospora* sp1; J: *Acaulospora* sp2; K: *Glomus* sp; L: *Sclerocystis sinuosa*; M: *Acaulospora reducta*; N: *Acaulospora* sp3; Ñ: *Vicospora peruviscosa*; O: *Paraglomus occidentale*; P: *Rizophagus fasciculatus*; Q: *Acaulospora scrobiculata*; R: *Diversispora densissima*; S: *Entrophospora etunicata*; T: *Entrophospora infrequens*; U: *Glomus spinuliferum*; W: *Rhizoglomus microaggregatum*; X: *Rhizophagus custos*.

En las muestras de General Terán se encontró la especie *Acaulospora* sp1, cuyas características morfológicas sugieren que podría tratarse de una especie nueva no reportada en México. Sin embargo, se requieren más estudios para determinar si es un nuevo reporte (Figura 1, **I**). Por otra parte, la presencia del género *Pacispora* se registró en los suelos S1 y S2 de la Huasteca Potosina, pero no se logró identificar la especie mediante criterios morfológicos. Las especies *Acaulospora* sp1, *Acaulospora* sp2 y *Glomus* sp, solo se encontraron solo en el suelo de General Terán.

Cuadro 2. Número de especies identificadas, géneros y cantidad de esporas de HMA por gramo de suelo.

Sitio de colecta y uso del suelo	Especies de HMA identificadas	Géneros	Esp. g^{-1} de suelo
General Terán			
S1. Cultivo de sorgo	10	*Ambispora, Archaeospora, Entrophospora, Funneliformis, Glomus, Rhizophagus, Sclerocystis, Septoglomus, Sieverdingia.*	37±1.8 c
S2. Pasto silvestre en reposo	8	*Acaulospora, Diversispora, Entrophospora, Funneliformis, Rhizophagus, Sclerocystis.*	47± 2.2 b
S3. Matorral submontano	10	*Ambispora, Diversispora, Entrophospora, Funneliformis, Glomus, Rhizoglomus, Rhizophagus, Sclerocystis.*	**77± 2.6 a**
S4. Huerta de cítrico	6	*Acaulospora, Diversispora, Entrophospora, Funneliformis, Vicospora.*	43± 2.6 bc
Huasteca Potosina			
S1. 1 año de reposo (maíz)	11	*Acaulospora, Diversispora, Dominikia, Entrophospora, Glomus, Pacispora, Rhizoglomus, Sclerocystis, Septoglomus.*	40± 2.8 bc
S2. Cultivo de maíz autoconsumo	9	*Acaulospora, Diversispora, Entrophospora, Funneliformis, Glomus, Pacispora, Septoglomus.*	33± 2.0 cd
S3. Huertas de cítricos dulces	8	*Acaulospora, Diversispora, Entrophospora, Sclerocystis, Septoglomus*.	**58± 3.1 a**
S4. Suelo agrícola	7	*Acaulospora, Diversispora, Entrophospora, Funneliformis, Rhizophagus.*	50± 1.6 ab
S5. Bosque natural	6	*Acaulospora, Dominikia, Entrophospora.*	27± 2.1 d
Aldama-Tamaulipas			
S1. Cultivo de sorgo	9	*Acaulospora, Entrophospora, Glomus, Paraglomus, Rhizophagus, Septoglomus.*	**75± 2.3 a**
S2. Pasto carretero	8	*Acaulospora, Entrophospora, Glomus, Rhizoglomus, Rhizophagus, Septoglomus.*	61± 1.9 b
S3. 2 años de reposo (maíz)	9	*Acaulospora, Entrophospora, Paraglomus, Rhizoglomus, Rhizophagus, Sclerocystis, Septoglomus.*	12± 0.7 e
S4. 1 año de reposo (sorgo)	9	*Acaulospora, Ambispora, Diversispora, Entrophospora, Funneliformis, Glomus, Sclerocystis, Septoglomus.*	41± 2.4 c
S5. Bosque de Huizache	4	*Entrophospora, Sclerocystis, Septoglomus.*	34± 1.1 d

Suelos (S). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas acorde a la prueba de Tukey (α=0.05). Valor después de (±) indica el error estándar.

Las especies de HMA identificadas en los suelos de los tres estados pertenecen al filo *Glomeromycota*, y se distribuyen en 16 géneros y 8 familias de acuerdo con la clasificación taxonómica Polo-Marcial et al. (2021). En los suelos del General Terán las especies de HMA identificadas corresponden a 13 géneros, mientras que en los suelos provenientes de la Huasteca Potosina y Aldama- Tamaulipas, las especies de HMA identificadas corresponden a 11 géneros, respectivamente. Es importante señalar que algunas de las especies de HMA identificadas se encontraron en más de un suelo. El análisis de varianza del contenido de esporas reflejó diferencias significativas (*F=55.59; P=0.000*) en los suelos de General Terán, el S3 superó en un 42 % al promedio de los suelos S2 y S4, y en un 52 % al suelo S1.

En los suelos de la Huasteca Potosina, también se observó diferencias significativas (*F=28.06*; *P=0.000*), el promedio de los suelos S3 y S4 fue superior en un 39 % y 50 % al de los suelos S2 y S5, respectivamente. Mientras que, en los suelos de Aldama-Tamaulipas, la diferencia significativa (*F=233.84; P=0.000*) en el contenido de esporas fue más marcada, el suelo S1 superó en un 19 %, 45 %, 55 % y 84 % a los suelos S2, S4, S5 y S3, respectivamente (Cuadro 2). Las diferencia encontradas pueden ser asociadas a la vegetación y al uso del suelo. El matorral submontano donde se encontró gran diversidad de plantas mostró una mayor diversidad de especies de HMA y de individuos por especies. Por otra parte, los suelos donde se cultiva sorgo difieren en la cantidad de esporas, lo que puede deberse a diferencias en la fertilidad.

El uso de los suelos agrícolas y forestales pueden influir de manera positiva o negativa en la esporulación de los HMA, así como, en la composición de las especies de HMA que habitan los sistemas agroforestales (Matos et al., 2022). Zhu et al. (2020), al estudiar la diversidad y composición de las comunidades HMA en campos de maíz, bosques, pastizales, humedales y campos de arroz, se encontraron diferencias significativas en la composición de la comunidad HMA, y en la abundancia de esporas entre diferentes tipos de uso del suelo.

El índice de similitud de Jaccard reflejó diferencias entre los estados, así como entre los diferentes suelos (Figura 2). En general, el índice de similitud promedio fue de 22 % entre todos los sitios de muestreo, lo que indica un porcentaje bajo de especies comunes. De igual forma, no se encontró ningún suelo con 100 % de similitud. Por otra parte, los sitios de muestreos de Aldama-Tamaulipas y la Huasteca Potosina reflejaron mayor grado de afinidad, alcanzando un índice de similitud promedio entre las especies de HMA de hasta un 50 %, mientras que General Terán y la Huasteca Potosina fue más distantes, con un índice de similitud promedio de alrededor de 14 % (Figura 2A).

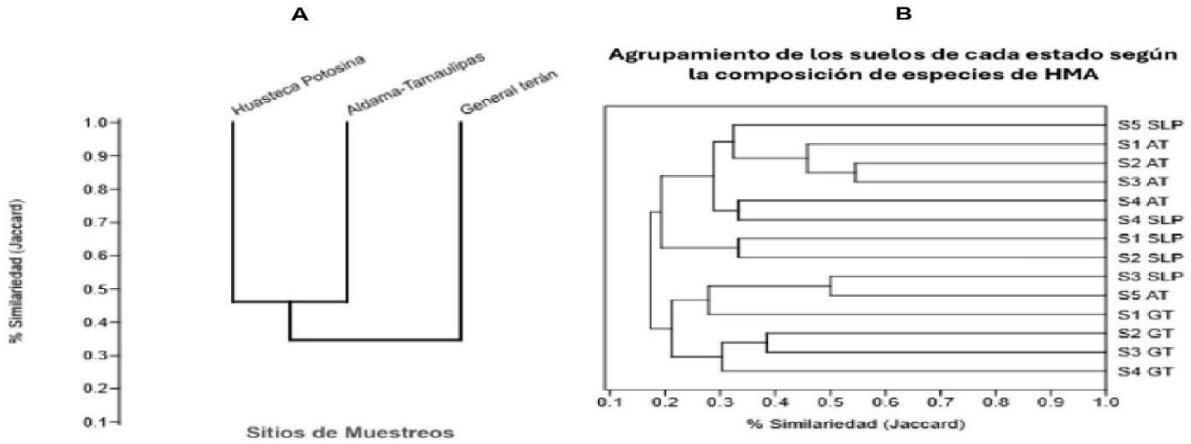


Figura 2. Análisis de la presencia y ausencia (1/0) de las especies HMA identificadas. A: Dendrograma de los estados donde se colectaron las especies de HMA; B: Dendrograma de los suelos con diferente uso de la tierra. Según el índice de Jaccard (UPGMA).

En cuanto a los suelos, los que reflejaron mayor similitud fueron S2 y S3 de Aldama- Tamaulipas con 54.5 %, los suelos S2 y S3 de General Terán con un 38.5 % y los suelos S1 y S3 de la Huasteca Potosina con valores moderados a bajos de 35.7 % (Figura 2B). Resultados similares fueron reportados por Polo-Marcial et al. (2021), quienes al analizar índices de similitud de Jaccard entre especies de HMA presentes diferentes ecosistemas de México, observaron que los valores oscilaron entre 0.32 y 0.66, corroborando que la similitud o diferencia entre los sitios de muestreos dependió de la altitud y del tipo de vegetación presente.

La fertilidad del suelo, principalmente el pH y el fósforo pueden influir en la distribución y la abundancia de las especies de HMA asociadas a las especies vegetales presentes en el suelo (Villagómez-González et al., 2024). De igual manera, la procedencia, la vegetación y la fertilidad del suelo contribuyen a que las comunidades de HMA sean menos predecibles (Veresoglou et al., 2021).

Los resultados sugieren que el uso del suelo y la especie vegetal tienen gran influencia en la composición de especies de HMA. Sin embargo, los estudios ecológicos y morfológicos de los HMA deben ser enfocados a mayores áreas agroforestales y a vegetaciones menos estudiadas. Esto permitirá comprender mejor la diversidad, distribución y abundancia de las especies de HMA en México.

Conclusiones

Se identificaron 35 especies de HMA perteneciente al filo *Glomeromycota,* distribuidas en 16 géneros y 8 familias. El contenido de esporas reflejó diferencias significativas entre los suelos de los tres estados, el suelo S3 de General Terán, superó en un 42 % al promedio de los suelos S2 y S4, y en un 52 % al suelo S1. El promedio de los suelos S3 y S4 de la Huasteca Potosina fue superior en un 39 % y 50 % al de los suelos S2 y S5, respectivamente. El suelo S1 de Aldama Tamaulipas superó en un 19 %, 45 %, 55 % y 84 % a los suelos S2, S4, S5 y S3, respectivamente. El índice de Jaccard promedio fue de 0.22, reflejando baja similitud entre los sitios de muestreo y suelos e indicando un porcentaje bajo de especies comunes. No se encontró 100 % de similitud entre los suelos.

Referencias

Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. *Frontiers in Plant Science*, *10*, Article 1068. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068

Gerdemann, J. W., & Nicholson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, *46*(2), 235–244. https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0

Gil-Fernández, M., Carthey, A. J. R., Mendoza, E., Godínez-Gómez, O., MacSwiney G., M. C., Blanco-García, A., Delfín-Alfonso, C. A., & Le Roux, J. J. (2025). The impact of land use change on mycorrhizal fungi and their associations with rodents: Insights from a temperate forest in Mexico. *Mycorrhiza, 35*, 36. https://doi.org/10.1007/s00572-025-01210-x

Matos, P. S., da Silva, C. F., Pereira, M. G., da Silva, E. M. R., Tarré, R. M., Franco, A. L. C., & Zonta, E. (2022). Short-term modifications of mycorrhizal fungi, glomalin and soil attributes in a tropical agroforestry. *Acta Oecologica*, *114*, Artículo 103815. https://doi.org/10.1016/j.actao.2022.103815

Polo-Marcial, M. H., Lara-Pérez, L. A., Goto, B. T., Margarito-Vista, X., & Andrade-Torres, A. (2021). Glomeromycota in Mexico: A country with very high richness. *Sydowia*, *74*, 33–63. https://doi.org/10.12905/0010.sydowia74-2021-0033

Schüßler, A., & Walker, C. (2010). *The Glomeromycota: A species list with new families and new genera*. Royal Botanic Garden Edinburgh.

Veresoglou, S. D., Grünfeld, L., & Mola, M. (2021). Micro-landscape dependent changes in arbuscular mycorrhizal fungal community structure. *Applied Sciences*, *11*(11), Artículo 5297. https://doi.org/10.3390/app11115297

Villagómez-González, B. B., Robles, C., & Carballar-Hernández, S. (2024). Richness and community structure of arbuscular mycorrhizal fungi associated with quelites in the Sierra Sur region of Oaxaca, Mexico. *Biodiversitas*, *25*(4), 1570–1579. https://doi.org/10.13057/biodiv/d250428

Zhu, X., Yang, W., Sun, L., Song, F., & Li, X. (2021). Anthropogenic land use changes diversity and structure of arbuscular mycorrhizal fungal communities at 100-m scale in northeast China. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *67*(6), 778–792. https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1757660

TOLERANCIA A ARAÑA ROJA Y A CENICILLA EN SELECCIONES DE DURAZNERO EN AGUASCALIENTES

Manuel Antonio Galindo-Reyes[1*], José Alberto Urrieta-Velázquez[2], José Carlos Monárrez-González[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Pabellón. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera. Gómez Palacio, Durango. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de Guadiana, Durango, Durango. * Autor de correspondencia: galindo.manuel@inifap.gob.mx.

Introducción

El duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) es un frutal caducifolio, originario de China (Africano et al., 2016). Este frutal se cultiva ampliamente en clima templado, es la tercera fruta de clima templado más importante después de la manzana y la pera. En general, más del 90% de la producción a nivel mundial se destina en fresco (Vázquez-Cuecuecha et al., 2023). Por lo tanto, esta especie tiene amplia importancia a nivel nacional e internacional.

En México, durante el año 2024 se cultivaron más de 34 mil hectáreas de duraznero para diferentes destinos de la producción. Los principales estados en superficie cultivada son Zacatecas, Michoacán, Puebla, entre otros (SIAP, 2024). Por otro lado, el durazno y nectarina son las frutas tipo drupa y hueso más preferidas por sus atractivos colores, aroma y una combinación de azúcar y acidez que generan un sabor único y popular entre los consumidores (Veerappan et al., 2021). Así, en México, el durazno representa una de las frutas dulces de temporada de alto consumo y valor económico (García-Ávila et al., 2026). En general, el fruto del duraznero tiene gran aceptación por parte de los consumidores debido a su agradable sabor y propiedades nutricionales (Lambaré y Pochettino, 2012)

Actualmente, en el Centro Norte de México, la araña roja (*Eotetranychus lewisi*) y la cenicilla (*Sphaerotheca pannosa* Wall y Lev.) son la plaga y la enfermedad del duraznero más importante en el cultivo de duraznero. Algunas variedades mejoradas y sobre todo los durazneros tipo criollo cultivadas en México presentan alta susceptibilidad a la cenicilla y el ataque se ha detectado en hojas y ramas tiernas (Calderón-Zavala et al., 2019). También, los daños y ataque por araña roja y por frailecillo (*Macrodactylus mexicanus*), reducen el rendimiento del duraznero de manera significativa (Mendoza-Robles y Hernández-Romero, 2019). Por lo tanto, se deben de implementar varias estrategias para contrarrestar el efecto de plagas y enfermedades. Dichas estrategias pueden ser el manejo integrado de plagas y enfermedades, donde se privilegie el uso de variedades tolerantes.

En México, los programas de mejoramiento en duraznero se dirigen a obtener variedades con bajo y medio requerimiento de frío, precoces, productivas y con alta calidad de fruto. Además, los cultivares de duraznero liberadas deben ser tolerantes al ataque de cenicilla, Monilinia, araña roja, entre otros. En el Campo Experimental Pabellón (CEPAB) que se localiza en el estado de Aguascalientes, hasta antes del año 2007 existió un programa de mejoramiento en duraznero, donde se generaron diversas selecciones y variedades. Con relación con lo anterior es importante evaluar las variedades y selecciones generadas en el CEPAB y otros genotipos introducidos de otras regiones con el fin de disponer de variedades comerciales o para iniciar un programa de mejoramiento en duraznero. Por esta razón, esta investigación tiene como objetivo presentar la evaluación del daño visual a nivel foliar de araña roja y cenicilla en 10 selecciones de duraznero en Aguascalientes.

Materiales y métodos

La investigación se hizo en un huerto duraznero que se ubica en el Campo Experimental Pabellón, en el estado de Aguascalientes; cuya localización es de 22° 09´ Latitud Norte y 102° 16´ Longitud Oeste y 1,920 m de altitud sobre el nivel del mar. El suelo del huerto es de tipo Calcisol, de clase textural franco-arcillo-arenoso, con pH alcalino (7.9), pobre en materia orgánica (<1.0%), densidad aparente de 1.4 y conductividad eléctrica de 1.7 dS/m (Osuna et al., 2013). El clima que predomina en la región es semidesértico con lluvias en verano; con incidencia de temperaturas, media anual de 16.2 °C, media anual máxima de 20 °C y mínima de 7.1 °C (Medina et al., 2006).

La plantación se realizó a una distancia de 5 x 2 metros para líneas y plantas, respectivamente; y las hileras se orientaron de Este-Oeste. Todos los árboles se condujeron en vaso, dejando entre cinco y seis ramas principales para favorecer la entrada de la luz.

Con relación al manejo agronómico, en la etapa de letargo, en el mes de enero se hizo la poda de fructificación con la ayuda de tijera. En seguida, el huerto se fertilizó considerando el requerimiento nutrimental del frutal, aportación nutrimental del agua de riego y del suelo, así resultó la dosis de 100-50-20-30-20-30 unidades de N, P2O5, K2O, CaO, MgO y S, respectivamente. El fertilizante se aplicó de manera fraccionada en cuatro dosis al año, de acuerdo con la etapa fenológica. En letargo, se proporcionó riego por gravedad, aplicando 50 mm de lámina; posteriormente, en primavera se dio un riego cada 10 días, en verano antes del periodo fuerte de lluvia se aplicó un riego cada siete días y durante el otoño se suministró un riego cada 10 días. Finalmente, los árboles recibieron prácticas agronómicas de acuerdo con el manejo comercial de la región como fue el control de maleza, de plagas y de enfermedades.

En este huerto se evaluaron 10 genotipos durante dos años y ambos genotipos se consideraron como tratamientos. Dichos tratamientos se distribuyeron en condiciones de un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones y como unidad experimental se consideró un árbol. La caracterización sanitaria consistió en evaluar la tolerancia visual de las accesiones de duraznero al ataque de araña roja y cenicilla durante el año 2023 y 2024.

La tolerancia a araña roja se evaluó durante los meses de mayo en ambos años, para tratar de evaluar el daño acumulado. Esta actividad consistió en registrar el índice de daño foliar (bronceado y defoliación) visual ocasionado por la araña sobre el árbol, para ello se utilizó una escala arbitraria desde el 0 hasta el 5, modificada de Meagher y Werner (1992); donde 0 = ausencia de daño foliar, 1 = 1 - 20 %, 2 = 21-40 %, 3 = 41-60 %, 4 = 61-80 %, 5 = 81-100 %, de daño foliar, respectivamente. Con base en el daño del follaje las accesiones se clasificaron en las categorías siguientes: Altamente resistentes = 0.0 a 1.0; Resistentes = 1.1 a 2.0; Tolerantes = 2.1 a 3.0; Susceptibles = 3.1 a 4.0, y Altamente susceptibles = 4.1 a 5.0.

La tolerancia a cenicilla se determinó de manera visual mediante la escala de evaluación propuesta por Jasso (1988), quien considera el porcentaje de hoja infectada y el número de ramas dañadas por árbol (Cuadro 1). Esta evaluación se hizo durante mayo y junio en ambos años, para evaluar el daño acumulado.

Cuadro 1. Escala de evaluación para determinar el grado de susceptibilidad del duraznero a la cenicilla.

Escala	Descripción
0	Sin infección aparente de la enfermedad
1	De 1 a 10 % de la superficie de la hoja con infección y con 5 o menos ramas afectadas
2	De 1 a 10 % de la superficie de la hoja con infección y con 6 o más ramas afectadas
3	De 11 a 20 % de la superficie de la hoja con infección y con 5 o menos ramas afectadas
4	De 11 a 20 % de la superficie de la hoja con infección y con 6 o más ramas afectadas
5	De 21 a 30 % de la superficie de la hoja con infección y con 5 o menos ramas afectadas
6	De 21 a 30 % de la superficie de la hoja con infección y con 6 o más ramas afectadas
7	De 31 a 49 % de la superficie de la hoja con infección y con 5 o menos ramas afectadas
8	De 31 a 49 % de la superficie de la hoja con infección y con 6 o más ramas afectadas
9	De 50 % o más de la superficie de la hoja con infección y con 5 o menos ramas afectadas
10	De 50 % o más de la superficie de la hoja con infección y con 6 o más ramas afectadas

Fuente: Jasso (1988).

El análisis estadístico consistió en someter los datos a pruebas de normalidad de Shapiro-Wilks ($p > 0.05$) y homogeneidad de varianzas de Levene ($p>0.05$). Cuando los datos no cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se realizó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis bajo un diseño completamente al azar ($p>0.05$). Todos los análisis se realizaron mediante el software estadístico IBM SPSS Statistics versión 26.

Resultados y discusión

Actualmente, la araña roja (*Eotetranychus lewisi*) y la cenicilla (*Sphaerotheca pannosa*) son la plaga y la enfermedad del duraznero más importante en el cultivo de duraznero en el Centro Norte de México. En este sentido, en esta investigación se evaluó la tolerancia a araña roja y a cenicilla de 10 genotipos mediante escálalas arbitrarias durante.

La tolerancia a araña roja se evaluó en los 10 genotipos del banco de germoplasma de Aguascalientes mediante una escala arbitraria desde 0 hasta 5; donde, 0 significa resistente y 5 significa altamente susceptible.

En la Figura 1 se observa que todas las accesiones de duraznero mostraron el mismo daño foliar causado por la araña roja, ya que no se detectaron diferencias significativas ($p > 0,05$). En la evaluación se determinó que todas las accesiones se ubicaron dentro de la categoría (1.2 – 1.8) de resistente (Figura 1) al ataque de araña roja. Además, es importante mencionar que durante estos años de evaluación no se aplicaron acaricidas contra tal plaga. Esto indica que todas las accesiones mostraron buena tolerancia al ataque de la araña roja en el banco de germoplasma de Aguascalientes.

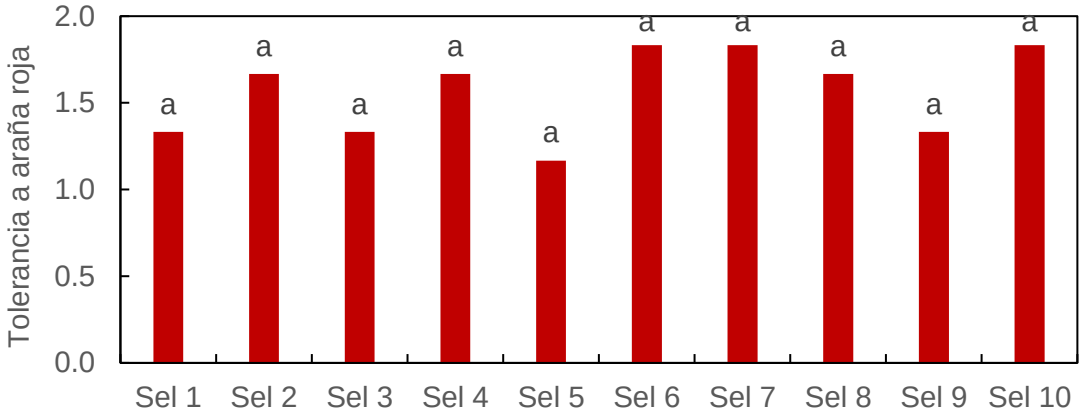


Figura 1. Tolerancia a la araña roja de las accesiones de duraznero en Aguascalientes. Letras distintas indican medias significativamente diferentes entre sí (p< 0.05).

Con relación a la tolerancia a cenicilla en el follaje determinó en los 10 genotipos del banco de germoplasma de Aguascalientes mediante una escala arbitraria desde 0 hasta 10; donde, 0 indica ausencia de infección y 10 indica 50% o más de infección foliar. En la Figura 2 se presentan los resultados de la evaluación de la tolerancia al ataque de cenicilla; donde, se aprecia que la mayoría de las accesiones se encontraron entre las categorías de 1 y 3, a excepción de la Accesión 3 que se ubicó en la categoría 5. La Accesión 3 mostró mayor (p<0.05) infección que el resto de genotipos, ya que esta accesión se ubicó en la categoría 5, que indica que entre 21 y 30% de la superficie de la hoja muestra infección y con cinco o menos ramas afectadas. Esto significa que la mayoría de las accesiones presentaron poca afectación por la cenicilla y sólo la Accesión 3 mostró daño intermedio en el follaje y poca o nulo ataque en el fruto.

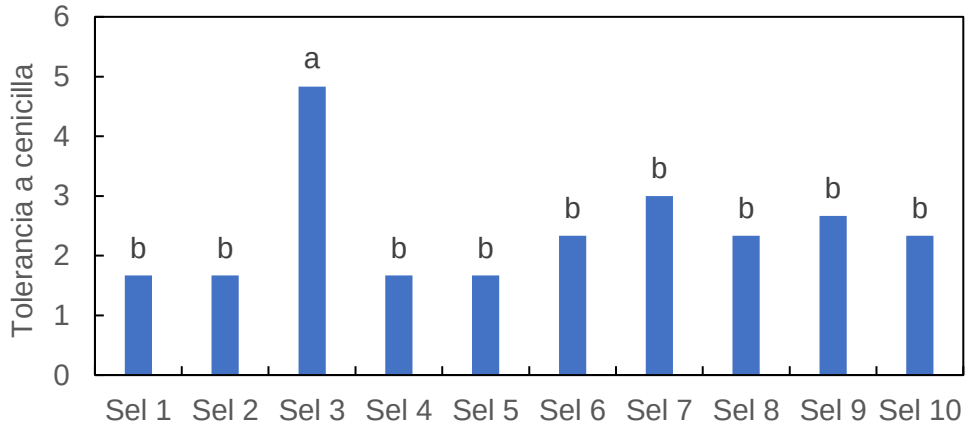


Figura 2. Tolerancia a la cenicilla de las accesiones de duraznero en Aguascalientes. Letras distintas indican medias significativamente diferentes entre sí (p< 0.05).

Los resultados obtenidos en esta investigación tanto en araña roja como en cenicilla (Figuras 1 y 2) indican que existen genotipos tolerantes a estos organismos, por lo que es importante conservar, multiplicar y emplear estos genotipos con fines de mejoramiento genético o producción comercial de duraznero en la región Norte centro de México.

Conclusiones

No hubo diferencias significativas en la respuesta de las selecciones de duraznero al ataque por araña roja. Asimismo, todas las selecciones de duraznero resultaron tolerantes al daño de araña roja.

La mayoría de los genotipos de duraznero presentaron poco o nulo daño visual en hojas y frutos por cenicilla, a excepción de la Selección 3 que resultó con daño intermedio por este hongo.

Referencias

Africano, K. L., Almanza, M. P. J., Criollo, E. H., Herrera, A., & Balaguera, L. H. E. (2016). Caracterización poscosecha del fruto de durazno [Prunus persica L. Batsch] cv. Dorado producido bajo condiciones de trópico alto. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 232–240. https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5712

Calderón-Zavala, G., Rodríguez-Alcazar, J., Espíndola-Barquera, M. C., & García-Ávila, A. (2019). Variedades mejoradas de durazno (*Prunus persica* L.). *Agro Productividad*, *12*(3), 81–83.

García-Ávila, A., Calderón-Zavala, G., Espíndola-Barquera, M. C., López-Jiménez, A., Santacruz-Varela, A., & Alia-Tejacal, I. (2026). Diversidad productiva y calidad de fruto de cultivares de durazno y Nectarina. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *17*, 1–11.

Jasso A., J. (1988). Mejoramiento genético del durazno para resistencia al ataque de la cenicilla Sphaerotheca pannosa (Wallr.) Lev [Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados]. Centro de Fruticultura, Montecillo, México.

Lambaré, A., & Pochettino, L. (2012). Diversidad local y prácticas agrícolas asociadas al cultivo tradicional de duraznos, *Prunus persica* (Rosaceae), en el noroeste de Argentina. *Darwiniana*, *50*(2), 174–186.

Meagher, R. L., & Werner, D. (1992). Variability in resistance of peach plant introductions to *Tetranichus urticae* (Achari: Tetranychidae) infestation. *Fruits Varieties Journal*, *46*, 108–111.

Medina, G. G., Maciel, P. L. H., Ruiz, C. J. A., Serrano, A. V., & Silva, S. M. M. (2006). *Estadísticas climatológicas básicas del estado de Aguascalientes (periodo 1961-2003)* (Libro técnico núm. 2). INIFAP; Campo Experimental Pabellón; Fundación Produce Aguascalientes; SAGARPA.

Mendoza-Robles, R., & Hernández-Romero, E. (2019). Producción de durazno (*Prunus persica* L.) en Puebla, México. *Agroproductividad*, *12*(3), 87–88.

Osuna-Ceja, E. S., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, J. S., Rosales-Serna, R., Martínez-Gamiño, M. A., Acosta-Gallegos, J. a., & Figueroa-Sandoval, B. (2013). Rendimiento de genotipos de frijol con diferentes métodos de siembra y riego-sequía en Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *4*(2), 209–221.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2024). *Cierre de la producción agrícola por estado: uva*. SAGARPA. siap.gob.mx. Consultado en línea el 4 de septiembre de 2026.

Vázquez-Cuecuecha, O. G., García-Gallegos, E., & Chávez-Gómez, J. A. (2023). Caracterización física y química de los frutos de tres variedades de *Prunus persica* L. Batsch en Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *14*(1), 90–99. doi.org.

Veerappan, K., Natarajan, S., Chung, H., & Park, J. (2021). Molecular insights of fruit quality traits in peaches, *Prunus persica*. *Plants*, *10*(11), Artículo 2420. doi.org

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS MACRONUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO CON EL CULTIVO DE MAÍZ FORRAJERO, MAPIMÍ, DURANGO.

Eva Aurora Bautista-Calderon[1*], Nuria Aide López-Hernández[1], Cristo Omar Puente-Valenzuela[1], Aldo Rafael Martínez Sifuentes[1], Alan Tinoco Delgadillo[2], Rubén Palacio-Rodríguez[3], Juan José Vega-Miranda[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Zona Industrial km 6.5 Canal Sacramento, CP. 35140. Gómez Palacio, Durango, México. [2]Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Gómez Palacio, Durango. México. [3]Universidad Juárez del Estado de Durango - Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad S/N, Núcleo Universitario, Filadelfia, 35019 Gómez Durango, México. *Autor para correspondencia: bautista.eva@inifap.gob.mx

Introducción

La fertilidad del suelo constituye uno de los principales factores que determinan la productividad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas, debido a su influencia sobre la disponibilidad de nutrientes, el crecimiento de los cultivos y el funcionamiento de los procesos biogeoquímicos del suelo (FAO, 2026). Entre los principales indicadores empleados para evaluar esta condición se encuentran la materia orgánica (MO), el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), cuya disponibilidad está determinada por la interacción entre las características del suelo, el manejo agrícola y los procesos de transformación, retención, movilidad y absorción por las plantas. Además de las diferencias entre nutrientes, las propiedades de fertilidad presentan una importante variabilidad espacial dentro de las parcelas agrícolas. Esta variabilidad puede estar asociada con factores intrínsecos del suelo, como textura, material parental, topografía y propiedades químicas, así como con factores de manejo, entre ellos la fertilización, distribución de residuos, cultivo y prácticas agrícolas (Lopez-Castañeda et al., 2022).

En particular, la interpolación mediante Kriging ha demostrado ser una herramienta útil para generar mapas de distribución espacial de variables de fertilidad y apoyar la identificación de zonas con diferentes requerimientos nutrimentales. En este contexto, la identificación de patrones espaciales de MO, N, P y K resulta particularmente importante en sistemas agrícolas bajo fertilización convencional, ya que permite reconocer la heterogeneidad existente dentro de una misma parcela y proporciona elementos para mejorar el manejo de los nutrientes (Han et al., 2022). Derivado a lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la distribución espacial de la materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo de una parcela agrícola destinada a la producción de maíz forrajero mediante técnicas geoestadísticas e interpolación Kriging, con la finalidad de identificar patrones de variabilidad y delimitar zonas con diferentes condiciones de fertilidad que contribuyan a mejorar el manejo nutrimental del cultivo.

Materiales y Métodos

***Área de estudio*.** El estudio se realizó en el Rancho Santa Araceli, ubicado en las coordenadas 25° 57′ 19.32″ N y 103° 38′ 39.50″ O, en el municipio Bermejillo, Mapimi, Durango. El cultivo agrícola evaluado correspondió al ciclo primavera 2026, establecido con maíz forrajero (*Zea mays* L.), uno de los sistemas productivos predominantes de la región.

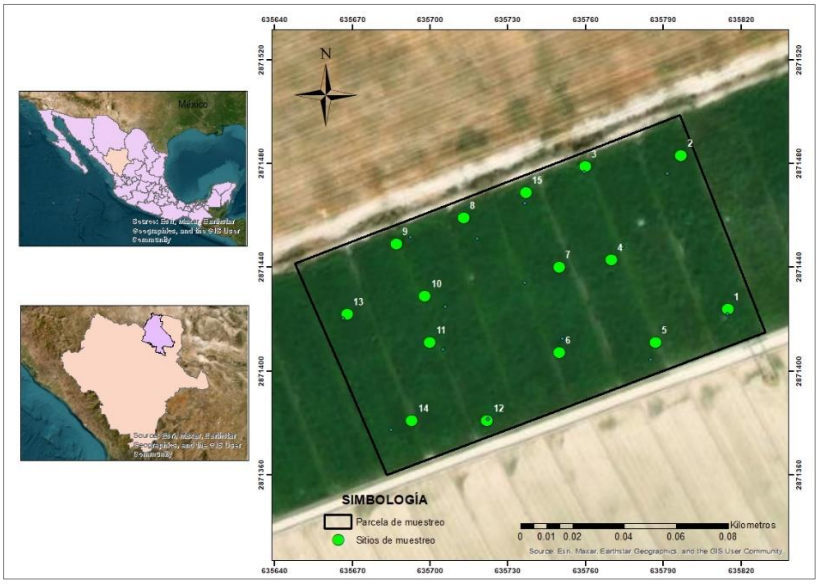


Figura 3. Localización geográfica del área de estudio y distribución de los puntos de muestreo en la parcela del Rancha Araceli, Bermejillo, Mapimí, Durango.

Puntos de muestreo: Se recolectaron un total de 15 muestras simples a una profundidad de 0–30 cm. Cada muestra fue georreferenciada, identificada y almacenada adecuadamente para su posterior procesamiento y análisis en laboratorio.

Análisis en laboratorio: Las muestras de suelos se secaron a la sombra a temperatura ambiente, se tamizaron y se llevaron al Laboratorio de agua y suelo del CENID-RASPA INIFAP. Posteriormente, fueron homogeneizadas y se obtuvo una submuestra de aproximadamente 100 g, la cual se tamizó mediante una malla de 2 mm de abertura (malla No. 10) con el fin de uniformizar el tamaño de las partículas y eliminar fragmentos gruesos (Etchevers et al., 2005). Los análisis para materia orgánica (%) fueron de acuerdo con AS-07, Walkley y Black, nitrógeno inorgánico por AS-08, Fosforo (ppm) por AS-10 Olsen, Potasio (ppm) por AS-12 correspondientes a la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

Análisis de la distribución espacial: La distribución espacial de los elementos N, P, K y MO se evaluó mediante técnicas de interpolación geoestadística. Para ello, se empleó el método de Kriging ordinario, el cual permite estimar valores en ubicaciones no muestreadas a partir de la dependencia espacial existente entre los puntos de muestreo. Todo el procesamiento geoestadístico, la interpolación mediante Kriging ordinario y la elaboración de los mapas temáticos se realizaron en el software ArcMap versión 10.8.

Resultados y Discusión

De acuerdo con los criterios establecidos en la NOM-021-SEMARNAT-2000 los contenidos de MO registrados en la parcela (1.6 – 2.2%) corresponden a una condición media para los suelos no volcánicos. No obstante, la distribución espacial mostro variaciones dentro de este intervalo, identificándose zonas con contenidos relativamente menores y otras con valores cercanos al limita superior de la categoría media. La variabilidad espacial observada en la MO, con valores entre 1.6 y 2.2 %, indica que, aun en una parcela sin aplicación de enmiendas orgánicas, existen diferencias en la acumulación y conservación de MO dentro del suelo.

Esta variabilidad puede estar relacionada principalmente con la distribución de los residuos vegetales del cultivo de maíz forrajero, la incorporación de raíces y exudados, así como con las diferencias espaciales en las propiedades físicas y químicas del suelo que regulan la descomposición y estabilización de la materia orgánica. Factores como la textura, el contenido de arcilla, la humedad, la aireación, la temperatura y la actividad microbiana pueden modificar la dinámica de descomposición de los residuos y contribuir a la formación de patrones espaciales diferenciados (Loveland y Webb, 2003; Ortiz, 2019).

En este contexto, las zonas con contenidos superiores a 2.0 % podrían reflejar una mayor acumulación o conservación de residuos vegetales, mientras que los valores inferiores a 1.7 % podrían estar relacionados con una menor incorporación de biomasa al suelo o con una mayor tasa de descomposición. Por tanto, el patrón identificado mediante Kriging evidencia una distribución espacial heterogénea de la MO que, en ausencia de aportes externos de materia orgánica, probablemente responde a la interacción entre el manejo convencional del cultivo, la producción y distribución de biomasa vegetal y la variabilidad natural de las propiedades edáficas.

El contenido de nitrógeno (N) en forma de nitrato presento una marcada variabilidad espacial dentro del área de estudio con concentraciones que oscilaron entre 29.98 ppm y 170 ppm. Este comportamiento evidencia una distribución heterogénea del N disponible en el suelo, con zonas que presentaron concentraciones relativamente menores y otras con acumulaciones considerablemente mayores. De manera orientativa, y considerando los criterios de interpretación establecidos para nitrógeno inorgánico en la NOM-021-SEMARNAT-2000, los valores cercanos a 30–40 ppm se ubicarían en un nivel medio, mientras que las concentraciones superiores a 40 y 60 ppm corresponderían a niveles alto y muy alto, respectivamente. No obstante, debido a que el laboratorio reportó específicamente $N\text{-}NO_3^-$ y no nitrógeno inorgánico total, esta clasificación debe considerarse únicamente como referencia y no como una categorización normativa directa.

La heterogeneidad espacial del $N\text{-}NO_3^-$ puede estar asociada principalmente con la distribución de la fertilización nitrogenada, la mineralización de la materia orgánica presente de manera natural en el suelo y las diferencias en la absorción del nutriente por el cultivo de maíz. Asimismo, debido a la alta movilidad del nitrato en el suelo, factores como la textura, humedad, contenido de materia orgánica, drenaje y distribución del sistema radical pueden favorecer su acumulación o pérdida en determinadas zonas. En este sentido, las áreas con concentraciones más elevadas podrían corresponder a sitios con una mayor disponibilidad residual de nitrógeno, mientras que los sectores con menores concentraciones podrían estar relacionados con una mayor extracción del nutriente por el cultivo o con procesos de lixiviación y movilidad del nitrato (Yahaya et al. 2023).

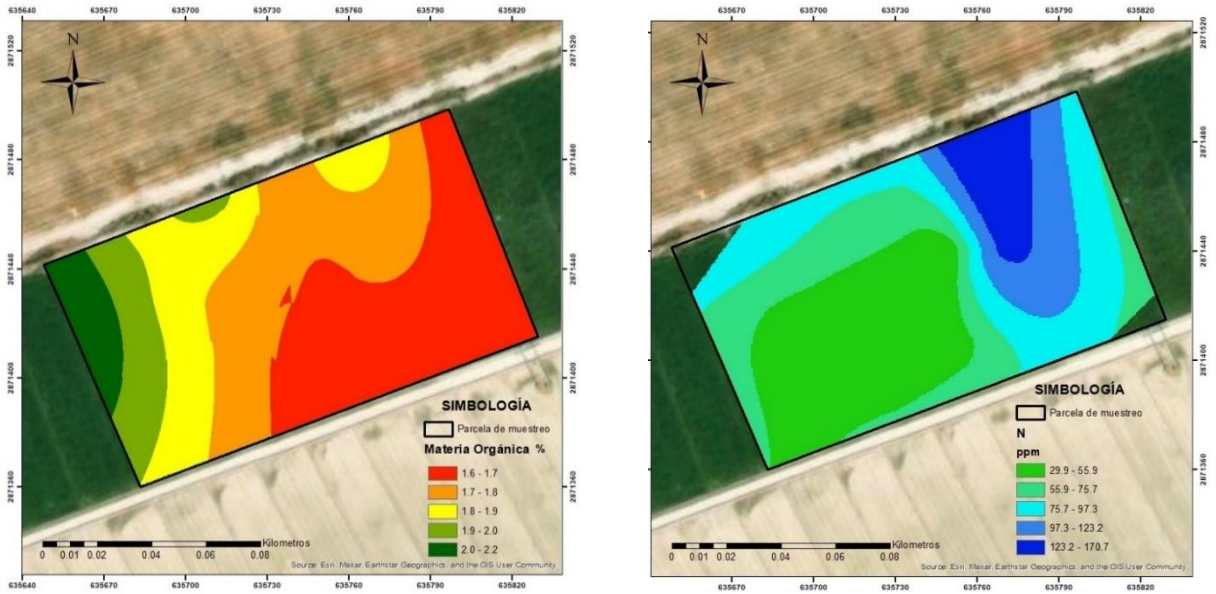


Figura 4. Mapa de la distribución espacial del contenido de materia orgánica (MO) (izquierda), Nitrógeno en forma de nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) (derecha) en un suelo agrícola cultivado con maíz forrajero en el Rancho Santa Araceli, Bermejillo, Mapimí, Durango.

El fósforo (P) aprovechable presentó una marcada variabilidad espacial dentro del área de estudio, con concentraciones que oscilaron entre 21.1 y 75.0 ppm. De acuerdo con los criterios de interpretación establecidos en la NOM-021-SEMARNAT-2000 para fósforo extraíble mediante el método de Olsen, los valores registrados corresponden a niveles altos (20.1–30 ppm) y muy altos (>30 ppm). En consecuencia, la totalidad del área evaluada presentó concentraciones de fósforo aprovechable superiores a 20 ppm, aunque con diferencias espaciales importantes en su magnitud. La presencia de concentraciones elevadas de fósforo resulta relevante considerando que la parcela presenta condiciones de pH superiores a 7. En suelos neutros a alcalinos, particularmente cuando existe presencia de carbonatos, el fósforo puede reaccionar con el calcio y formar compuestos de menor solubilidad; sin embargo, los contenidos elevados de P Olsen observados sugieren una disponibilidad considerable del nutrimento en el suelo. Este comportamiento podría estar asociado con el historial de fertilización fosfatada y con una posible acumulación de fósforo derivada de aportes que superan la extracción realizada por el cultivo. La variabilidad espacial observada mediante Kriging podría, a su vez, reflejar diferencias en la distribución de los fertilizantes, la extracción de P por el maíz y las propiedades edáficas que condicionan su retención y disponibilidad (Reta et al., 2007).

El potasio (K) presenta concentrciones elevadas, lo que sugiere que no constituye una limitante en la fermilizacion de la parcela. Sin embargo, estos valores pudieran estar relacionados con las caractersiticas mineralogicas del suelo, la capacidad de intercambio cationico (CIC) y la dinamica de extraccion del cultivo (Ortiz, 2019) .

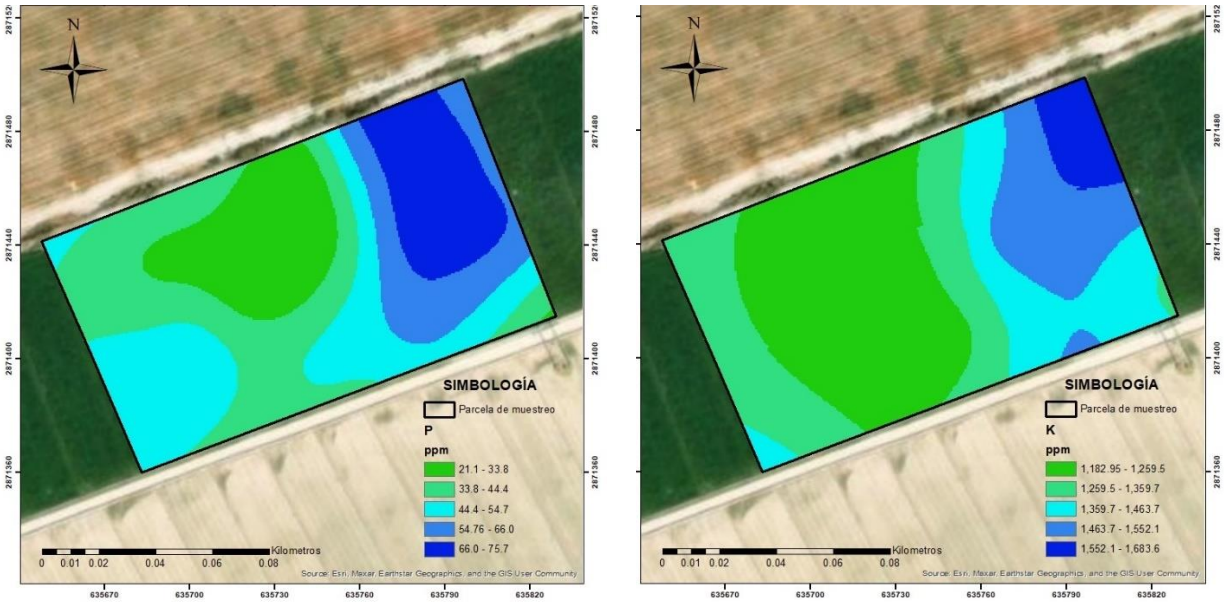


Figura 5. Mapa de la distribución espacial del contenido de Fosforo (O) (izquierda) y Potasio (K) (derecha) en un suelo agrícola cultivado con maíz forrajero en el Rancho Santa Araceli, Bermejillo, Mapimí, Durango.

Conclusiones

La variabilidad espacial observada en la materia orgánica (MO) puede estar relacionada con la distribución de residuos vegetales, raíces y exudados, así como con las características físicas, químicas y biológicas del suelo que regulan su descomposición y estabilización. La MO desempeña un papel fundamental en la fertilidad edáfica debido a su influencia sobre las propiedades del suelo y el ciclado de nutrientes.

Por su parte, la distribución espacial del nitrógeno, fósforo y potasio puede responder a la interacción entre las aplicaciones de fertilizantes minerales, la absorción por el cultivo, la mineralización, la retención y movilidad de los nutrientes en el suelo. Asimismo, se ha demostrado que el manejo de la fertilización con N, P y K puede modificar la dinámica del carbono orgánico del suelo, y que su efecto está condicionado por factores edáficos, hídricos y de manejo. En conjunto, estos procesos pueden explicar la heterogeneidad espacial observada en los contenidos de MO y nutrientes dentro de la parcela.

Referencias

Etchevers, B. J., Monreal, C. M., Hidalgo, C., Acosta, M., Padilla, J y López, R. M. (2005). *Manual para la determinación de carbono en la parte aérea y subterránea de sistemas de producción en laderas*. Ed. Colegio de Postgraduados. México. 29.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2026). *Chemical properties*. FAO Soils Portal.

Han, L., Lu, Y., Ma, W., & Meng, J. (2022). Spatial patterns of soil organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium in a subtropical forest and its implication for forest management. Journal of Resources and Ecology, 13(3), 417–427. https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2022.03.007

López-Castañeda, A., Zavala-Cruz, J., Palma-López, D. J., Rincón-Ramírez, J. A., & Bautista, F. (2022). Digital mapping of soil profile properties for precision agriculture in developing countries. *Agronomy*, 12(2), Article 353. https://doi.org/10.3390/agronomy12020353

Loveland, P., & Webb, J. (2003). Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: A review. *Soil and Tillage Research, 70*(1), 1-18.https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00139-3

Ortiz, S. C. A. (2019). Edafología. México. Editorial Trillas. 145-188 p.

Reta Sánchez, D. G., Cueto Wong, J. A., Gaytán Mascorro, A., & Santamaría Cesar, J. (2007). Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. Agricultura técnica en México, 33(2), 145-151.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. Diario Oficial de la Federación. https://sidof.segob.gob.mx/notas/imagenes/717582

Yahaya, S. M., Mahmud, A. A., Abdullahi, M., & Haruna, A. (2023). Recent advances in the chemistry of nitrogen, phosphorus and potassium as fertilizers in soil: A review. *Pedosphere, 33*(3), 385–406. https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.07.012

IMPACTO DE LA INCORPORACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS A BASE DE ESTIÉRCOL BOVINO EN LOS CONTENIDOS DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS AGRÍCOLAS DE LA COMARCA LAGUNERA

Eva Aurora Bautista-Calderon[1*], Cristo Omar Puente-Valenzuela[1], Nuria Aide López-Hernández[1], Alan Tinoco Delgadillo[2], Guillermo González Cervantes[1], Iván Franco Gaytán[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Zona Industrial km 6.5 Canal Sacramento, CP. 35140. Gómez Palacio, Durango, México. [2]Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Gómez Palacio, Durango. México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo experimental La Laguna, Blvd. José Santos Valdés 1200 Pte. C.P. 27440, Matamoros, Coahuila. *Autor para correspondencia: bautista.eva@inifap.gob.mx

Introducción

Los suelos constituyen un recurso natural estratégico para la mitigación y adaptación al cambio climático, debido a que representan uno de los principales reservorios de carbono de los ecosistemas terrestres (Lal, 2010, FAO, 2020). El carbono (C) se encuentra distribuido entre diversos reservorios globales, entre los que se incluyen la atmósfera, los océanos, los combustibles fósiles y los ecosistemas terrestres, donde se almacena principalmente en la biomasa vegetal y en el suelo. En este contexto, el carbono orgánico del suelo (COS) desempeña un papel fundamental en el ciclo global del carbono, ya que se estima que representa aproximadamente dos tercios de las reservas de carbono de los ecosistemas terrestres (Zhang et al., 2018).

No obstante, el suelo no solo constituye un importante reservorio de C, sino que también puede convertirse en una fuente de gases de efecto invernadero (GEI), dependiendo de las condiciones ambientales y, particularmente, de las prácticas de manejo agrícola. A nivel mundial, las actividades relacionadas con la agricultura contribuyen de manera significativa a las emisiones antropogénicas de GEI, al generar aproximadamente el 13 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), el 44 % de las emisiones de metano (CH_4) y el 81 % de las emisiones de óxido nitroso (N_2O), lo que representa cerca del 23 % del total de las emisiones antropogénicas de GEI (IPCC, 2022). La incorporación de residuos orgánicos al suelo, como las excretas bovinas presentan potencial para contribuir a la mitigación del cambio climático mediante el incremento y estabilización del carbono orgánico en el suelo (COS).

Asimismo, esta información puede contribuir al diseño de estrategias de manejo orientadas a conservar y aumentar las reservas de carbono del suelo, favoreciendo su función como reservorio y reduciendo su potencial contribución a las emisiones de GEI. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue cuantificar y comparar las reservas de COS en tres manejos agrícolas de la Comarca Lagunera relacionados con la aplicación de enmiendas orgánicas de origen bovino y su comparación con el manejo tradicional de la región como punto de partida de la exploración del impacto de estas prácticas agrícolas.

Materiales y métodos

La zona de estudio comprende parcelas agrícolas ubicadas dentro del Distrito de Riego (DR) 017 Región Lagunera, en los municipios de Gómez Palacio, Durango, y Francisco I. Madero, Coahuila (Figura 1). Se seleccionaron tres parcelas con diferentes prácticas de manejo asociadas al aporte de enmiendas orgánicas de origen bovino. La parcela Fénix Químico (26.63° N, 103.30° W) corresponde a un manejo tradicional basado exclusivamente con la aplicación de fertilizantes químicos con el cultivo de sorgo forrajero. La parcela San Esteban (25.74° N, 103.34° W) se caracteriza por la incorporación directa de excretas bovinas al suelo. Finalmente, la parcela Porvenir (25.78° N, 101.34° W) presenta un manejo en el que las fracciones sólida y líquida de las excretas bovinas se incorporan al suelo mediante el sistema de riego. Ambas parcelas con maíz forrajero.

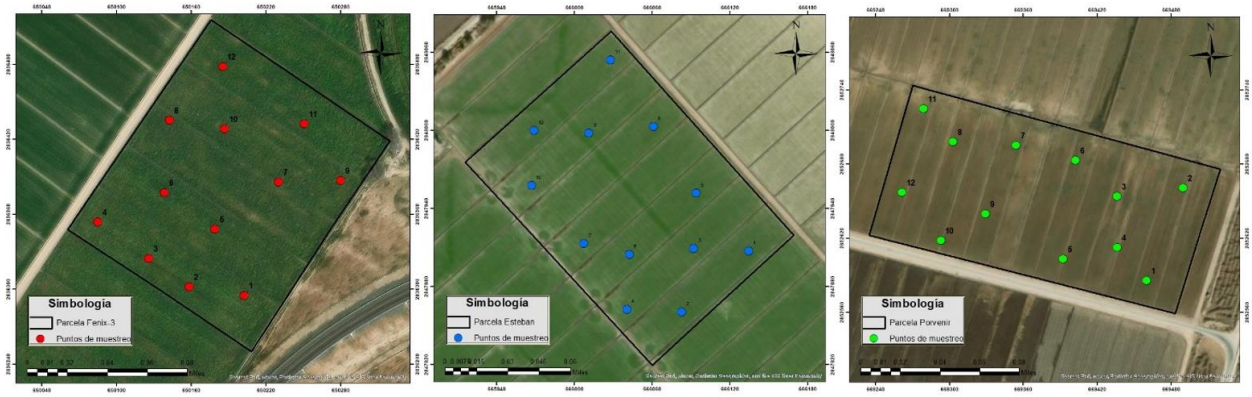


Figura 6. Zona de estudio dentro de la Comarca Lagunera. Figura a) parcela Fénix Químico, Figura b) parcela Esteban y Parcela c) parcela Porvenir.

Muestreo de suelo: Debido a que el presente trabajo corresponde a un análisis preliminar, en esta etapa se presentan únicamente los datos obtenidos durante la primera etapa del muestreo de suelo que fue al inicio de la siembra con el suelo prácticamente desnudo, durante el ciclo agrícola verano 2026. Las parcelas seleccionadas presentan una superficie aproximada de 3 ha cada una. El muestreo se realizó mediante la implementación de una malla regular con una separación de 10 × 10 m en cada parcela de estudio. Debido a la relativa homogeneidad de las parcelas, se seleccionaron aleatoriamente 12 puntos de muestreo dentro de la superficie de cada parcela. En cada punto se recolectaron una muestra simple de suelo correspondiente a la profundidad de 0–30 cm (Figura 2).

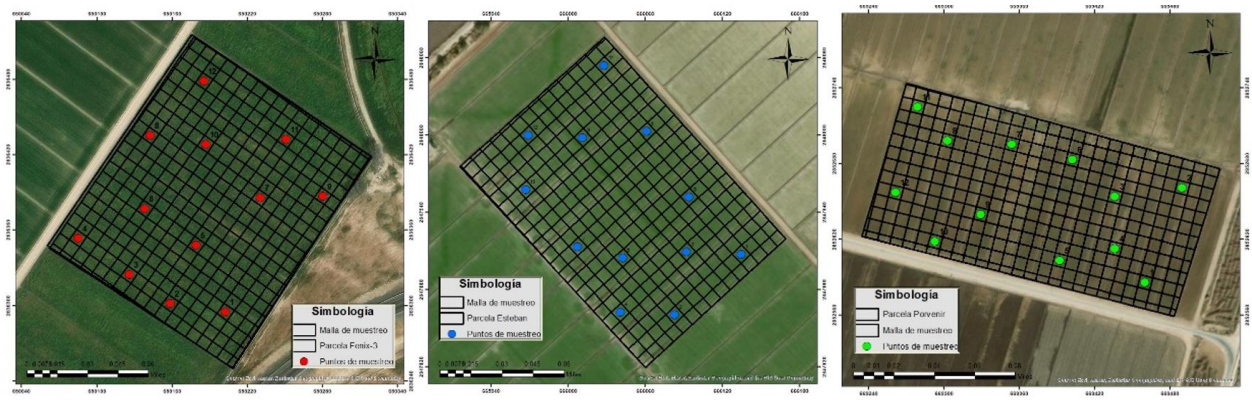


Figura 7. Diseño de muestreo de suelos para la cuantificación de COS a una profundidad de 30 cm en parcelas agrícolas de la Comarca Lagunera.

Las muestras de suelos se secaron en sombra a temperatura ambiente, se tamizaron y se llevaron al Laboratorio de agua y suelo del CENID-RASPA INIFAP para su análisis. La variable evaluada fue materia orgánica (Walkey y Black) de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). El carbono total (CT) se estimó dividiendo el contenido de materia orgánica entre el factor de Van Bemmelen (1.724), que asume que la materia orgánica contiene un 58 % de carbono. Posteriormente, el contenido de C (%) se transformó a concentración ($g \cdot kg^{-1}$) mediante la fórmula: C (g/kg) = (%C) *(1000) /100.

Análisis estadístico: los datos fueron analizados en el software RStudio versión 2026.4.6.1 donde se comprobaron los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk. La homogeneidad de varianzas se evaluó mediante la prueba de Levene y las medias de COS se compararon mediante un ANOVA de Welch, seguido de la prueba de Games-Howell para las comparaciones múltiples para determinar la diferencia estadística en las concentraciones de COS.

Resultados y discusión

De acuerdo con la Base Referencia Mundial del Recurso Suelo (WRB, 2015) pertenecen al grupo de Calcisols, los cuales se caracterizan principalmente por presentar una acumulación de sales moderadamente solubles como lo son los carbonatos secundarios.

De acuerdo con el análisis de las estadísticas descriptivas se pudo observar que el mayor almacenamiento promedio de COS se presentó en la parcela Porvenir con 106.0 ± 23.9 Mg ha^{-1}, oscilando los valores entre 66.8 y 132 Mg ha^{-1}. El coeficiente de variación (CV) fue de 22.6 %, lo que indica una variabilidad moderada en el almacenamiento de COS dentro de la parcela. Si bien el valor promedio fue elevado, la amplitud observada entre los valores mínimos y máximos evidencia cierta heterogeneidad espacial en la distribución del carbono en el suelo. Esta parcela se caracterizó por la incorporación directa de excretas de origen bovino al suelo, así como por el aporte indirecto de materia orgánica mediante el sistema de riego, proveniente de los residuos generados por un separador de sólidos asociado al biodigestor del sitio. Este manejo representa una fuente continua de incorporación de materia orgánica al suelo, lo que podría favorecer la acumulación de COS.

La parcela San Esteban presento el segundo mayor reservorio de COS con 62.6 ± 10.5 Mg ha^{-1}Mg ha^{-1}, con un intervalo de 44.3 a 78.9 Mg ha^{-1}. El CV de 16.8 % indica una variabilidad intermedia respecto a Porvenir y Fénix Químico. Finalmente, la parcela Fénix Químico la cual se caracteriza por presentar un manejo convencional sin la incorporación de enmiendas orgánicas a base de excreta bovina presento el reservorio menor con 47.8 ± 5.05 Mg ha^{-1} con un rango entre 37.6 y 54.5 Mg ha^{-1}. Su CV fue de 10.6 %, el menor de los tres manejos, lo que indica que los valores de COS fueron relativamente homogéneos dentro de la parcela (Figura 3). Utilizando la parcela Fénix Químico como manejo de referencia se calculó el aumento en el almacenamiento de COS en las parcelas donde se realiza la incorporación de excretas bovinas dio como resultado que la parcela porvenir el COS aumento un 121.8% mientras que San Esteban su aumento fue de 31%.

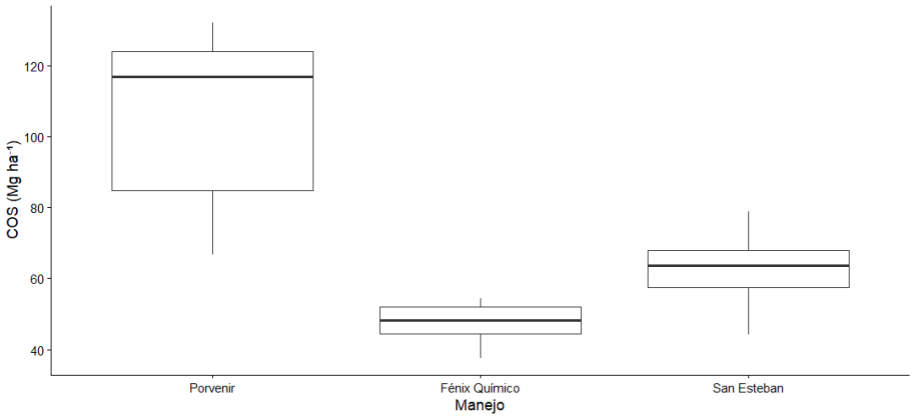


Figura 8. Reservas de carbono orgánico del suelo (COS) en tres sistemas de manejo agrícola en la Comarca Lagunera.

El COS presentó diferencias significativas entre los manejos evaluados (ANOVA de Welch: $F = 39.087$; $gl = 2$ y 17.792; $p < 0.001$). Aunque los datos mostraron una distribución compatible con la normalidad en los tres manejos (Shapiro-Wilk, $p > 0.05$), la prueba de Levene evidenció heterogeneidad de varianzas ($F = 7.203$; $p = 0.0025$); por ello, se empleó el ANOVA de Welch y la prueba de Games-Howell para las comparaciones múltiples. Esta última mostró diferencias significativas entre todas las parejas de manejos: Porvenir vs. Fénix Químico ($p < 0.001$), Porvenir vs. San Esteban ($p < 0.001$) y Fénix Químico vs. San Esteban ($p = 0.0013$). En términos de magnitud, el COS siguió el orden Fénix Químico < San Esteban <Porvenir.

Manejo	COS (Mg ha^{-1})	Grupo	DE	Mín - Máx	CV (%)
Porvenir	106.0 ± 23.9	a	23.9	66.8–132.0	22.6
San Esteban	62.6 ± 10.5	b	5.05	37.6–54.5	10.6
Fénix Químico	47.8 ± 5.05	c	10.5	44.3–78.9	16.8

Donde: Las letras diferentes indican diferencias significativas según Games-Howell ($p < 0.05$).

Las diferencias fueron significativas entre los tres manejos, lo que evidencia una diferenciación en las reservas de carbono asociadas a las condiciones de manejo evaluadas. El mayor contenido de COS observado en Porvenir podría estar relacionado con una mayor incorporación y conservación de materia orgánica. No obstante, debido al carácter comparativo del estudio, estas diferencias deben interpretarse como asociaciones entre el manejo y las reservas de carbono, sin establecer una relación causal directa.

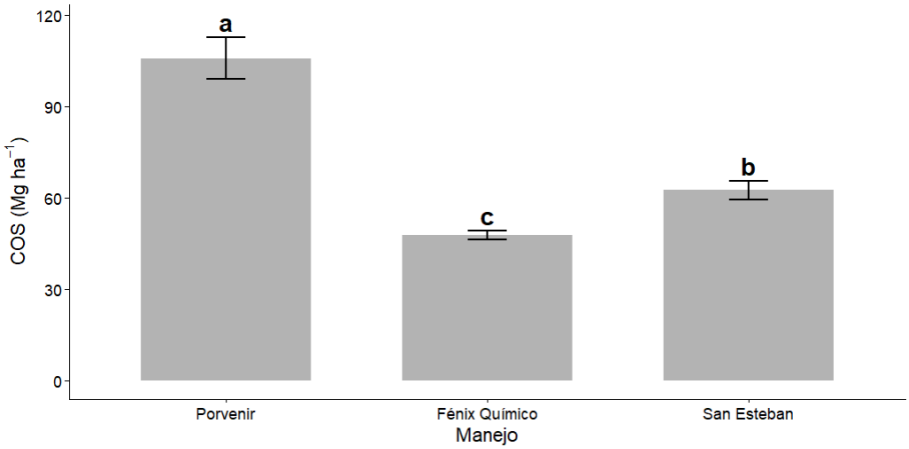


Figura 9. Distribución de los almacenes de COS por tipo de manejo agrícola en parcelas agrícolas de la Comarca Lagunera.

Conclusiones

En conjunto, los resultados indican que los manejos que incluyen incorporación de excretas bovinas se asociaron con mayores reservas de COS que el manejo convencional basado exclusivamente en fertilización química. Sin embargo, debido al carácter comparativo y no experimental del estudio, estos resultados deben interpretarse como asociaciones entre las prácticas de manejo y el almacenamiento de carbono, sin atribuir causalidad directa. Los resultados constituyen una línea base relevante para evaluar el potencial de las enmiendas orgánicas de origen bovino como estrategia de recarbonización de suelos agrícolas y mitigación del cambio climático.

Referencias

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes—GSOC-MRV protocol*. FAO. https://doi.org/10.4060/cb0509en

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2020). *El cambio climático y la tierra*. IPCC. https://www.ipcc.ch/srccl/

IUSS Working Group WRB. (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014: *Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos*. FAO. http://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf

Lal, R. (2010). *Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security*. BioScience, 60(9), 708–721. https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.9.8

Weil, R. R., & Brady, N. C. (2017). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.

Zhang, Z., Zhou, Y., Wang, S., & Huang, X. (2018). *Estimation of soil organic carbon storage and its fractions in a small karst watershed.* Acta Geochimica, 37(1), 113-124. https://doi.org/10.1007/s11631-07-0164-4

LÍNEA BASE Y DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN PARCELAS AGRÍCOLAS CON DIFERENTES MANEJOS DE ENMIENDAS ORGÁNICAS DE ORIGEN BOVINO EN LA COMARCA LAGUNERA

Eva Aurora Bautista-Calderon[1*], Cristo Omar Puente-Valenzuela[1], Nuria Aide López-Hernández[1], Alan Tinoco Delgadillo[2], Guillermo González Cervantes[1], Iván Franco Gaytán[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Zona Industrial km 6.5 Canal Sacramento, CP. 35140. Gómez Palacio, Durango, México. [2]Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Gómez Palacio, Durango. México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo experimental La Laguna, Blvd. José Santos Valdés 1200 Pte. C.P. 27440, Matamoros, Coahuila. *Autor para correspondencia: bautista.eva@inifap.gob.mx

Introducción

El carbono orgánico del suelo (COS) constituye uno de los principales componentes de la materia orgánica edáfica y desempeña un papel fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas agrícolas, debido a su influencia sobre propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Lefèvre et al., 2017).Además, el suelo representa uno de los principales reservorios de carbono de los ecosistemas terrestres, por lo que los cambios en sus existencias pueden tener implicaciones importantes sobre el ciclo global del carbono y la regulación del clima. En este sentido, la conservación e incremento del COS se reconoce como una estrategia potencial para mejorar la calidad del suelo y contribuir a la mitigación del cambio climático (FAO, 2020).

Los sistemas agrícolas pueden experimentar pérdidas de carbono como consecuencia de la intensificación del uso del suelo, la reducción de los aportes de residuos orgánicos y determinadas prácticas de manejo. La disminución del COS puede afectar la estructura del suelo, la disponibilidad de nutrientes, la retención de agua y la actividad biológica, además de reducir la capacidad del suelo para funcionar como reservorio de carbono. Por ello, el desarrollo de prácticas de manejo que incrementen las entradas de carbono al suelo constituye un componente importante de las estrategias de agricultura sostenible y de recarbonización de los suelos agrícolas (Matisic et al., 2024).

Entre las prácticas con potencial para incrementar el COS se encuentra la incorporación de enmiendas orgánicas, particularmente estiércoles y compostas de origen animal. Estos materiales aportan carbono y nutrientes al suelo y pueden favorecer cambios positivos en diferentes indicadores de calidad edáfica. La aplicación de estiércol también puede modificar las existencias de carbono a diferentes escalas temporales y dentro del perfil del suelo (Li et al., 2020; Ren et al., 2024).

En este contexto, el establecimiento de una línea base de carbono orgánico resulta indispensable para determinar las condiciones iniciales de las parcelas y disponer de un referente cuantitativo para evaluar cambios asociados con diferentes estrategias de manejo. La generación de información espacial y vertical sobre las existencias de COS permite establecer comparaciones entre manejos y profundidades, así como identificar prácticas con potencial para conservar o incrementar el carbono almacenado en los suelos agrícolas.

En la Comarca Lagunera, caracterizada por condiciones climáticas áridas, agricultura de riego y una importante actividad pecuaria, el aprovechamiento de estiércoles de origen bovino representa una alternativa de interés para integrar el manejo de residuos pecuarios con estrategias de mejoramiento de la calidad del suelo y almacenamiento de carbono. Por lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo establecer una línea base y caracterizar la distribución vertical del carbono orgánico del suelo en parcelas agrícolas de la Comarca Lagunera sometidas a diferentes manejos de enmiendas orgánicas de origen bovino, con la finalidad de generar información de referencia que permita evaluar el potencial de estas prácticas para la conservación y almacenamiento de carbono en suelos agrícolas.

Materiales y métodos

La zona de estudio comprende parcelas agrícolas ubicadas dentro del Distrito de Riego (DR) 017 Región Lagunera, en los municipios de Gómez Palacio, Durango, y Francisco I. Madero, Coahuila (Figura 1). Se seleccionaron tres parcelas con diferentes prácticas de manejo asociadas al aporte de enmiendas orgánicas de origen bovino. La parcela Fénix-3 (26.63° N, 103.30° W) corresponde a un manejo tradicional basado exclusivamente en la aplicación de fertilizantes químicos. La parcela Esteban (25.74° N, 103.34° W) se caracteriza por la incorporación directa de excretas bovinas al suelo. Finalmente, la parcela Porvenir (25.78° N, 101.34° W) presenta un manejo en el que las fracciones sólida y líquida de las excretas bovinas se incorporan al suelo mediante el sistema de riego.

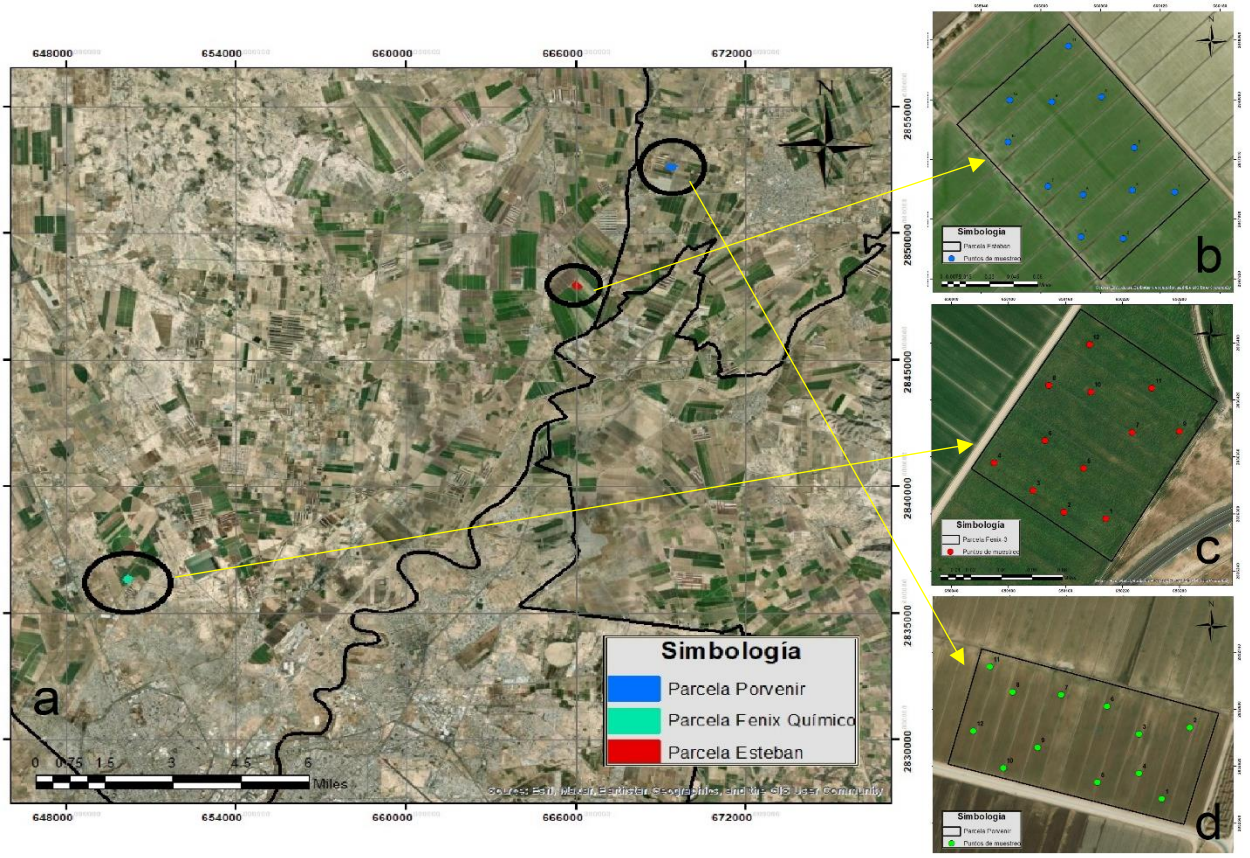


Figura 10. Figura a) Zona de estudio dentro de la Comarca Lagunera. Figura b) parcela San Esteban, Figura c) parcela Fénix Químico y Parcela d) parcela Porvenir.

Muestreo de suelo. Debido a que el presente trabajo corresponde a un análisis preliminar, en esta etapa se presentan únicamente los datos obtenidos durante la primera etapa del muestreo de suelo que fue al inicio de la siembra con el suelo prácticamente desnudo, durante el ciclo agrícola verano 2026. Las parcelas seleccionadas presentan una superficie aproximada de 3 ha cada una. El muestreo se realizó mediante la implementación de una malla regular con una separación de 10 × 10 m en cada parcela de estudio. Debido a la relativa homogeneidad de las parcelas, se seleccionaron aleatoriamente 12 puntos de muestreo dentro de la superficie de cada parcela. En cada punto se recolectaron una muestra simple de suelo a la profundidad de 0–30 cm y de 30-60 cm. Dando un total de 24 muestras simples de suelo por parcela (Figura 2).

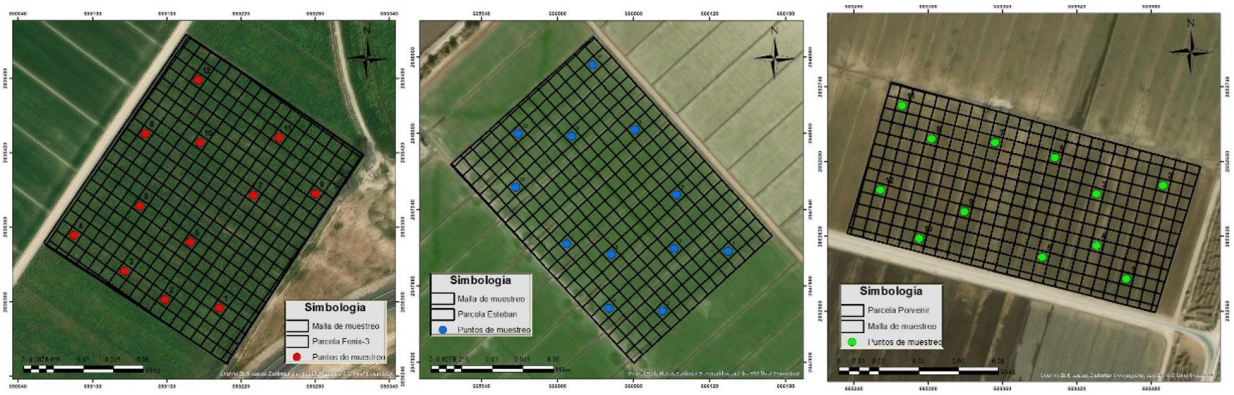


Figura 11. Diseño de muestreo de suelos para la cuantificación de COS a una profundidad de 30 cm en parcelas agrícolas de la Comarca Lagunera.

Análisis estadístico. los datos fueron analizados en el software RStudio versión 2026.4.6.1 donde se caracterizó la variabilidad de los datos, se realizó un análisis estadístico descriptivo para cada localidad y profundidad, incluyendo media, desviación estándar, mediana, valores mínimo y máximo y coeficiente de variación (CV). Las diferencias en el contenido de COS entre las profundidades de 0–30 y 30–60 cm dentro de cada parcela se evaluaron mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon.

Resultados y Discusión

La caracterización de la línea base mostró diferencias en las reservas de carbono orgánico del suelo (COS) entre las parcelas y profundidades evaluadas. En la capa de 0–30 cm, la parcela Porvenir presentó el mayor almacenamiento promedio, con 105.79 ± 23.91 Mg ha^{-1}, seguida de San Esteban con 62.57 ± 10.51 Mg ha^{-1} y Fénix Químico con 47.79 ± 5.04 Mg ha^{-1}. En la profundidad de 30–60 cm se mantuvo el mismo patrón, con valores promedio de 45.23 ± 6.02 Mg ha^{-1} para Porvenir, 37.09 ± 7.84 Mg ha^{-1} para San Esteban y 21.88 ± 6.34 Mg ha^{-1} para Fénix Químico. En términos generales, las reservas de COS disminuyeron con la profundidad en las tres parcelas; sin embargo, Porvenir mantuvo los mayores valores en ambas capas. La reducción del almacenamiento entre 0–30 y 30–60 cm fue de aproximadamente 57.2 % en Porvenir, 40.7 % en San Esteban y 54.2 % en Fénix Químico.

Cuadro 2. Contenido de carbono orgánico del suelo en las profundidades 0-30 cm y 30-60 cm bajo diferentes manejos agrícolas.

Parcela	Profundidad	Media (Mg ha⁻¹)	DE	Mín.	Máx.	CV (%)
Porvenir	0–30 cm	**105.79**	23.91	66.8	132.2	22.6
Porvenir	30–60 cm	45.23	6.02	36.5	58.1	13.32
Fénix Químico	0–30 cm	47.79	5.04	37.6	54.5	10.55
Fénix Químico	30–60 cm	21.88	6.34	8.8	32.2	28.97
San Esteban	0–30 cm	62.57	10.51	44.3	78.9	16.79
San Esteban	30–60 cm	37.09	7.84	27.1	57.2	21.12

Donde: DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación

Estos resultados evidencian una mayor concentración de las reservas de COS en la capa superficial, aunque la presencia de carbono en el estrato de 30–60 cm indica que una fracción importante del reservorio se encuentra también en profundidad. Los resultados obtenidos del comportamiento de COS por profundidad coinciden con los reportado por otros autores. De acuerdo con García et al., (2006), Acosta et al., (2009), Masuhara et al., (2015), Morales et al., 2020, Unda (2021) y Valdés et al., (2022) la concentración de COS es menor a medida que aumenta la profundidad del suelo.

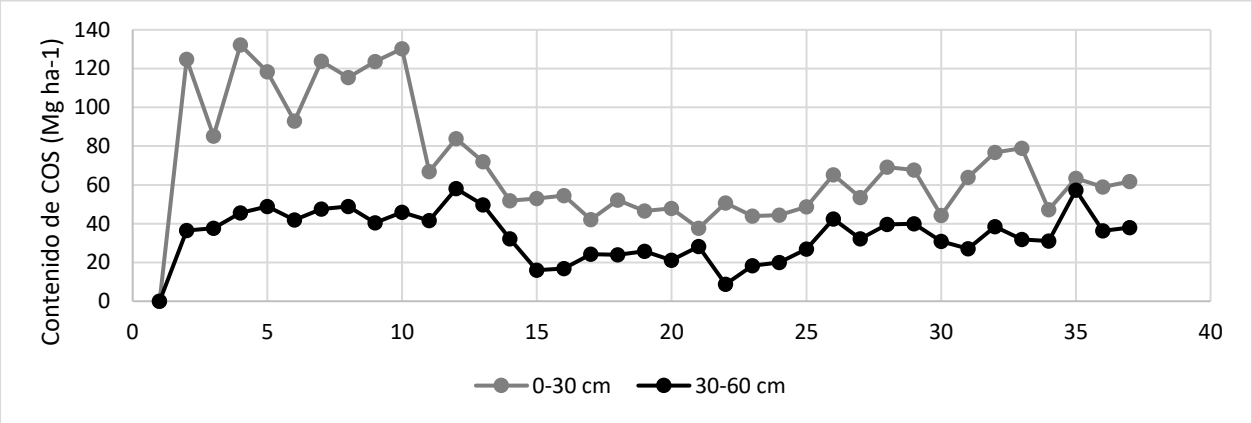


Figura 12. Dinámica del contenido de COS en las profundidades de 0-30 y 30-60 cm en diferentes parcelas agrícolas de la Comarca Lagunera.

Los contenidos de COS mostraron una clara disminución con el incremento de la profundidad en las tres localidades evaluadas. En todos los manejos, la capa de 0–30 cm presentó los mayores contenidos de COS y fue estadísticamente diferente de la capa de 30–60 cm, clasificándose como grupo “a” y “b”, respectivamente ($p < 0.05$). Esta diferencia fue consistente entre localidades, lo que evidencia una mayor acumulación de carbono orgánico en la capa superficial del suelo. En contraste, los contenidos registrados a 30–60 cm fueron significativamente menores, independientemente del manejo evaluado. En conjunto, los resultados muestran que la profundidad fue un factor determinante en la distribución vertical del COS, con una concentración significativamente mayor en los primeros 30 cm del suelo.

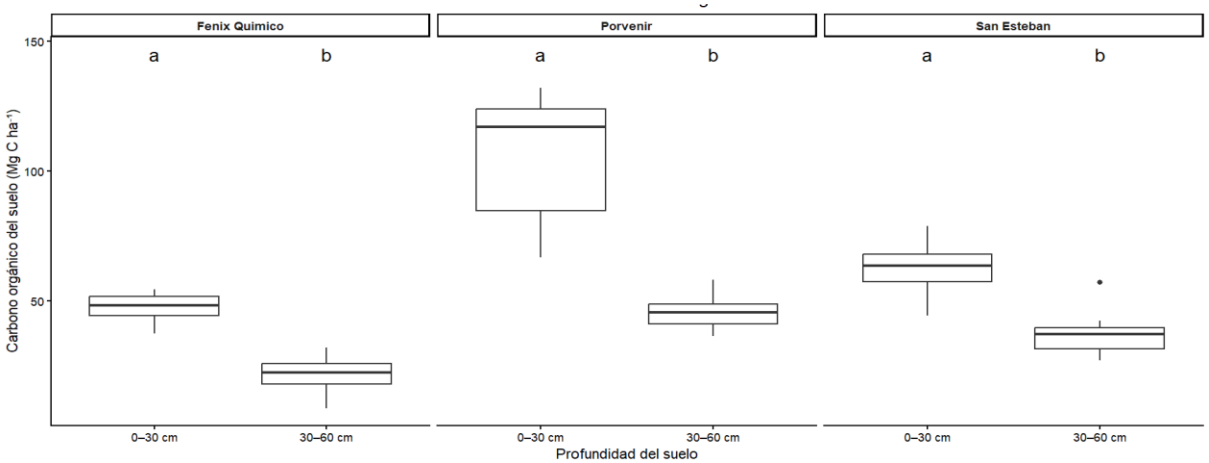


Figura 13. Comparativa del comportamiento del COS en las profundidades de 0 -30 cm y 30 - 60 cm.

Conclusiones

La caracterización de la línea base evidenció una distribución vertical diferenciada de las reservas de carbono orgánico del suelo (COS) en las tres parcelas evaluadas, con una mayor acumulación en la capa superficial de 0–30 cm y una disminución significativa en la profundidad de 30–60 cm. A pesar de la disminución del COS con la profundidad, la presencia de cantidades importantes de carbono en el estrato de 30–60 cm confirma que este compartimento representa una fracción relevante del reservorio total de carbono del suelo. En conjunto, estos resultados establecen una línea base de las reservas de COS y proporcionan un referente para evaluar cambios posteriores asociados con los diferentes manejos del suelo y, particularmente, con la aplicación de enmiendas orgánicas de estiércol bovino como estrategia potencial para incrementar el almacenamiento de carbono y contribuir a la mitigación del cambio climático.

Referencias

Lefèvre C, Rekik F, Alcantara, V, & Wiese, L (2017). Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto. FAO. https://www.fao.org/3/i6937es/I6937ES.pdf

Li, W., Niu, Z., Shang, R., Qin, Y., Wang, L & Chen, H. (2020). High-resolution mapping of forest canopy height using machine learning by coupling ICESat-2 LiDAR with Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat-8 data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 92, 102163. https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102163

Matisic, M., Dugan, I., & Bogunovic, I. (2024). Challenges in Sustainable Agriculture - The Role of Organic Amendments. Agriculture, 14(4), 643. https://doi.org/10.3390/agriculture14040643

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, FAO (2020). A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes - GSOC-MRV Protocol. FAO (Rome). 140p. 10.4060/cb0509en.

Ren, F., Zhang, R., Sun, N., Li, Y., Xu, M., Zhang, F., & Xu, W. (2024). Patterns and driving factors of soil organic carbon sequestration efficiency under various manure regimes across Chinese croplands. Agriculture, Ecosystems & Environment, 359, 108723.

EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD POTENCIAL DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO MEDIANTE FRACCIONAMIENTO POR TAMAÑO Y OXIDABILIDAD EN PASTIZALES DE CHIHUAHUA, MÉXICO

Alan Javier Tinoco Delgadillo[1], Eva Aurora Bautista Calderón[2*], Cristo Omar Puente Valenzuela[2]

[1]Facultad de Agricultura y Zootecnia, División de Estudios de Posgrado, Universidad Juárez del Estado de Durango, Ejido Venecia, Durango, C.P. 35111, México. [2]Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, km 6.5 margen derecha del Canal Sacramento, Gómez Palacio, Durango, C.P. 35140, México.
*Autora de correspondencia: bautista.eva@inifap.gob.mx

Introducción

El carbono orgánico del suelo (COS) participa en la fertilidad y en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres. Su conservación se relaciona con el mantenimiento de la materia orgánica y con procesos que regulan el intercambio de carbono entre el suelo y la atmósfera. Por ello, estudiar su distribución permite vincular la conservación del suelo con las estrategias de manejo frente al cambio climático (Burbano-Orjuela, 2018). En pastizales ubicados en predios ganaderos, esta evaluación resulta pertinente para reconocer las condiciones del recurso edáfico que sostiene la producción de forraje.

A escala mundial, los pastizales, considerados en sentido amplio como tierras de pastoreo, abarcan cerca de 52.5 millones de km², equivalentes al 40.5 % de la superficie terrestre, sin considerar Groenlandia y la Antártida (Suttie et al., 2005). En México, los pastizales y matorrales de las zonas áridas y semiáridas del centro y norte ocupan alrededor del 25 % de la superficie nacional. Por su amplia extensión y su capacidad para almacenar carbono, principalmente en el suelo, estos ecosistemas desempeñan un papel relevante en el secuestro de carbono y en la mitigación del cambio climático (Jurado-Guerra et al., 2021).

La cantidad de carbono presente en el suelo y los mecanismos que favorecen su permanencia son aspectos complementarios. La materia orgánica puede estabilizarse por su oclusión dentro de agregados o por interacciones fisicoquímicas con la matriz mineral. La separación por tamaño distingue macroagregados, microagregados y partículas de limo + arcilla (<53 µm), mientras que la separación por densidad permite diferenciar la materia orgánica particulada de la asociada a minerales (Wang et al., 2025). Otra aproximación operacional utiliza concentraciones crecientes de ácido sulfúrico en una modificación de Walkley–Black para diferenciar el carbono según su oxidabilidad (Chan et al., 2001). En pastizales semiáridos, Carrascosa et al. (2025) encontraron respuestas de estas fracciones al manejo ganadero y a las condiciones ambientales. Estos antecedentes justifican estudiar la distribución del carbono entre fracciones, además de su concentración en el suelo completo, para interpretar su estabilidad potencial.

En este trabajo, la estabilidad potencial se interpreta operacionalmente a partir de la distribución del carbono entre el suelo tamizado a 2 mm y la fracción fina <53 µm. La resistencia a la oxidación durante el análisis, la asociación con partículas minerales y la persistencia del carbono en campo representan propiedades diferentes. Por ello, los resultados del fraccionamiento por tamaño permiten examinar la concentración de carbono en partículas finas, pero no demostrar directamente su permanencia a largo plazo en el suelo.

El estudio se centra en pastizales de predios ganaderos ubicados en los municipios de Chihuahua, Aldama y Casas Grandes, Chihuahua. Su objetivo es evaluar el carbono orgánico de estos suelos y caracterizar su estabilidad potencial mediante el fraccionamiento físico por tamaño y dos condiciones de oxidación química, 6 N y 24 N.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en ocho ranchos de zonas áridas y semiáridas de Chihuahua. Se realizó un muestreo aleatorio estratificado dentro de áreas de pastizal previamente delimitadas. El diseño comprendió 198 muestras distribuidas entre cinco ranchos del municipio de Chihuahua, uno de Aldama y dos de Casas Grandes (Cuadro 1).

Durante la primavera de 2025 se recolectaron 198 muestras de suelo a una profundidad de 0–5 cm. En cada punto se obtuvo aproximadamente 1 kg de suelo con pala de corte. Las muestras se colocaron en bolsas herméticas identificadas con la fecha y el nombre del rancho, y se trasladaron al laboratorio.

Cuadro 1. Distribución de las muestras recolectadas y analizadas por rancho.

Rancho	Identificador	Municipio	Recolectadas (n)	Analizadas (n)
Diamante	R1	Chihuahua	27	27
El Faro	R2	Chihuahua	27	27
Ojo Laguna	R3	Chihuahua	27	26
La Campana	R4	Chihuahua	27	26
El 15	R6	Chihuahua	27	27
Morreon	R5	Aldama	27	25
Santa Rosa	R7	Casas Grandes	27	27
Tres Hermanos	R8	Casas Grandes	9	9
Total			**198**	**194**

Nota. Se excluyeron completamente del análisis las muestras 68 de Ojo Laguna, 92 de La Campana y 143 y 156 de Morreon, debido a que no llegaron al laboratorio y, por tanto, no fueron procesadas.

Los análisis de las muestras de 0–5 cm se realizaron en el Laboratorio de Química Ambiental de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, en Gómez Palacio, Durango. Las muestras se secaron a temperatura ambiente durante 24 h y se molieron. El fraccionamiento físico se efectuó en seco. Primero, el suelo se tamizó a 2 mm. Del material que atravesó este tamiz se obtuvieron una alícuota de 0.1 g, identificada como serie S, y dos alícuotas de 0.2 g: la serie N, analizada bajo la condición de 6 N, y la serie M, bajo 24 N. Además, se pesó una submuestra inicial de 10.0 g del suelo <2 mm; cuando esta cantidad no produjo suficiente material fino, se incrementó a 20.0 g. Las submuestras se tamizaron en seco a 53 µm y se registraron las masas de las fracciones retenida y pasante. De la fracción fina de tamaño limo + arcilla (<53 µm) se pesó una alícuota de 0.1 g, identificada como serie ST. Los protocolos clásicos para aislar materia orgánica particulada y asociada a minerales incluyen la dispersión de los agregados antes del tamizado (Cambardella & Elliott, 1992); por ello, la separación en seco aplicada se consideró una fracción operacional por tamaño y no una separación inequívoca de MOAM.

El carbono oxidable de las alícuotas se determinó mediante una modificación del método de Walkley–Black con lectura espectrofotométrica, tomando como referencia la adaptación y optimización por colorimetría descrita por Carrillo Castañeda et al. (2022). Se emplearon 1.5 mL de dicromato de potasio 1 N y 3 mL de ácido sulfúrico concentrado. Las series N y M correspondieron a las condiciones de oxidación de 6 N y 24 N, respectivamente, que representan una intensidad de oxidación menor y mayor (Chan et al., 2001; Yadav et al., 2020).

Los tubos se mantuvieron en baño María a 90 °C durante 3 h, con agitación suave cada 30 min. Posteriormente se agregaron 5 mL de agua destilada, se homogeneizó la mezcla y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Las muestras se centrifugaron a 3500 rpm durante 5 min y se leyó la absorbancia del sobrenadante contra un blanco de reactivos a 620 nm en un espectrofotómetro GÉNESIS.

La absorbancia se convirtió a miligramos de carbono mediante la ecuación publicada Absorbancia = 0.1957 × mg C + 0.009891 (r = 0.9993), despejada como mg C = (Absorbancia − 0.009891)/0.1957 (Carrillo Castañeda et al., 2022). Posteriormente, el resultado se normalizó con el peso real de cada alícuota mediante % C = mg C/(masa analizada en g × 10); para una masa exacta de 0.2 g, esta operación equivale a multiplicar los miligramos de carbono por 0.5. El blanco y los materiales de referencia Calcáreo, Limoso y Arcilla se registraron como controles analíticos. Para el análisis estadístico se conservaron las lecturas sin marca de repetición y cuyos resultados de 6 N y 24 N quedaron dentro del intervalo lineal publicado de 0.30 a 2.50 mg C.

La concentración de carbono de la fracción <53 µm se utilizó como indicador operacional del carbono asociado con las partículas finas y de su estabilidad potencial, sin equipararla con una medición directa de persistencia a largo plazo. Las lecturas obtenidas con masas de 0.2 y 0.1 g se convirtieron por separado y se normalizaron con la masa real analizada; no se restaron directamente las absorbancias. Debido a que no se incluyeron las condiciones intermedias de 12 N y 18 N ni una determinación independiente de carbono orgánico total por combustión seca, los datos no permiten obtener las cuatro fracciones clásicas de oxidabilidad ni denominar directamente una fracción como recalcitrante. La proporción másica fina se calculó como m<53/m0, donde m0 fue 10.0 g, excepto en las muestras 129, 133 y 135, procesadas con 20.0 g. Su contribución estimada al carbono del suelo <2 mm se obtuvo como [(C<53 × m<53/m0)/Ctotal] × 100. Las muestras 68, 92, 143 y 156 se excluyeron completamente porque no llegaron al laboratorio y no pudieron procesarse; por ello, el conjunto analítico quedó integrado por 194 muestras de campo.

El análisis estadístico preliminar se realizó con los pares sin marcas de repetición y dentro del intervalo lineal publicado: 143 para la comparación entre 6 N y 24 N y 159 para la comparación entre el suelo <2 mm (S) y la fracción <53 µm (ST). Las condiciones se compararon mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras pareadas. Las concentraciones y sus diferencias se compararon entre ranchos mediante la prueba de Kruskal–Wallis. Se empleó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Las muestras pendientes de repetición y las lecturas fuera del intervalo se mantuvieron como resultados provisionales y no se incluyeron en estas pruebas.

Resultados y discusión

En los 159 pares utilizables del fraccionamiento por tamaño, la mediana de carbono fue 0.720 % en el suelo <2 mm y 1.068 % en la fracción <53 µm. La diferencia mediana C-ST − C-S fue 0.333 puntos porcentuales y la razón mediana C-ST/C-S fue 1.452. La fracción fina presentó una concentración mayor en 132 pares (83.0 %; Wilcoxon: $V = 11517$; $p < 0.001$). La recuperación de masa fue consistente, con mediana de 98.0 % y valores entre 96.0 y 102.0 %. La fracción <53 µm representó una mediana de 11.0 % de la masa inicial y su contribución estimada fue 16.0 % del carbono del suelo <2 mm, con un intervalo observado de 1.4 a 30.4 %. La contribución difirió entre ranchos ($H = 64.37$; $gl = 7$; $p < 0.001$) y se relacionó positivamente con la proporción fina (Spearman: $\rho = 0.529$; $p < 0.001$). Estos resultados indican enriquecimiento de carbono en las partículas finas, aunque no constituyen una medición directa de persistencia.

De las 194 muestras incluidas, 143 formaron pares utilizables en ambas condiciones de oxidación. En este subconjunto, la mediana de C6N fue 0.251 % y la de C24N 0.415 %; la diferencia mediana C24N − C6N fue 0.162 puntos porcentuales, equivalente a un aumento relativo mediano de 65.5 % respecto a C6N. C24N superó a C6N en 140 muestras (97.9 %), mientras que en tres ocurrió lo contrario. La comparación pareada mostró una diferencia entre condiciones (Wilcoxon: $V = 10137$; $p < 0.001$), con una concentración mayor bajo 24 N. El predominio de diferencias positivas indica que la condición de mayor intensidad oxidante recuperó una cantidad adicional de carbono oxidable en la mayoría de los suelos analizados.

Las concentraciones mostraron variación entre ranchos (Cuadro 2). La prueba de Kruskal–Wallis detectó diferencias globales entre ranchos para C6N ($H = 55.74$; $gl = 7$; $p < 0.001$), C24N ($H = 46.79$; $gl = 7$; $p < 0.001$) y C24N − C6N ($H = 31.05$; $gl = 7$; $p < 0.001$). El 15 presentó las mayores medianas descriptivas de C6N y C24N, con 0.502 y 0.793 %, respectivamente, así como la mayor diferencia mediana entre condiciones, de 0.328 puntos porcentuales. Se requieren comparaciones múltiples para establecer cuáles ranchos difieren entre sí.

Cuadro 2. Medianas del carbono oxidable operacional y concordancia entre 6 N y 24 N por rancho.

Rancho	n válido	C6N (%)	C24N (%)	C24N − C6N (%)	C24N > C6N (%)
Diamante	10	0.202	0.317	0.123	90.0
El Faro	21	0.202	0.316	0.114	95.2
Ojo Laguna	14	0.211	0.391	0.140	100.0
La Campana	25	0.441	0.617	0.148	100.0
El 15	24	0.502	0.793	0.328	100.0
Morreon	16	0.211	0.351	0.163	93.8
Santa Rosa	26	0.227	0.388	0.164	100.0
Tres Hermanos	7	0.207	0.347	0.156	100.0

Las otras 51 muestras incluidas no formaron pares utilizables: 22 presentaron al menos una lectura marcada para repetición, 25 quedaron fuera del intervalo publicado en 6 N y cuatro quedaron fuera en 24 N. Los resultados sustentan diferencias globales entre ranchos, pero aún no permiten identificar cuáles pares difieren ni denominar la diferencia C24N − C6N como carbono recalcitrante. Tampoco corresponde expresar existencias en Mg C ha^{-1} sin densidad aparente, espesor y corrección por fragmentos gruesos.

Conclusiones

Los resultados preliminares muestran variación espacial en la concentración del carbono de los suelos superficiales estudiados. La fracción <53 µm presentó mayor concentración que el suelo <2 mm en 83.0 % de los pares utilizables y representó una mediana de 11.0 % de la masa, con una contribución estimada de 16.0 % del carbono del suelo fino. La condición de 24 N produjo concentraciones mayores que 6 N en 97.9 % de los pares, con una diferencia mediana de 0.162 puntos porcentuales; El 15 presentó las mayores medianas descriptivas y el mayor incremento entre condiciones. Estos indicadores representan fracciones operacionales y no demuestran por sí solos recalcitrancia o persistencia a largo plazo. Se requiere completar las repeticiones para consolidar la estimación del conjunto total.

Referencias

Burbano-Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas, 35*(1), 82–96. https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85

Cambardella, C. A., & Elliott, E. T. (1992). Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal, 56*(3), 777–783. https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x

Carrascosa, A., Moreno, G., Cotrufo, M. F., Frade, C., Rodrigo, S., & Rolo, V. (2025). Improved management increases soil mineral-protected organic carbon storage via plant-microbial-nutrient mediation in semi-arid grasslands. *SOIL, 11*, 911–937. https://doi.org/10.5194/soil-11-911-2025

Carrillo Castañeda, J. B., Puente Valenzuela, C. O., Tovalin Villarreal, M. F., & Domínguez Coronado, K. L. (2022). Adaptación y optimización de la técnica de Walkley-Black para la cuantificación de carbono orgánico en suelo por colorimetría. En *XII Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Memoria* (pp. 286–288). INIFAP. https://reunionescientificas2022.inifap.gob.mx/_media/CONVOCATORIAS/MEMORIA_AGRICOLA_2022.pdf

Chan, K. Y., Bowman, A., & Oates, A. (2001). Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an Oxic Paleustalf under different pasture leys. *Soil Science, 166*(1), 61–67. https://doi.org/10.1097/00010694-200101000-00009

Jurado-Guerra, P., Velázquez-Martínez, M., Sánchez-Gutiérrez, R. A., Álvarez-Holguín, A., Domínguez-Martínez, P. A., Gutiérrez-Luna, R., Garza-Cedillo, R. D., Luna-Luna, M., & Chávez-Ruiz, M. G. (2021). Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 12*(Supl. 3), 261–285. https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5875

Suttie, J. M., Reynolds, S. G., & Batello, C. (Eds.). (2005). *Grasslands of the world*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/4/y8344e/y8344e00.htm

Wang, Y., Gunina, A., Yang, D., Sun, T., & Kuzyakov, Y. (2025). Carbon pathways in soil: Unraveled by 13C natural abundance. *Soil Biology and Biochemistry, 209*, 109872. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2025.109872

Yadav, G. S., Das, A., Kandpal, B., Nath, M., Singh, V., & Das, R. C. (2020). Long-term impacts of planted fodder grasses on soil organic carbon pool and fractions in an acid soil of the north eastern Himalayas. *Indian Journal of Hill Farming, Special Issue 2020*, 10–17. https://kiran.nic.in/pdf/IJHF/Special_Issue_2020/2.pdf

CARACTERIZACIÓN NUTRACÉUTICA DE SUBPRODUCTOS DE DIFERENTES GENOTIPOS DE CALABAZA (*Cucurbita pepo*)

María del Rosario Benítez Pinedo[1], Mayra Denise Herrera[1*], Valentín Melero Meraz[1], Néstor Manuel Ortiz Rodríguez[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Ctra. Zacatecas-Fresnillo, km. 24.5, Calera de V.R., Zacatecas, México. C.P. 98500. *Autor de [*]Correspondencia: mayradherrera@gmail.com

Introducción

La calabaza (*Cucurbita pepo*) es un cultivo de gran relevancia agrícola, cultural y económica en México, particularmente en el estado de Zacatecas (Melero-Meraz et al., 2026), donde la calabaza ha emergido como un cultivo de reemplazo crucial en áreas afectadas por sequía, posicionando a la entidad como uno de los principales productores de semilla en México, con una superficie cosechada que ha alcanzado picos de 19,000 hectáreas. Sin embargo, tras la extracción de la semilla, se genera una cantidad masiva de residuos compuestos por cáscara y pulpa. A pesar de su alto contenido en bioactivos (Sousa et al., 2025; Hirpha et al., 2024), estos subproductos suelen permanecer en el campo o eliminarse, implicando una severa pérdida de biomasa con valor económico y funcional. El aprovechamiento de estos subproductos emerge como una estrategia sostenible para desarrollar alimentos funcionales y reducir el impacto ambiental negativo (Virgen-Carrillo & Mojica, 2024). En ese contexto, el objetivo de este estudio fue obtener la caracterización nutracéutica de subproductos de calabaza (*Cucurbita pepo*), específicamente pulpa y cáscara provenientes de diversos genotipos criollos de la región de Río Grande, Zacatecas con el fin de promover su revalorización como ingredientes funcionales.

Materiales y métodos

Obtención y procesamiento de muestras. Se seleccionaron frutos de calabaza provenientes de colectas regionales en el municipio de Río Grande, Zacatecas. Se recolectó un lote de 60 frutos del ciclo 2025 y se clasificaron rigurosamente en ocho grupos con base en características morfológicas visuales como forma, color, tamaño y presencia de surcos, manteniendo criterios de homogeneidad fenotípica. Posteriormente, los subproductos recolectados se sometieron a un proceso de deshidratación utilizando un sistema de secado de invernadero. Finalmente, el material biológico se trituró en un molino doméstico hasta obtener un polvo fino, el cual fue almacenado en bolsas herméticamente selladas en un lugar fresco y oscuro previo a su caracterización nutracéutica.

Cuantificación de carbohidratos no digeribles. La cuantificación de fibra dietaria (total, soluble e insoluble) se determinó mediante un procedimiento enzimático-gravimétrico basado en Prosky et al. (1998) empleando α-amilasa termoestable, proteasa y amiloglucosidasa. El almidón resistente se cuantificó a partir de la fracción insoluble siguiendo Saura-Calixto et al. (1993), con cuantificación de glucosa mediante las instrucciones descritas en el inserto de un kit GOD-PAP (BioSystems, España). Los resultados se reportaron como g/100g.

Cuantificación de polifenoles. Se prepararon extractos acetónicos acidificados según la descripción de Xu y Chan (2007) para la determinación de fenoles totales (método Folin-Ciocalteu, a 765 nm), flavonoides (ensayo de quelación con $AlCl_3$ en medio básico, a 510 nm) y taninos condensados (ensayo de vainillina-HCl, a 492 nm).

Los resultados se reportaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (mg EAG/g) según (Singleton et al., 1999) par fenoles totales, y miligramos equivalentes de catequina por gramo de muestra (mg ECA/g) para flavonoides (Liu et al., 2002) y taninos condensados (Desphande et al., 1985). Adicionalmente, las antocianinas se extrajeron con etanol acidificado y se determinaron midiendo la absorbancia a 535 nm, expresando los resultados como equivalentes de cianidina 3-glucósido por gramo de muestra (mg EC3G/g) según (Abdel-Aal et al., 1999).

Análisis estadístico. Se empleó un diseño factorial analizado mediante ANOVA, considerando diferencias significativas con un valor de probabilidad $P < 0.05$ utilizando la prueba de Tukey con el paquete estadístico JMP (v 5.0.1).

Resultados y discusiones

Para carbohidratos no digeribles, se observó una variabilidad altamente significativa. Para la fibra dietaria total (Figura 14A), las concentraciones oscilaron entre 27 y 58 g/100 g. Los genotipos G5 y G7 destacaron por presentar los valores máximos, sin diferencias significativas entre ellos, contrastando fuertemente con los genotipos G4, G6 y G8 que mostraron las concentraciones más bajas. Un comportamiento similar se observó en la fracción de fibra dietaria insoluble (Figura 14B), donde nuevamente G5 y G7 fueron los genotipos más sobresalientes, proveyendo un material altamente resistente útil para aplicaciones enfocadas en el tránsito intestinal (McRorie & McKeown, 2017). Desde la perspectiva metabólica, la fibra dietaria soluble (Figura 14C) es de particular interés por sus propiedades hipocolesterolémicas y su capacidad para atenuar la respuesta glucémica (Gunness & Gidley, 2010; Giuntini et al., 2022). En este rubro, el genotipo G7 se posicionó como el de mayor aporte, seguido de cerca por G5, siendo G8 el de menor concentración de esta fracción de la fibra dietaria. Esta variabilidad es consistente con reportes previos, donde señalaron que la concentración de carbohidratos no digeribles, particularmente la fibra dietaria y el almidón resistente, puede estar ampliamente influenciada por la pigmentación de los frutos (Herrera et al., 2024). Adicionalmente, se ha demostrado que las condiciones de procesamiento también pueden modificar la concentración de estos componentes; en particular, la deshidratación solar directa bajo condiciones tipo invernadero ha mostrado efectos sobre el contenido de carbohidratos no digeribles en productos vegetales, como el tomate (Herrera et al., 2023).

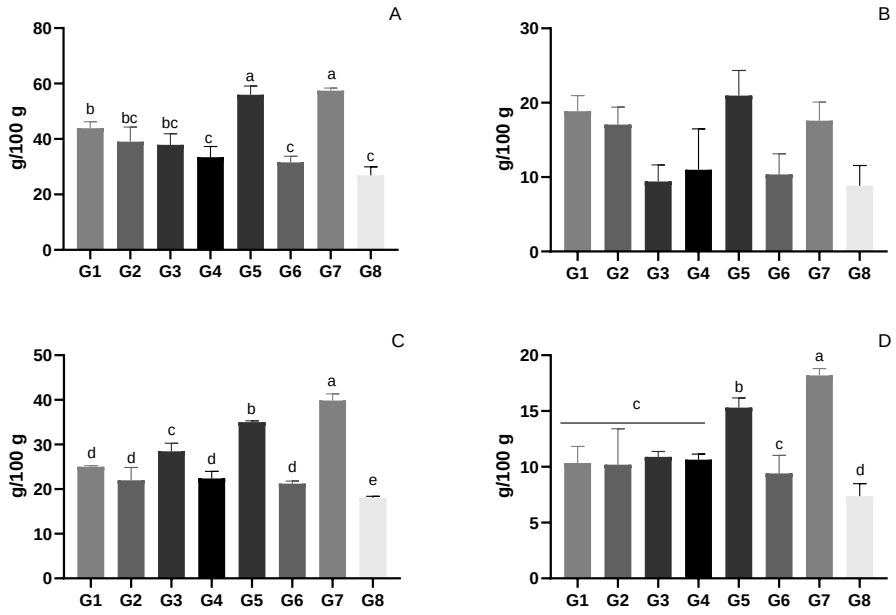


Figura 14. Carbohidratos no digeribles en subproductos de diferentes genotipos de calabaza. Los resultados se muestran como la media ± DE. Letras diferentes entre barras indican diferencia significativa ($p<0.05$) con la prueba de Tukey. A, fibra dietaria total; B, fibra dietaria insoluble; C, fibra dietaria soluble; D, almidón resistente.

Finalmente, en cuanto a la cuantificación de almidón resistente, se demostró que el G7 posee la concentración máxima (Figura 1D), consolidando a este genotipo como un material de calidad nutracéutica superior para el desarrollo de ingredientes funcionales. Esto es importante ya el almidón resistente es una fracción de vital de la fibra insoluble importancia prebiótica ya que escapa a la digestión enzimática y sirve de sustrato fermentable para la microbiota colónica (generando ácidos grasos de cadena corta) (Birt et al., 2013).

La cuantificación de polifenoles reveló una marcada influencia de la diversidad fenotípica y genotípica. Los fenoles totales (Figura 15A) alcanzaron su pico de concentración en el genotipo G3 (el cual presenta un distintivo patrón bicolor), seguido por el G8. Por el contrario, los materiales de mayor tamaño y biomasa (G6) y el G1 registraron los valores más deprimidos, sugiriendo una posible dilución de los metabolitos secundaria en frutos de mayor peso o diferente tasa de maduración.

Los flavonoides totales (Figura 15B) mostraron un patrón distinto; el genotipo G4 acumuló la mayor concentración de manera significativa. En cuanto a los taninos condensados (Figura 15C), moléculas de alto peso molecular con fuerte actividad antioxidante y astringente, el genotipo G5 destacó abruptamente frente al resto, mostrando una síntesis vigorosa de estas estructuras poliméricas. Finalmente, las antocianinas totales (Figura 15D) fueron dominantes en el genotipo G3, lo cual se alinea coherentemente con su pigmentación distintiva observada en campo.

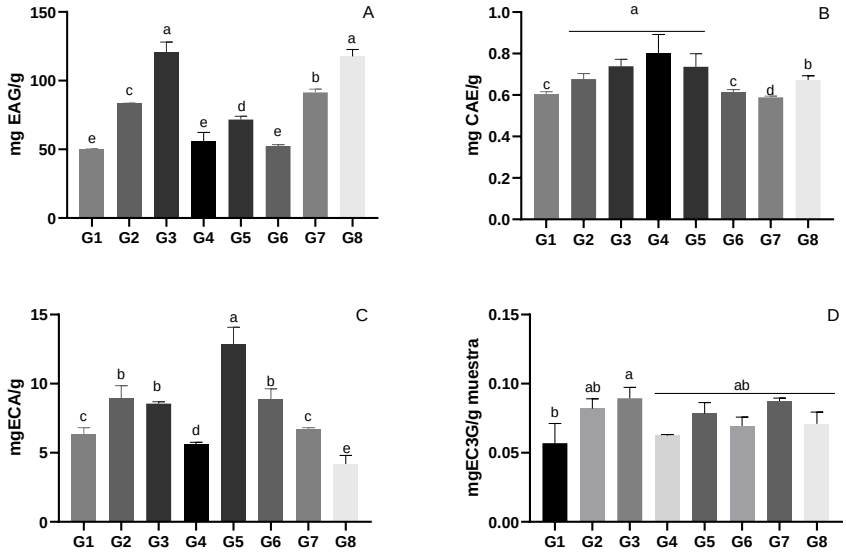


Figura 15. Caracterización de polifenoles de diferentes genotipos de calabaza. A, fenoles totales; B, flavonoides; C, taninos condensados; D, antocianinas totales. Los resultados se muestran como la media ± DE. Letras diferentes entre barras indican diferencia significativa ($p<0.05$) con la prueba de Tukey.

Conclusiones

Los subproductos generados del cultivo de *Cucurbita pepo* en Zacatecas representan una matriz agroindustrial subutilizada con un enorme potencial biotecnológico y nutricional. La presente investigación demuestra que existe una extensa y significativa variabilidad en el perfil de carbohidratos no digeribles y metabolitos secundarios, la cual es fuertemente dependiente del genotipo empleado. La identificación de estos compuestos, como el genotipo G7 (sobresaliente por sus excepcionales niveles de fibra soluble y almidón resistente) y los genotipos G3 y G5 (destacados por su elevada carga antioxidante de antocianinas y taninos, respectivamente), proporciona directrices claras para los programas de manejo agronómico y mejoramiento genético participativo en la región.

Referencias

Abdel-Aal, E-SM., Hucl, P. 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheat. *Cereal Chemistry*, *76*, 350-354.

Birt, D. F., Boylston, T., Hendrich, S., Jane, J.-L., Hollis, J., Li, L., McClelland, J., Moore, S., Phillips, G. J., Rowling, M., Schalinske, K., Scott, M. P., & Whitley, E. M. (2013). Resistant starch: Promise for improving human health. *Advances in Nutrition*, *4*(6), 587–601.

Giuntini, E. B., Sardá, F. A. H., & de Menezes, E. W. (2022). The effects of soluble dietary fibers on glycemic response: An overview and futures perspectives. *Foods, 11*(23), 3934.

Gunness, P., & Gidley, M. J. (2010). Mechanisms underlying the cholesterol-lowering properties of soluble dietary fibre polysaccharides. *Food & Function, 1*(2), 149–155.

Herrera, M. et al. (2023). Solar drying modes of saladette tomato slices on phytochemicals and functional properties. *Solar Energy*, 262, 111903.

Herrera, M., Zegbe, J., & Reveles-Torres, L. (2024). Phytochemicals and functional properties of pitaya juice powders. *Plants*, *13*(21), 3040

Hirpha, et al. (2024). Revalorización de subproductos agrícolas como fuentes de fitoquímicos funcionales.

Liu M, Qi Li X, Weber C, Yong LC, Brown J, Hai LR. 2002. Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*, 5 p.

McRorie, J. W., Jr., & McKeown, N. M. (2017). Understanding the physics of functional fibers in the gastrointestinal tract: An evidence-based approach to resolving enduring misconceptions about insoluble and soluble fiber. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 117*(2), 251–264.

Melero-Meraz, V., Jacobo-Padilla, Gonzalez, Herrera, & Ortiz-Rodríguez, N.M. (2026). Domesticación, diversidad morfológica y productiva de Cucurbita pepo en Zacatecas.

Prosky, L., Lee, S.C., Prosky, & Vries. (1998). Determinación de fibra dietética total, soluble e insoluble mediante ensayo enzimático-gravimétrico.

Saura-Calixto, F., Goñi, I., Bravo, L., & Mañas, E. (1993). Resistant starch in foods: Modified method for dietary fiber residues.

Singleton, V.L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R.M. (1999). Análisis de fenoles totales mediante Folin-Ciocalteu.

Sousa, Moutinho, Carvalho, Matos, & Vinha. (2025). Aprovechamiento de bioactivos de semillas y subproductos de Cucurbitáceas.

Virgen-Carrillo & Mojica. (2024). Introducción y marco regulatorio de los alimentos funcionales (FOSHU).

Xu B.J., Chang, S.K.C. 2007. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *Journal of Food Science*, *2*, 7 p.

EVALUACIÓN NUTRACÉUTICA DE MUFFINS ELABORADOS CON SUBPRODUCTOS DE CALABAZA (*Cucurbita pepo*) COMO ESTRATEGIA DE REVALORIZACIÓN

María del Rosario Benítez Pinedo[1], Mayra Denise Herrera[1*], Valentín Melero Meraz[1], Martha Fabiola Martin del Campo Solís[2], Carlos Martín Enríquez Castro[3], Néstor Manuel Ortiz Rodríguez[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Carr. Zacatecas-Fresnillo, km. 24.5, Calera de V.R., Zacatecas, México. C.P. 98500. [2]Universidad de Guadalajara. Centro Universitario del Norte. Carretera Federal No. 23 Km 191. Colotlán, Jalisco, México. C.P. 46200. [3]Tecnologíco Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Norte. Carretera a González Ortega Km. 3. Río Grande, Zacatecas, México. C.P. 98400
*Autor de Correspondencia: mayradherrera@gmail.com

Introducción

La industria alimentaria actual enfrenta desafíos significativos relacionados con los hábitos de consumo y las crecientes tasas de enfermedades no transmisibles. En respuesta a estas problemáticas de salud pública, la demanda de alimentos funcionales ha experimentado un crecimiento acelerado a nivel global. Los consumidores buscan productos cotidianos de fácil acceso que contribuyan a mejorar el tránsito intestinal, modular la glucemia postprandial y aportar compuestos antioxidantes que combatan el estrés oxidativo celular (Maqbool, et al., 2022). Por otra parte, el sector de panificación representa una de las categorías de mayor volumen de producción y consumo en el mundo. Sin embargo, los productos de panadería tradicionales elaborados predominantemente con harina de trigo refinada suelen caracterizarse por un alto índice glucémico y un bajo contenido de fibra dietética y compuestos bioactivos. Durante el procesamiento agrícola de la calabaza (*Cucurbita pepo*) en regiones como Zacatecas, México, la extracción de semillas para su comercialización genera toneladas de subproductos formados principalmente por cáscara y pulpa residual (Melero-Meraz, et al. 2026). Estos subproductos representan un grave problema de disposición si son descartados en el medio ambiente, pero contienen un enorme potencial biotecnológico por su abundancia en fibra dietaria (tanto soluble como insoluble), almidón resistente, y polifenoles (Kipping et al., 2018) (Sousa et al., 2025). La revalorización de estos residuos mediante su incorporación en matrices alimentarias no solo atiende los principios de la economía circular y la sostenibilidad alimentaria, sino que también crea valor agregado para el sector agrícola y la industria panadera. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad nutracéutica de productos de panadería tipo muffin formulados con la inclusión parcial de subproductos de calabaza (*Cucurbita pepo*) provenientes de dos genotipos seleccionados (G6, caracterizado por su elevada biomasa, y G7, destacado por su perfil nutracéutico funcional), analizando el impacto de la proporción de sustitución de harina de trigo y las transformaciones de las fracciones de fibra dietética, almidón resistente y compuestos fenólicos tras el horneado.

Materiales y métodos

Selección de genotipos. Con base en estudios previos de caracterización de frutos de la región de Río Grande, Zacatecas, se seleccionaron dos genotipos representativos: Genotipo 6 (G6, fruto oblongo de gran tamaño, sobresaliente por su rendimiento de biomasa) y Genotipo 7 (G7, fruto globoso de menor tamaño, destacado por sus elevados contenidos de fibra soluble y almidón resistente).

Formulación de los muffins*.* Se establecieron dos formulaciones principales de sustitución parcial de harina refinada de trigo por subproducto de calabaza: Muffin 2 (50% subproducto de calabaza: 50% harina de trigo) y Muffin 3 (25% subproducto de calabaza: 75% harina de trigo). De esta manera se generaron cuatro tratamientos experimentales principales (Cuadro 1). El resto de ingredientes se utilizaron en proporción similar: huevo, sal, hoja de stevia, gel hidrocoloide, polvo para hornear.

Cuadro 3. Tratamientos elaborados con los subproductos de calabaza en base a genotipos representativos.

Tratamiento	Genotipo incorporado	Proporción de mezcla
M2G6	G6	50% Calabaza : 50% Harina de trigo
M3G6	G6	25% Calabaza : 75% Harina de trigo
M2G7	G7	50% Calabaza : 50% Harina de trigo
M3G7	G7	25% Calabaza : 75% Harina de trigo

Cuantificación de carbohidratos no digeribles. La cuantificación de fibra dietaria (total, soluble e insoluble) se determinó mediante un procedimiento enzimático-gravimétrico basado en Prosky et al. (1998) empleando α-amilasa termoestable, proteasa y amiloglucosidasa. El almidón resistente se cuantificó a partir de la fracción insoluble siguiendo Saura-Calixto et al. (1993), con cuantificación de glucosa mediante el método GOD-PAP. Los resultados se reportaron como g/100g.

Cuantificación de polifenoles. Se prepararon extractos acetónicos acidificados según la descripción de Xu y Chan (2007) para la determinación de fenoles totales (método Folin-Ciocalteu, a 765 nm), flavonoides (ensayo de quelación con $AlCl_3$ en medio básico, a 510 nm) y taninos condensados (ensayo de vainillina-HCl, a 492 nm). Los resultados se reportaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (mg EAG/g) según (Singleton et al., 1999) par fenoles totales, y miligramos equivalentes de catequina por gramo de muestra (mg ECA/g) para flavonoides (Liu et al., 2002) y taninos condensados (Desphande et al., 1985). Adicionalmente, las antocianinas se extrajeron con etanol acidificado y se determinaron midiendo la absorbancia a 535 nm, expresando los resultados como equivalentes de cianidina 3-glucósido por gramo de muestra (mg EC3G/g) según (Abdel-Aal et al., 1999).

Análisis estadístico. Se empleó un diseño factorial analizado mediante ANOVA, considerando diferencias significativas con un valor de probabilidad $P < 0.05$ utilizando la prueba de Tukey con el paquete estadístico JMP (v 5.0.1).

Resultados y discusiones

En relación con los carbohidratos no digeribles, la inclusión de subproductos de calabaza modificó sustancialmente el perfil de estos compuestos en los productos de panadería. Se observó que no hay diferencias significativas entre los tratamientos para fibra dietaria total (Figura 14A) y para la fibra insoluble (Figura 14B), aunque en esta última, destacan las formulaciones con 25% de subproductos de calabaza (M3G6 y M3G7). Por el contrario, la fibra dietaria soluble (Figura 14C), mostró una mayor concentración en las muestras M2G6 y M2G7. Esto resulta trascendental desde el punto de vista nutricional, ya que las fibras solubles con capacidad de generar viscosidad pueden aumentar la viscosidad del contenido gastrointestinal, retardar el vaciamiento gástrico y disminuir la velocidad de digestión y absorción de nutrientes, contribuyendo a una menor respuesta glucémica y a la reducción de las concentraciones de colesterol LDL (McRorie & McKeown, 2017; Wang et al., 2022). La calabaza, por tanto, representa un vehículo potencial para incrementar la densidad de fibra en productos horneados que comúnmente presentan un menor contenido de esta fracción.

A diferencia de lo observado en la fibra soluble, las concentraciones de almidón resistente (Figura 14D), presentaron la tendencia opuesta: las formulaciones M3G6 y M3G7 (con 75% de harina de trigo) registraron valores mayores en comparación con las formulaciones al 50% de calabaza. Este fenómeno responde al mecanismo de horneado y enfriamiento. El almidón proveniente del endospermo del trigo, al someterse a gelatinización térmica seguida de retrogradación de la amilosa durante el enfriamiento, genera una proporción más elevada de almidón resistente de tipo 3 (AR3) (Eerlingen & Delcour, 1995; Sajilata et al., 2006). No obstante, las formulaciones M2 aportaron una combinación más balanceada entre fibra dietética solubilizada y almidón disponible, lo que demuestra la versatilidad de estos ingredientes para modular el perfil glucémico global del alimento.

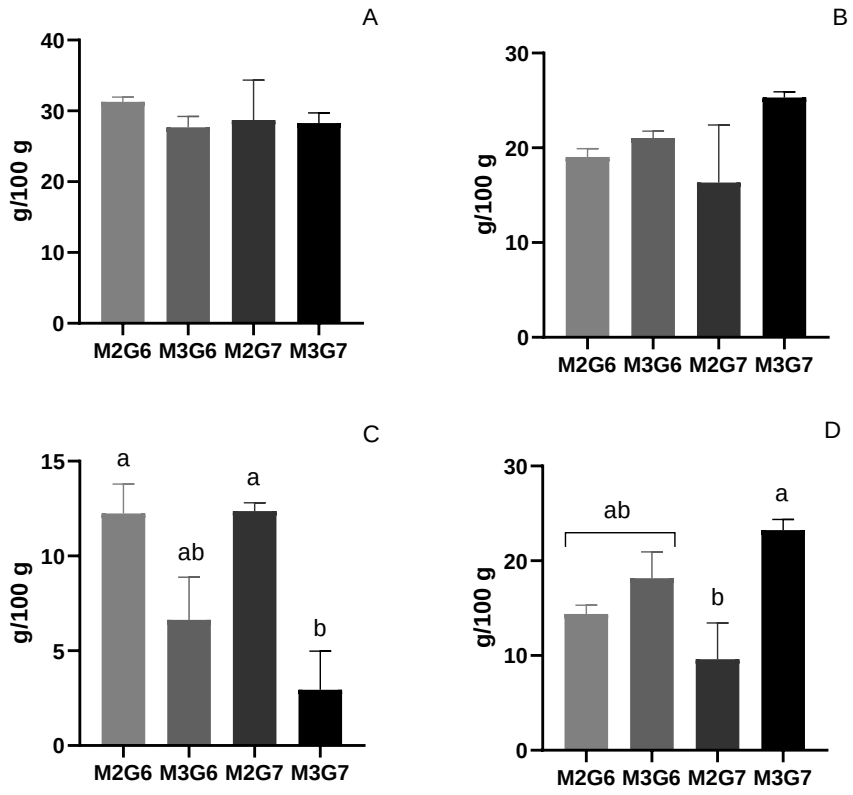


Figura 16. Carbohidratos no digeribles en Muffins de calabaza. Los resultados se muestran como la media ± DE. Letras diferentes entre barras indican diferencia significativa ($p<0.05$) con la prueba de Tukey. A, fibra dietaria total; B, fibra dietaria insoluble; C, fibra dietaria soluble; D, almidón resistente.

La evaluación de los metabolitos secundarios (polifenoles) expuso interacciones complejas entre la composición de la matriz alimentaria, la estabilidad térmica de los fitoquímicos y la variabilidad genética de la materia prima. En este sentido, Abdel-Aal y Rabalski (2022), al evaluar los cambios de compuestos fenólicos durante la elaboración y horneado de pan y muffins, observaron que el tratamiento térmico puede modificar la distribución de los ácidos fenólicos, con disminuciones de algunas formas unidas y un incremento de determinadas formas libres, además de cambios favorables en la actividad antioxidante de los productos.

Estos resultados permiten considerar que el procesamiento térmico no necesariamente implica una pérdida generalizada de los compuestos fenólicos, sino que puede favorecer su liberación o transformación dependiendo de su asociación con la matriz alimentaria.

En el presente estudio, en los fenoles totales (Figura 15A), los muffins con mayor proporción de trigo (M3) mostraron una concentración elevada, lo cual se atribuye al aporte intrínseco de ácidos fenólicos acoplados presentes en el salvado de trigo. Por otro lado, los análisis específicos revelaron ventajas sustanciales ligadas al genotipo utilizado. Los muffins formulados con el Genotipo 6 (M2G6 y M3G6) lograron conservar niveles significativamente mayores de taninos condensados (Figura 15C) y antocianinas totales (Figura 15D) tras el proceso térmico. La estructura macromolecular de la matriz vegetal de G6 parece ejercer un efecto protector o microencapsulante natural, limitando la degradación de las antocianinas y flavonoides fotosensibles durante la cocción. En contrastes, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de flavonoides totales (Figura 15B) entre las distintas formulaciones.

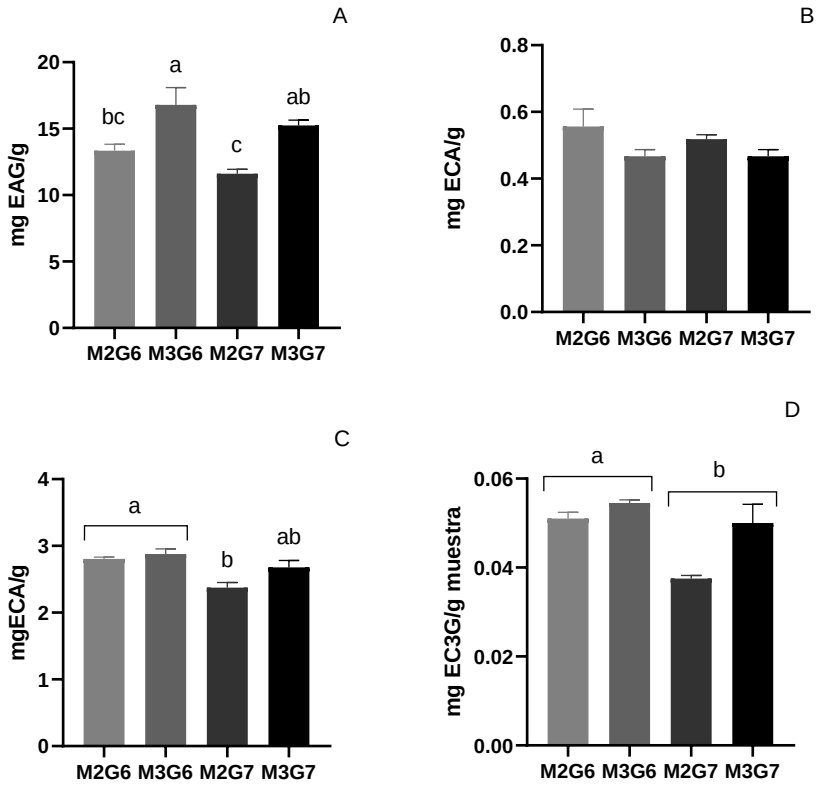


Figura 17. Caracterización de polifenoles de Muffins de calabaza. A, fenoles totales; B, flavonoides; C, taninos condensados; D, antocianinas totales. Los resultados se muestran como la media ± DE. Letras diferentes entre barras indican diferencia significativa ($p<0.05$) con la prueba de Tukey.

Conclusiones

La sustitución parcial de harina de trigo por subproductos de calabaza en la formulación de muffins es una alternativa biotecnológica y gastronómica altamente viable que mejora significativamente la calidad nutracéutica del producto final. Se demostró que la elección del genotipo de calabaza no es trivial: mientras que el Genotipo 7 destaca en estado fresco por su perfil de carbohidratos solubles, el Genotipo 6 demuestra una superioridad notable en la preservación de pigmentos bioactivos como antocianinas y taninos condensados durante la cocción. Las formulaciones al 50% de inclusión ofrecen un perfil de fibra dietética óptimo para consumidores que requieren mejorar la salud digestiva y cardiovascular, mientras que las de 25% favorecen la formación de almidón resistente retrogradado.

Este trabajo sienta las bases para el aprovechamiento integral de la biomasa de *Cucurbita pepo* en Zacatecas, abriendo nuevas líneas de mercado para panaderías funcionales e industrias alimentarias comprometidas con la sostenibilidad y la salud colectiva.

Referencias

Abdel-Aal, E-M., Hucl, P. 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheat. Cereal Chemistry. 76: 350-354.

Abdel-Aal, E. M., & Rabalski, I. (2022). Changes in phenolic acids and antioxidant properties during baking of bread and muffin made from blends of hairless canary seed, wheat, and corn. *Antioxidants, 11*(6), 1059.

Desphande SS, Cheryan M (1985) Evaluation of vanillin assay for tannin analysis of dry beans. J 111 Food Sci 50:905-910.

Eerlingen, R. C., & Delcour, J. A. (1995). Formation, analysis, structure and properties of type III enzyme resistant starch. *Journal of Cereal Science, 22*(2), 129–138.

Kipping, R., Laurel, O., & Orozco, A. (2018). Physical and chemical characteristics of pumpkin seeds for mechanization and processing. Nova Scientia.

Liu M, Qi Li X, Weber C, Yong LC, Brown J, Hai LR. 2002. Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51, 5 p.

Maqbool, Z., Arshad, M., Ali, A., Aziz, A., Khalid, W., Afzal, M., Lorenzo, J. (2022). Papel potencial del extracto fitoquímico del azafrán en el desarrollo de alimentos funcionales y la protección de trastornos relacionados con él. Medicina Oxidativa y longevidad celular, 6480590-6480590.

McRorie, J. W., Jr., & McKeown, N. M. (2017). Understanding the physics of functional fibers in the gastrointestinal tract: An evidence-based approach to resolving enduring misconceptions about insoluble and soluble fiber. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 117(2), 251–264.

Melero-Meraz, V., Jacobo-Padilla, Gonzalez, Herrera, & Ortiz-Rodríguez, N.M. (2026). Domesticación, diversidad morfológica y productiva de Cucurbita pepo en Zacatecas.

Prosky, L., Lee, S.C., Prosky, & Vries. (1998). Determinación de fibra dietética total, soluble e insoluble mediante ensayo enzimático-gravimétrico.

Sajilata, M. G., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2006). Resistant starch—A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 5(1), 1–17.

Saura-Calixto, F., Goñi, I., Bravo, L., & Mañas, E. (1993). Resistant starch in foods: Modified method for dietary fiber residues.

Singleton, V.L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R.M. (1999). Análisis de fenoles totales mediante Folin-Ciocalteu.

Sousa, Moutinho, Carvalho, Matos, & Vinha. (2025). Aprovechamiento de bioactivos de semillas y subproductos de Cucurbitáceas.

Wang, S., et al. (2022). An evolving view on food viscosity regulating gastric emptying. Critical Reviews in Food Science and Nutrition.

Xu B.J., Chang, S.K.C. 2007. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. Journal of Food Science. 2: 7 p.

COMPOSICIÓN MINERAL DE FRIJOLES CON DIFERENTE COLOR DE SEMILLA, CULTIVADOS EN LA REGIÓN NORTE DEL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO

Oscar Martín Antúnez-Ocampo[1], María del Rosario Jacobo-Salcedo[2], Erika Nava-Reyna[2], José Luis Solís-Bonilla[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) -Campo Experimental Iguala. Iguala de la Independencia, Guerrero. México. CP. 40000. [2]INIFAP-CENID RASPA. Gómez Palacio, Durango. México. CP. 35079. [3]INIFAP-Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Tapachula, Chiapas, México. CP. 30870. *Autor de correspondencia: antunez.oscar@inifap.gob.mx

Introducción

En México, el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de cultivos prioritarios para alcanzar la soberanía alimentaria, en virtud de que representa un alimento básico para la población rural y urbana del país. El frijol que se produce y consume en México, proviene en gran parte de genotipos nativos o criollos y en menor proporción de variedades mejoradas (Sangerman-Jarquín et al., 2010). En ambos tipos de materiales, su comercialización y consumo depende de la calidad del grano; la cual es determinada por la variedad, el manejo agronómico, y las condiciones del cultivo y del almacenamiento del grano (Solano-Rodríguez y Gil-Muñoz, 2018). En el caso del valor nutrimental, el principal parámetro es el contenido de proteína del grano (14 a 33 %) (Jacinto-Hernández et al., 2002); pues constituye una de las principales fuentes de esta en la dieta de la población, lo cual es relevante porque en México existe un nivel elevado de desnutrición (energético- proteínica), principalmente en las zonas rurales y urbanas marginales. Además, el grano contiene otros compuestos benéficos para el organismo humano como vitaminas, fibra (Muñoz-Velázquez et al., 2009) y minerales (fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc) (Gomes Basso Los et al., 2018; Corzo-Ríos et al., 2020).

En Guerrero, existe una gran diversidad de frijoles, producto de la amplia diversidad climática y edáfica que hay en la entidad. En este sentido, los genotipos nativos se siembran tradicionalmente para autoconsumo como grano o en vaina tierna (ejote) y en menor grado se comercializan, siendo esta última actividad una significativa fuente de ingresos para él productor y su familia. Las investigaciones que se reportan en frijol son la de Solano-Rodríguez y Gil-Muñoz (2018) en el aprovechamiento tradicional del frijol Chaparro (*P. vulgaris* L.) entre los Na savi del municipio de Copanatoyac, y la de Solano et al. (2009) sobre el contenido de proteína y calidad culinaria de los frijoles de la comunidad de Tlatzala, municipio Tlapa de Comonfort. Por lo descrito anteriormente, se planteó el objetivo de evaluar el contenido mineral de las semillas de poblaciones de frijol común (*P. vulgaris* L) de diferente color, cultivadas en la región Norte del estado de Guerrero. La hipótesis planteada fue que el color de la semilla influye directamente en el contenido mineral del frijol.

Materiales y métodos

Germoplasma: Se utilizaron semillas con edad de un año, de frijoles recolectados directamente con agricultores de la región Norte del estado de Guerrero (Cuadro 1), donde la mayoría de ellos cultivan el frijol en el sistema milpa, ya sea asociando o intercalado con maíz (*Zea mays* L.) y otras especies como calabaza (*Cucurbita* spp.). Cada población de frijol recolectada se resguardo en recipientes de plástico con capacidad de 1 L y se etiquetó con sus respectivos datos (coordenadas geográficas, nombre común y usos). Posteriormente, se conservaron en un cuarto con temperatura promedio de 18.3 °C, ubicado en el Campo Experimental Iguala.

Cuadro 1. Poblaciones de frijol recolectadas en municipios de la región Norte del estado de Guerrero.

Color del grano	Código	Municipio/Localidad	Altitud (msnm)
Negro	AP-2	Cuetzala del Progreso/Apetlanca	1731
	APC-2	Apaxtla de Castrejón/Cabecera municipal	1208
	CU-7	Cuetzala del Progreso/ Cabecera municipal	1116
Rojo	CU-3, CU-12	Cuetzala del Progreso/Cabecera municipal	1122
	IXCO-5	Pedro Ascencio Alquisiras/Ixcapuzalco	1790
Amarillo	GC-1	General Canuto A. Neri/Providencia	1251
	IXC-3	Ixcateopan de Cuauhtémoc/Tenanguillo de las cañas	1584
	CU-9	Cuetzala del Progreso/Chilacachapa	1660
Café	APC-3	Apaxtla de Castrejón/Cabecera municipal	1208
	CU-5	Cuetzala del Progreso/Cabecera municipal	1122
	GC-2	General Canuto A. Neri/Acapetlahuaya	1184
Pinto	APC-1	Apaxtla de Castrejón/Cabecera municipal	1208
	IXCO-1, IXCO-4	Pedro Ascencio Alquisiras/Ixcapuzalco	1790

Tratamientos y diseño experimental. El factor en estudio fue el color de la semilla, para ello se definieron cinco colores de frijol de poblaciones recolectadas (Figura 1), que localmente son conocidos por el color del grano y hábito de crecimiento de la planta. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, con tres repeticiones, donde cada repetición estuvo constituida por 100 g de semilla representativa de cada color por cada población recolectada.

Análisis químico de las semillas. Los análisis de las semillas se realizaron en el laboratorio de suelos del CENID - RASPA del INIFAP, en Gómez Palacio, Durango, México. Para la determinación de los minerales se siguieron los pasos descritos en el Manual de Laboratorio elaborado por Plenecassagne et al. (1997) y Handbook of Reference Methods for Plants Analysis de la CDC (Kalra, 1998) realizando un secado de la muestra a peso constante a 75 °C dentro de una estufa de aire forzado, después su trituración y homogenización a un tamaño de malla menor a 0.5 mm (polvo fino), posterior a esto se empleó una masa de 0.2 g de muestra para ser digestada con una mezcla ácida de nítrico – perclórico a 145 °C por 2 horas, llevando a casi sequedad y aforadas a 10 mL con agua destilada para su análisis por espectrofotometría de absorción atómica en un Analyst700 Perkin Elmer® (AACC, 2000). La cuantificación de potasio se hizo con muestras diluidas en agua; mientras que, la determinación de calcio y magnesio fue en muestras diluidas y adicionadas con lantano en solución ácida de ácido nítrico en proporción de 0.774 g L^{-1} y acidez del 1 %. El fósforo se determinó a partir del digestado empleando la técnica de colorimetría con desarrollo de color con solución mixta de molibdato - metavanadato de amonio, en un espectrofotómetro Jenway® modelo 73 UV/VIS, a una longitud de onda de 490 nm. El análisis del nitrógeno total consistió en una digestión Kjeldahl con mezcla catalítica para la destrucción completa de la muestra, posteriormente se utilizó una alícuota de la preparación digestada y se sometió al método de Berthelot para su cuantificación colorimétrica (Plenecassagne et al., 1997). El contenido de N de la semilla se multiplicó por 6.25 para obtener el contenido de proteína (Raya-Pérez et al.; 2014). Como control de calidad en las determinaciones analíticas se empleó el material de referencia certificado NIST® SRM® 1573a de hojas de tomate, logrando recobros (fracción de analito adicionada a una muestra de prueba previa al análisis) superiores al 95 % para los analitos citados. Finalmente, los contenidos de los minerales (N, P, K, Ca y Mg) y el de proteína se expresaron en porcentaje (%). Estas mediciones se definieron como las variables en estudio.

Análisis estadístico. Los resultados del análisis químico se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA, $\alpha \leq 0.05$) y a las variables que resultaron significativas se les realizó una prueba de comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$) con el uso del programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0 (SAS Institute 2002).

Resultados y discusión

El contenido mineral de los frijoles mostró variación significancia ($\alpha \leq 0.05$) por efecto del color de la semilla en estudio (Cuadro 2).

Cuadro 2. Significancia estadística de los contenidos de macrominerales en semillas de poblaciones de frijol cultivadas en la región Norte del estado de Guerrero.

F. V.	N	Pro	P	K	Ca	Mg
Valor *p*-evalue	0.0308*	0.0308*	0.0207*	0.0088*	0.0002*	0.1505ns
C.V. (%)	15.19	15.19	18.92	32.00	64.68	31.08
Media	4.32	27.04	0.46	0.92	0.38	0.20

C. V. = coeficiente de variación. *= significativo, $\alpha \leq 0.05$. ns= no significativo, $\alpha > 0.05$. N = nitrógeno. Pro = proteína (%N*6.25). P = fósforo. K = potasio. Ca = calcio. Mg = magnesio.

El contenido de N osciló de 3.74 a 4.76% y de proteína de 23.38 a 29.73%, siendo los más sobresalientes estadísticamente los frijoles de color café (4.76% N; 29.72% proteína) pero similares a los rojos (4.47 % N; 27.96% proteína), amarillos (4.43%; 27.73% proteína) y negros (4.23% N; 26.44% proteína). No obstante, los frijoles pintos resultaron ser estadísticamente inferiores al resto al presentar contenidos de 3.74 % de N y de 23.38% de proteína (Figura 1a).

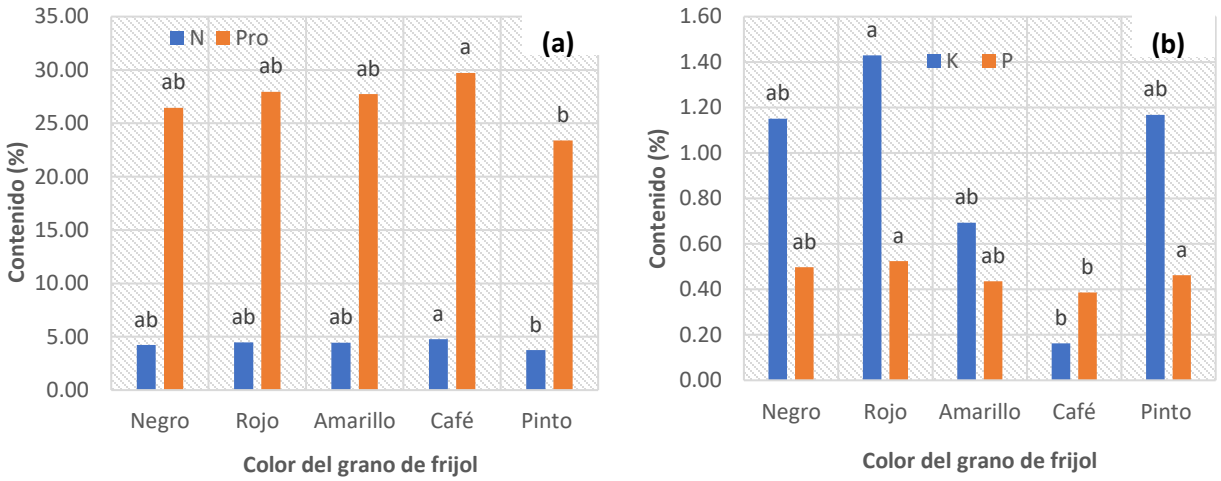


Figura 1. Contenido mineral: (a) nitrógeno y proteína; (b) y fósforo y potasio, en semillas de diferente color de poblaciones de frijol cultivadas en la región norte de Guerrero. Medias con letras iguales en cada mineral son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

El contenido de fósforo (P) varió de 0.39 a 0.52%, con media de 0.46%, siendo las semillas de los frijoles de color rojo (0.52%) las sobresalientes estadísticamente, posteriormente le siguen los de color negro (0.50%), pintos (0.46%) y amarillos (0.43%); mientras que, los frijoles color café (0.39%) registraron contenidos más bajos de este mineral. Mientras que, en K las semillas presentaron contenidos de 0.16 a 1.43%, con valor medio de 0.92%, destacando estadísticamente las semillas de color rojo (1.42%), en comparación con las de color café, que fueron las que presentaron el contenido más bajo (0.16%) de todas las semillas de color (Figura 1b).

Por otro lado, el contenido de Ca osciló de 0.74 a 0.23%, con valor medio de 0.38%, en este mineral las semillas de color café (0.74%) fueron las más sobresalientes, pero estadísticamente similar a las de color amarillo (0.43%); mientras que, los frijoles de color negro, rojo y pintos registraron contenidos más bajos, donde el más bajo fueron los de color negro (0.23%). El contenido de Mg varió de 0.18 a 0.25%, con media de 0.20%; no obstante, todos los frijoles de color fueron estadísticamente iguales en su contenido (Figura 2).

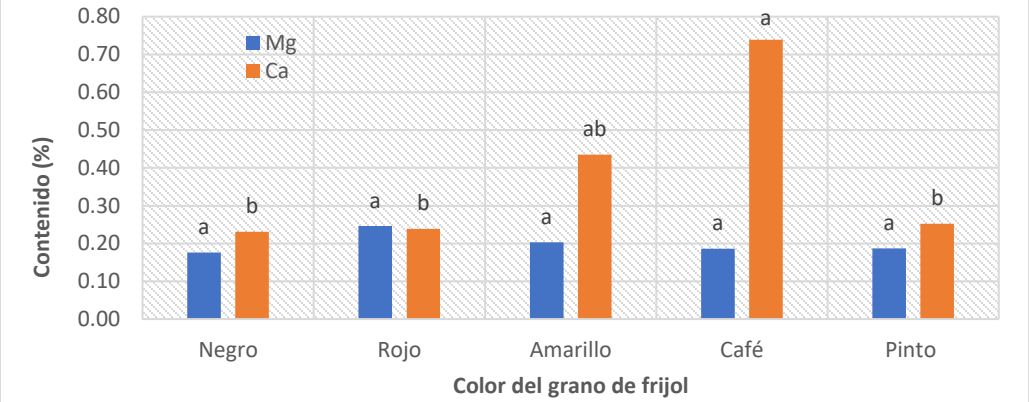


Figura 2. Contenido de calcio y magnesio en semillas de poblaciones de frijol cultivadas en la región norte de Guerrero. Medias con letras iguales en cada mineral son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Diversos autores han documentado que las variedades de frijol mexicanas presentan de 14 a 33% de proteína (Corzo-Ríos et al., 2020), lo cual es de gran relevancia porque es uno de los granos más consumidos en comunidades rurales del país. Por ejemplo, en frijol negro se reportó 21.8% (Serrano y Goñi, 2004), llegando alcanzar hasta 24% (Montoya et al., 2008), en frijol Bayo Berrendo se obtuvo 16.47% y 14.53% para frijol Patzcuareño (Raya-Pérez et al., 2014); mientras que, el Bayo Río Grande registró 23.3% (Vargas-Avila y Villamil-Lozano, 2012). También, se ha descrito que los frijoles reportan contenidos de 1.47 a 2% de K, 0.13 a 0.75% de Ca, y 0.19 a 0.27% de Mg (Amirul-Islam *et a*l., 2006); por ejemplo, el frijol Bayo Berrendo presentó 5.53% de K, 0.15% de Ca, y 0.60% de Mg, en cambio, la variedad Patzcuareño registró 3.52% K, 0.17% de Ca y 0.67% Mg (Raya Pérez et al., 2014). Estas diferencias se relacionan con factores genéticos (variedad), condiciones agroclimáticas donde fueron cultivadas y el manejo del cultivo, destacando el tipo de suelo donde se desarrolla la planta. Se ha documentado que el contenido de Na, Mg y Ca en la semilla es menor que en otras partes de la planta, debido a la movilidad de estos minerales. Situación contraría ocurre para el contenido de N y P al ser mayor; mientras que, el K se distribuye más uniformemente en las plantas maduras en comparación con N, P, Ca, Mg (Moraghan y Grafton, 1997).

Conclusiones

Las semillas de frijol de las poblaciones recolectadas en la región Norte del estado de Guerrero mostraron diferencias en el contenido de proteína, y macrominerales (N P. K, Ca) por efecto del color de la semilla. La heterogeneidad observada en el contenido nutricional de la semilla de los frijoles puede relacionarse con la diversidad genética de la especie, condiciones edafoclimáticas de la zona donde se cultivan y por su conservación *in situ*, ya que cada agricultor las preserva por generaciones, con un manejo o con prácticas agrícolas propias de cada zona.

Referencias

AACC. (2000). Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. Vol. I y II.

Amirul-Islam, F. M., Basford, K. E., Redden, R. J., & Beebe, S. (2006). Preliminary evaluation of the common bean core collection at CIAT. *Plant Genetic Research Newsletters, 145*, 29-37.

Corzo-Ríos, L. J., Sánchez-Chino, X. M., Cardador-Martínez, A., Martínez-Herrera, J., & Jiménez-Martínez, C. (2020). Effect of cooking on nutritional and non-nutritional compounds in two species of Phaseolus (*P. vulgaris* and *P. coccineus*) cultivated in México. International J*ournal of Gastronomy and Food Science, 20*, 1-7.

Gomes Basso Los F., Zielinski A. A. F., Wojeicchowski J. P., Nogueira A., & Demiate, I. M. (2018). Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seeds with complex chemical composition. *Current Opinion in Food Science, 19*, 63-71.

Jacinto-Hernández, C., Bernal L. I., & Garza G. R. (2002). Food quality of drybean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces from different states of Mexico. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative* (BIC), *45,* 222-223.

Kalra, Y. P. (1998). Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. *CRC Press, Boca Raton*. Florida. 300 p.

Montoya, C. A., Leterme, P., Victoria, F. N., Toro, O., Souffrant, B. W., Beebe, S., & Lailles, J. P. (2008). Susceptibility of phaseolin to *in vitro* proteolysis is highly variable across common bean varieties (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56*, 2183-2191.

Moraghan, J. T., & Grafton, K. F. (1997). Acumulación de Ca en cultivares de frijol que difieren en tamaño de semilla. *J. Sci. Food Agric., 74,* 251-256.

Muñoz-Velázquez, E. E., Rubio-Hernández, D., Bernal-Lugo, I., Garza-García, R., & Jacinto Hernández, C. (2009). Caracterización de genotipos nativos de frijol del estado de Hidalgo, con base a calidad del grano. *Agricultura técnica en México, 35*(4), 429-438.

Plenecassagne, A., Romero-Fierro, E., & Lopez-Borrego, C. (1997). Manual de Laboratorio, Analisis de suelos, aguas, plantas, Gomez Palacio: CENID RASPA.

Raya-Pérez, J. C., Gutiérrez-Benicio, G. M., Ramírez, P. J. G., Covarrubias-Prieto, J., & Aguirre, Mancilla, C. L. (2014). Caracterización de proteínas y contenido mineral de dos variedades nativas de frijol de México. *Agronomía Mesoamericana, 25,* 01-11.

Sangerman-Jarquín, D. Ma., Acosta-Gallego, J. A., Schwenstesius, de Rindermann R. Damián-Huato, M. Á., & Larqué-Saavedra, B. S. (2010). Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 1*(3), 363-380.

SAS Institute. (2002). SAS/STAT User's Guide. Version 9.1. Volumes 1-7. SAS Institute. Cary, NC, USA.

Serrano, J., & Goñi, I. (2004). Papel del frijol negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemalteca*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 54*, 36-44.

Solano, C. F., Díaz, R. R., Jacinto H. C., Aguirre, Á. L., & Huerta, de la P. A. (2009). Prácticas agrícolas, descripción morfológica, proteínica y culinaria del grano de cultivares de frijol sembrados en la región de Tlatzala, Guerrero. *Ra Ximhai, 5*, 187-199.

Solano-Rodríguez, A., & Gil-Muñoz, A. (2018). El frijol "chaparro" (*Phaseolus vulgaris* L.) entre los Na Savi de Copanatoyac, Guerrero, México: Aportes a su conocimiento. *Agroproductividad, 11*(10),137-143.

Vargas-Ávila, Y.R., & Villamil-Lozano, O. E. (2012). Caracterización fisicoquímica y nutricional de la harina de frijol caupí (*Vigna Unguiculata* L.) cultivado en el departamento del Tolima. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería Agonómica. Programa de Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Tolima. 70 p.

REGÍMENES DE INCENDIOS EN EL PARQUE NACIONAL PICO DE ORIZABA

Arturo García-Quintana[1], Julián Cerano-Paredes[2]*, Rosalinda Cervantes-Martínez[1]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. Calzada Antonio Narro 1923, CP 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Km 6.5 Margen Derecha del Canal Sacramento, C.P. 35140, Gómez Palacio, Durango, México. *Autor para correspondencia: cerano.julian@gmail.com

Introducción

Los incendios forestales son aquellos que ocurren en los ecosistemas terrestres (sea de origen natural o antrópico) que se propagan por la vegetación ya sean bosques o cualquier otro tipo de ecosistema, estos pueden ocurrir en cualquier época del año (Pausas, 2020). Los incendios forman parte de la dinámica de los ecosistemas, pueden ser una herramienta de manejo, y también un factor de deterioro ambiental, según las condiciones en las que se presente (CONAFOR, 2020). La mayoría de los bosques de pino son ecosistemas que requieren del fuego, los pinos se regeneran mejor sobre sitios quemados, donde el fuego ha removido la barrera de zacate para que la semilla haga contacto con el suelo mineral, México cuenta un pino nativo (*Pinus hartwegii* Lindl) que crece en el Eje Neovolcánico y que, por su cercanía a los volcanes es una de las especies que mejor se ha adaptado al fuego (CONAFOR, 2020). *P. hartwegii* es una de las especies forestales con pocos estudios dendrocronológicos que han determinado su régimen de fuego en estos ecosistemas de altura (Yocom y Fulé, 2012; Cerano-Paredes et al., 2021). Dado lo anterior y considerando la importancia de estos ecosistemas, es apremiante contribuir a obtener mayor conocimiento sobre el régimen de incendios, por ello, el objetivo del presente estudio fue, conocer la historia del fuego en el bosque de altura de *P. hartwegii* en el Parque Nacional Pico de Orizaba (PNPO).

Materiales y métodos

El área de estudio se ubica dentro del PNPO, en el sitio conocido como Las Presas (PRS) (Figura 1). Se realizó un muestreo selectivo, se identificaron árboles de *P. hartwegii* vivos, muertos en pie, tirados y tocones que presentaran cicatrices de incendios; con el apoyo de una motosierra se extrajeron 17 secciones parciales de 13 árboles. Las muestras colectadas se trasladaron al laboratorio de Dendrocronología del INIFAP CENID-RASPA, en Gómez Palacio, Durango, donde se secaron al aire libre, cada muestra fue lijada y pulida usando diferentes granos de lijas de la 40 a la 1,200 con el objetivo de resaltar las estructuras celulares de los añillos, esto permitió identificar las cicatrices del incendio dentro del anillo anual (Cerano-Paredes et al., 2020). Una vez pulidas las muestras, se realizó el fechado con base en técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1996).

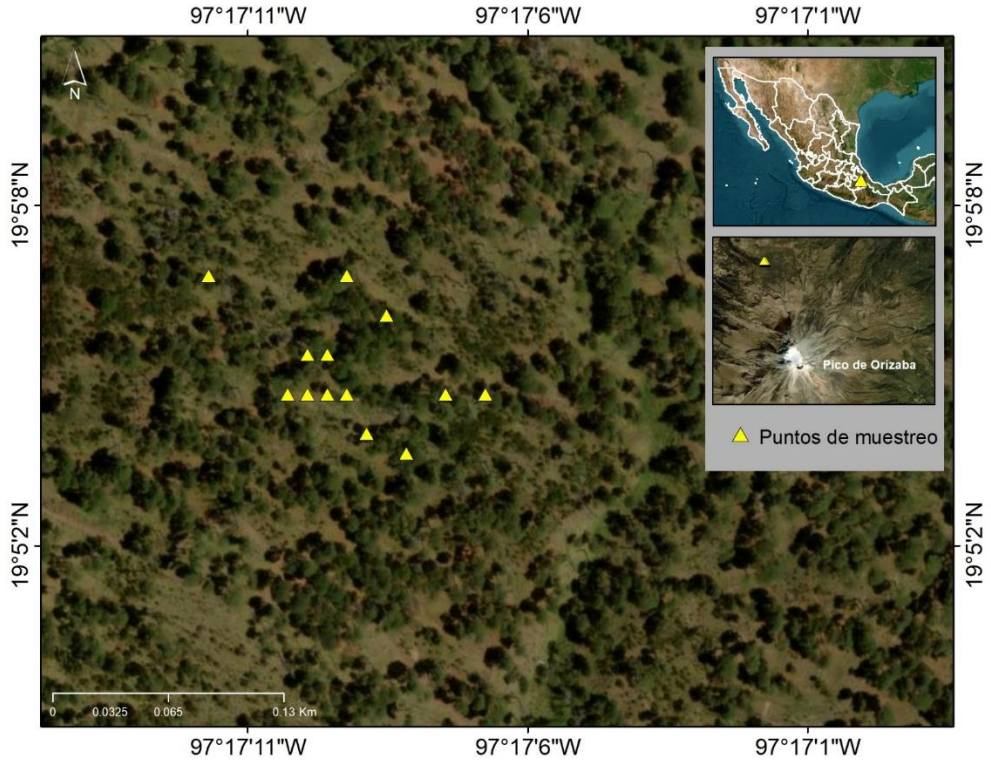


Figura 1. Ubicación del área de estudio Las Presas (PRS) en el Parque Nacional Pico de Orizaba.

Posterior al fechado, se determinó la estacionalidad de las cicatrices de los incendios siguiendo la metodología propuesta por Baisan y Swetnam, (1990), se determinó la temporada en la cual ocurrió el incendio usando las siguientes categorías: EE (inicio de la madera temprana), ME (mitad de la madera temprana, LE (final de la madera temprana), L (madera tardía), D (latencia o límite del anillo). Las diferentes categorías se agruparon en dos periodos 1) primavera (D+EE) y 2) verano (ME+LE+L) (Grissino-Mayer, 2001). La base de datos se corrió y analizo con el programa FHX2 (Grissino-Mayer, 2001). Los intervalos medios de frecuencia (IMF) e intervalos medios recurrencia Weibull (IMPW) se analizaron estadísticamente con todas las cicatrices de incendios (Grissino-Mayer, 1995).

Resultados y discusión

De las 17 muestras colectadas se logró fechar un total de 15 (88.2 %) las cuales presentaron 72 cicatrices de incendio. Se logró reconstruir la historia de incendios para los últimos 169 años (Figura 2). El incendio más antiguo se registró en el año 1852 y el más reciente en el año 2021. Se determinó una baja frecuencia de incendios durante el periodo de 1852 a 1886, para el periodo de 1887 a 1998 la frecuencia aumento y de 1999 al 2021 la frecuencia se redujo nuevamente. Este cambio en la frecuencia de incendios en las últimas décadas coincide con lo reportado por Cerano-Paredes et al. (2016) en bosques de *P. hartwegii* al norte del estado de Puebla y Yocom y Fulé (2012) para otras áreas del PNPO.

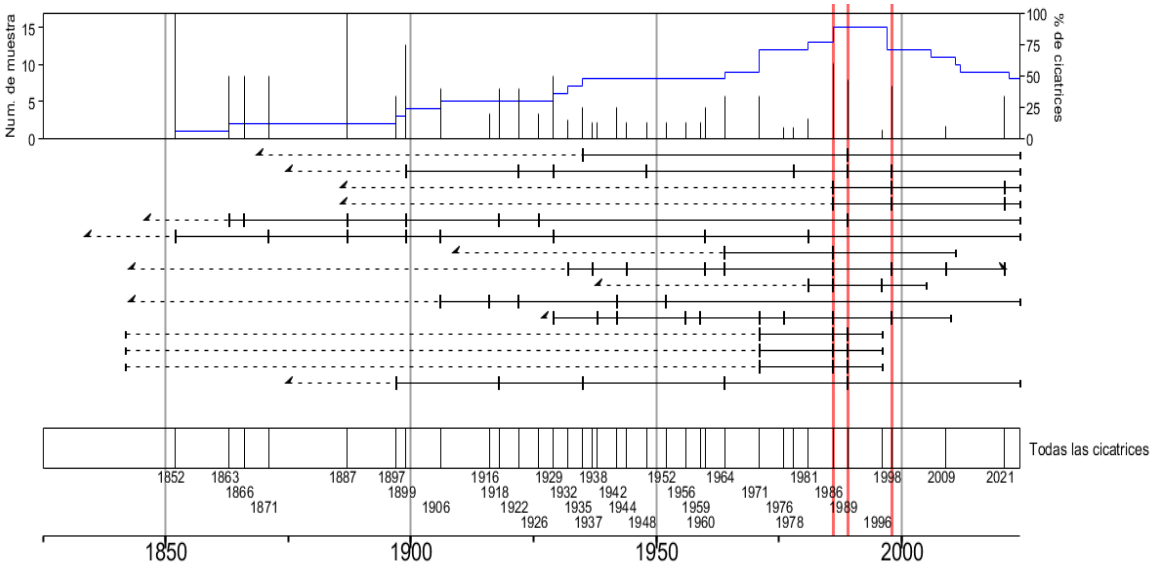


Figura 2. Historial del fuego en el bosque de *Pinus Hartwegii* del sitio Las Presas (PRS) en el Parque Nacional Pico de Orizaba. Considerando todas las cicatrices. Las líneas horizontales representan las muestras obtenidas y su longitud, las verticales en color negro las cicatrices de incendios y las líneas de color rojo remarcan los incendios con mayor intensidad.

Para todas las cicatrices se determinó un IMF de 5 años y IMPW de 4.39 años, el intervalo más corto fue de un año y el más largo de 16 años (Cuadro 1). Rodríguez (2001) menciona que para estos bosques la frecuencia de incendios es alrededor de 5 años, lo cual coincide con los resultados encontrados en este trabajo. Yocom y Fule (2012) y Cerano-Paredes et al (2016) reportan frecuencias de incendios similares en estudios dendrocronologícos para bosques de *P. hartwegii*.

Cuadro 1. Intervalos de frecuencia de los incendios para el bosque de *Pinus Hartwegii* en el parque nacional pico de Orizaba. Periodo de análisis 1852-2021.

Sitio	IMF	Mínimo	Máximo	IMPW
PRS	5	1	16	4.39

La categorización de la estacionalidad de ocurrencia de incendios fue determinada para el 87.5% de los incendios; mientras que el 12.5% no fue posible debido a problemas de supresión en el crecimiento. El total de las cicatrices categorizadas se determinaron al inicio de la madera temprana, el 87.5 % de los incendios corresponden a la estación de primavera (estación seca) (Cuadro 2). Estos resultados sincronizan con lo encontrado en otros estudios en el centro de México para bosque de altura de *P. hartwegii* (Yocom y Fulé, 2012; Cerano-Paredes et al., 2016; Cerano-Paredes et al., 2021).

Cuadro 2. Determinación de la estacionalidad de las cicatrices de incendios.

Sitio	Total (%)	Estación determinada (%)	Estación no determinada (%)	D	EE	ME	LE	L	Incendios primavera	Incendios verano
PRS	72 (100 %)	63 (87.5 %)	9 (12.5%)	0	63 (87.5 %)	0	0	0	63 (87.5 %)	0

Conclusiones

El régimen de incendios forestales en el PNPO, se considera recuente y de baja intensidad, con un cambio en la frecuencia en las últimas décadas. Los incendios se presentan en la estación de primavera, debido a que la vegetación se encuentra seca y es más susceptible a la ignición. *P. hartwegii* es una especie adaptada al fuego, los cambios en su frecuencia podrían propiciar mayor acumulación de combustibles y el riesgo de incendios de mayor severidad. Por lo tanto, el conocimiento generado sobre regímenes de incendios para los bosques de altura, representan una herramienta valiosa para los encargados del manejo del fuego y conservación de este ecosistema.

Referencias

Baisan, C. H., & Swetnam, T. W. (1990). Fire history on a desert mountain range: Rincon Mountain Wilderness, Arizona, USA. Canadian Journal of Forest Research, 20(10), 1559-1569.

Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Cervantes-Martínez, R., Esquivel-Arriaga, G., Guerra-de la Cruz, V., & Fulé, P. Z. (2016). Régimen histórico de incendios y su relación con el clima en un bosque de Pinus hartwegii al norte del estado de Puebla, México. Bosque, 37(2), 389-399.

Cerano-Paredes, J., Iniguez, J. M., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., Cambrón-Sandoval, V. H., Estrada-Arellano, J. R., ... & Cardoza-Martínez, G. F. (2020). Using tree-rings to reconstruct fire history information from forested areas. JoVE (Journal of Visualized Experiments), (164), e61698.

Cerano-Paredes, J., Iniguez, J. M., Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Cervantes-Martínez, R., Esquivel-Arriaga, G., Franco-Ramos, O., & Rodríguez-Trejo, D. A. (2021). Effects of climate on historical fire regimes (1451–2013) in Pinus hartwegii forests of Cofre de Perote National Park, Veracruz, Mexico. Dendrochronologia, 65, 125784.

Comisión Nacional Forestal. (2020). Programa de manejo del fuego 2020-2024. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Grissino-Mayer, H. D. (1995). Tree-ring reconstructions of climate and fire history at El Malpais National Monument, New Mexico. The University of Arizona.

Grissino-Mayer, H.D. (2001). FHX2-software for analyzing temporal and spatial patterns in fire regimes from tree rings. Tree-Ring Res. 57: 115–124.

Pausas, J. G. (2024). Incendios forestales. Los libros de la Catarata.

Rodríguez-Trejo, D. A. (2001). Ecología del fuego en el ecosistema de Pinus hartwegii Lindl. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 7(2), 145-151.

Stokes, M. A. (1996). An introduction to tree-ring dating. University of Arizona Press.

Yocom, L. L., & Fulé, P. Z. (2012). Human and climate influences on frequent fire in a high-elevation tropical forest. Journal of Applied Ecology, 49(6), 1356-1364.

DINÁMICA DE LA DIVERSIDAD ALÉLICA DURANTE LA ADAPTACIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS DE MAÍZ

Iraís García-Vázquez[1], Martha Hernández-Rodríguez[1*], J. Jesús García-Zavala[1], Adriana Isabel Pérez-Luna[2], Ricardo Lobato-Ortiz[1].

[1]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, km 36.5 Carretera Federal México-Texcoco, Montecillo, Estado de México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Costa de Hermosillo, Blvd. Pascual Encinas Félix, Hermosillo, Sonora, México. *hernandez.martha@colpos.mx

Introducción

Las poblaciones nativas de maíz (*Zea mays* L.) constituyen recursos genéticos que pueden aportar variabilidad para enfrentar ambientes contrastantes. Sin embargo, su utilización fuera de su ambiente de origen puede estar limitada por la adaptación local (Liu et al., 2020). La adaptación de germoplasma permite tener una base genética disponible para responder a nuevas presiones ambientales y a futuros objetivos de mejoramiento (Coyac et al., 2013). En el Colegio de Postgraduados se implementó un programa de selección para adaptación de poblaciones nativas de maíz a Valles Altos. Este programa inició en 1969 con una población de maíz de la raza Cónico Norteño proveniente de un ambiente predominantemente semiárido de Zacatecas. Posteriormente, el programa incorporó poblaciones pertenecientes a otras diez razas de maíz, sometidas a selección alternada entre ambientes templados y cálidos. Los resultados de este programa mostraron incrementos significativos en el rendimiento de grano y cambios en caracteres morfológicos y de floración respecto de las poblaciones originales (Gómez-Espejo et al., 2015; Velasco-García et al., 2020). El análisis de los cambios en las frecuencias alélicas permite evaluar si los procesos de adaptación están acompañados por pérdida de variabilidad o por una redistribución de la diversidad existente (Mroz et al., 2023). Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar la dinámica de la diversidad alélica en poblaciones de maíz sometidas a selección para adaptación a Valles Altos mediante marcadores microsatélites.

Materiales y métodos

Se utilizaron 22 poblaciones pertenecientes a 11 razas de maíz, en sus versiones original y adaptada. Las razas fueron Cónico Norteño, Zapalote Chico, Naltel, Celaya, Tabloncillo, Pepitilla, Tepecintle, Comiteco, Olotillo, Vandeño y Tuxpeño. Las poblaciones originales fueron aquellas a partir de las cuales se inició el proceso de adaptación. Las poblaciones adaptadas fueron las obtenidas después de 18-24 ciclos de selección masal visual estratificada (Reyes-Correa et al., 2026).

Se germinaron semillas de estas poblaciones en invernadero. En el estadio V4, se recolectaron hojas de 20 plántulas por población para un total de 440 individuos. Se pesaron 300 mg de estas hojas y se desecaron con gel de sílice a temperatura ambiente durante 10 días. El ADN se extrajo con un protocolo basado en bromuro de cetiltrimetilamonio optimizado para maíz descrito por Ruíz-Hernández et al. (2026).

Cuatro marcadores tipo microsatélite SSR fueron seleccionados de MaizeDatabase (https://www.maizegdb.org/) para su amplificación mediante PCR. Los marcadores fueron umc1638, umc1508, umc1139 y umc1187. La mezcla de reacción de PCR consistió en 1X del amortiguador de reacción, 0.2 mM de cada dNTP (Invitrogen), 1.5 mM de $MgCl_2$, 0.27 µM de cada iniciador, 1 U de Taq polimerasa (Promega M8295), 20 ng de ADN y agua libre de nucleasas suficiente para alcanzar 15 µL de reacción.

El programa de PCR consistió en un ciclo de desnaturalización a 94 °C durante 1 min, seguido de 30 ciclos compuestos por una desnaturalización durante 1 min, alineamiento a 60 °C durante 1 min y extensión a 72 °C por 1 min, seguidos de un ciclo de extensión final a 72 °C durante 5 min, realizado en un termociclador GeneAmp® 9700 (Applied Biosystems, Singapur).

Cada reacción fue mezclada con 5 µL de amortiguador de carga. Ocho microlitros de esta mezcla se migraron en gel de agarosa (Sigma®, St. Louis MO, EUA) al 1 % para confirmar la amplificación. Enseguida, 3 µL se migraron en geles nativos de poliacrilamida 19:1 al 12 % durante 5 horas a 250 V en condiciones frías, utilizando 25 ng de una escalerilla de 20 pb (Sigma-Aldrich) como marcador de tamaño molecular y el sistema de electroforesis MG33-1063 (CBS Scientific®, San Diego, CA, EUA). Cada gel se tiñó con AgNO3 (Sigma®, St. Louis, MO, EUA) de acuerdo con la metodología descrita en CIMMYT (2006) y se documentó con luz visible en un transiluminador (MiniBis Pro 16 mm, DNR Bio-Imaging Systems®, Israel). El tamaño de cada alelo en pares de bases (pb) se estimó con el software GelAnalyzer versión 19.1 para construir la matriz de datos moleculares para cada población.

Las frecuencias alélicas y los estadísticos de diversidad se obtuvieron con el software PowerMarker V3.25 (Liu y Muse, 2005). Para cuantificar la magnitud del cambio en la distribución de las frecuencias alélicas entre cada población original y su correspondiente población adaptada se calculó la distancia de variación total (DVT, Markatou y Chen, 2018), mediante:

$$DVT = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{k} |\rho i, A \; - \; \rho i, O|$$

Donde: *p*iO y *p*iA, corresponden a las frecuencias del alelo *i* en las poblaciones original y adaptada, respectivamente, y *k* es el número de alelos detectados en cada locus. La DVT toma valores entre 0 y 1, donde 0 indica distribuciones de frecuencias alélicas idénticas y valores crecientes representan un mayor desplazamiento de las frecuencias entre ambas poblaciones. Los valores de DVT obtenidos para cada combinación raza por locus se representaron mediante un mapa de calor elaborado en Microsoft Excel utilizando una escala de color continua.

Resultados y discusión

Los cuatro loci microsatélite analizados fueron polimórficos entre las 22 poblaciones de maíz. Se detectaron 20 alelos, con un intervalo de cuatro a siete alelos por locus (Cuadro 1). El marcador umc1638 presentó el mayor número de alelos (7), seguido de umc1139 (5), mientras que umc1508 y umc1187 presentaron cuatro alelos cada uno.

Cuadro 1. Estadísticos de diversidad de cuatro marcadores SSR analizados en 22 poblaciones de maíz.

Marcador	Frecuencia del alelo mayor	No. de alelos	No. de genotipos	Diversidad genética	Heterocigosidad observada	PIC
umc1638	0.4317	7	18	0.6798	0.3634	0.6234
umc1508	0.3995	4	7	0.6598	0.5297	0.5862
umc1139	0.8105	5	6	0.3146	0.3265	0.2772
umc1187	0.5899	4	6	0.4894	0.7396	0.3763
Promedio	0.5579	5	9	0.5359	0.4898	0.4658

PIC: contenido de información polimórfica.

La diversidad genética promedio fue de 0.536, con valores entre 0.315 para umc1139 y 0.680 para umc1638. La heterocigosidad observada promedio fue de 0.490, aunque mostró diferencias importantes entre loci, desde 0.327 en umc1139 hasta 0.740 en umc1187. El contenido de información polimórfica (PIC) varió de 0.277 a 0.623, con un promedio de 0.466. Estos resultados muestran que los cuatro microsatélites SSR permitieron detectar variación genética en las poblaciones evaluadas, aunque presentaron diferente capacidad de discriminación entre loci.

El análisis de las frecuencias alélicas mostró que la magnitud de los cambios entre las poblaciones originales y adaptadas dependió tanto de la población como del locus evaluado (Figura 1). La distancia de variación total (DVT) presentó valores entre 0 y 0.725. Los mayores desplazamientos se observaron en Vandeño para umc1638 (DVT = 0.725), Cónico Norteño para umc1508 (0.650) y umc1187 (0.525), y Zapalote Chico para umc1139 (0.500). Por el contrario, algunas combinaciones población por locus no mostraron cambios detectables en las frecuencias alélicas (DVT = 0), particularmente Celaya, Tabloncillo y Pepitilla para umc1187.

	Marcador			
Razas de maíz	umc1187	umc1139	umc1508	umc1638
Cónico N.	0.525	0.100	0.650	0.275
Zapalote	0.050	0.500	0.350	0.261
Naltel	0.025	0.275	0.132	0.375
Celaya	0.000	0.150	0.450	0.289
Tabloncillo	0.000	0.168	0.300	0.200
Pepitilla	0.000	0.100	0.350	0.395
Tepecintle	0.130	0.300	0.350	0.300
Comiteco	0.125	0.225	0.275	0.283
Olotillo	0.137	0.314	0.125	0.325
Vandeño	0.025	0.175	0.275	0.725
Tuxpeño	0.025	0.100	0.083	0.025

Figura 1. Magnitud del cambio en las frecuencias alélicas entre poblaciones originales y adaptadas de 11 razas de maíz para cuatro loci microsatélite. Los valores corresponden a la distancia de variación total (DVT); valores mayores indican mayor desplazamiento en la distribución de las frecuencias alélicas.

No se observó un patrón uniforme de desplazamiento alélico asociado con el proceso de adaptación. Algunas poblaciones presentaron cambios pronunciados en loci particulares, mientras que otras mostraron cambios moderados distribuidos entre varios loci. Por ejemplo, Vandeño presentó su mayor desplazamiento en umc1638, mientras que Tuxpeño mostró valores bajos de DVT en los cuatro loci analizados (0.025–0.100). Tepecintle, en contraste, presentó desplazamientos moderados en varios loci (0.130–0.350). Estos resultados sugieren que el proceso de adaptación estuvo acompañado por una redistribución diferencial de las frecuencias alélicas, cuya magnitud fue específica de la población y del locus.

La ausencia de una respuesta uniforme entre loci y poblaciones indica que la adaptación de estos recursos genéticos no estuvo asociada con un patrón único de cambio en la composición alélica. En maíz de Valles Altos existe evidencia independiente de que la adaptación puede involucrar respuestas específicas en distintas regiones del genoma. En Palomero Toluqueño, se ha informado que varios caracteres adaptativos presentan una arquitectura oligogénica compatible con selección direccional actuando en puntos distintos del genoma (Perez-Limón et al., 2022). Similarmente, Mroz et al. (2023) reportaron que la adaptación del trigo de primavera a las condiciones de cultivo de Noruega estuvo asociada con loci específicos relacionados con caracteres como fenología y rendimiento de grano, identificados mediante estudios de asociación del genoma completo.

Por otra parte, la permanencia de múltiples alelos y los niveles de diversidad observados, muestran que el cambio en la composición alélica no implica necesariamente pérdida de diversidad genética. Al respecto, Reyes-Correa et al. (2026) reportaron que la diversidad genética de estas poblaciones es moderada después de analizarlas con 20,654 marcadores SilicoDArT; asimismo, informaron que su respuesta durante el proceso de adaptación no fue homogénea y que mecanismos asociados con la selección masal visual estratificada, la estructura genética inicial y la plasticidad fenotípica pudieron influir en su diferente respuesta adaptativa. Esta distinción es relevante para el aprovechamiento de recursos genéticos, ya que la adaptación de germoplasma a nuevos ambientes puede modificar su estructura genética sin eliminar necesariamente la variabilidad que constituye la base para futuros procesos de selección.

Conclusiones

Los resultados de este trabajo indican que la selección para adaptación no necesariamente implicó pérdida de diversidad. Los cambios observados en las frecuencias alélicas fueron diferenciales dependiendo de la población y del locus evaluado. Asimismo, los resultados sugieren que las poblaciones adaptadas conservan variabilidad en los loci evaluados, pero esta se ha redistribuido, por lo que este germoplasma exótico adaptado mantiene variabilidad potencialmente valiosa para el mejoramiento genético del maíz en Valles Altos.

Referencias

CIMMYT, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2006). Protocolos de Laboratorio: Laboratorio de Genética Molecular Aplicada del CIMMYT. Tercera edición. CIMMYT. México, D. F. 93 p.

Coyac, J. L., Molina-Galán, J. D., García-Zavala, J. J. & Serrano, L. M. (2013). La selección masal permite aumentar rendimientos sin agotar la variabilidad genética aditiva en el maíz Zacatecas 58. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 53-62.

Gómez-Espejo A. L., Molina-Galán, J. D., García-Zavala, J. Mendoza-Castillo, M. del C. & de la Rosa-Loera, A. (2015). Poblaciones exóticas originales y adaptadas de maíz I: variedades locales de clima templado x variedades tropicales. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38, 57-66.

Liu, K., & Muse S. (2005). PowerMarker. Integrated analysis environment for genetic marker data. *Bioinformatics* 21, 2128,2129.

Liu, N., Du, Y., Warburton, M. L., Yingjie Xiao, Y. & Yan, J. (2020) Phenotypic plasticity contributes to maize adaptation and heterosis, *Molecular Biology and Evolution*, 38, 1262–1275

Markatou, M., & Chen, Y. (2018). Non-quadratic distances in model assessment. *Entropy* (Basel), 20,464

Mroz, T., Dieseth, J. A., & Lillemo, M. (2023). Grain yield and adaptation of spring wheat to Norwegian growing conditions is driven by allele frequency changes at key adaptive loci discovered by genome-wide association mapping. *Theoretical and Applied Genetics*, 136,191.

Perez-Limón, S., Li, M., Cintora-Martinez, G. C., Aguilar-Rangel, M. R., Salazar-Vidal, M. N., González-Segovia, E., Blöcher-Juárez, K., Guerrero-Zavala, A., Barrales-Gamez, B., Carcaño-Macias, J., Costich, D. E., Nieto-Sotelo, J., Martinez de la Vega, O., Simpson, J., Hufford, M. B., Ross-Ibarra, J., Flint-Garcia, S., Diaz-Garcia, L., Rellán-Álvarez, R., & Sawers, R. J. H. (2022). A B73×Palomero Toluqueño mapping population reveals local adaptation in Mexican highland maize. *G3* (Bethesda), 4,12(3).

Reyes-Correa, A. P., Hernández-Rodríguez, M., García-Zavala, J. J., Benítez-Riquelme, I., Trejo-Pastor, V., Lobato-Ortiz, R.,1 & María Isabel López-Martínez. (2026). Diversity of maize populations adapted to the highlands of Mexico using SilicoDArT markers. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 49, 143-151.

Ruiz-Hernández, R., Hernández-Rodríguez, M., Pérez-Vázquez, A., Ramírez-Rivera, E. d. J., López-Romero, G., Bautista-Aguilar, J. R., Hernández-Chontal, M. A., & Salas-Valdez, O. (2026). Application of silicoDArT markers for the analysis of genetic diversity and population structure in M*oringa oleifera* Lam. cultivated in Mexico. *Horticulturae*, *12*(6), 729

Velasco-García, A., García-Zavala, J. J., Sahagún-Castellanos, J., Lobato-Ortiz, R., Sánchez-Abarca, C. & Marín-Montes, I. M. (2020). Análisis de variabilidad morfológica de maíces nativos y exóticos en valles altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43, 517-524.

CUANTIFICACIÓN VOLUMÉTRICA, TASA DE DESVIACIÓN Y POTENCIAL DE MITIGACIÓN DE METANO EN LA REMEDIACIÓN DE UN DEPÓSITO IRREGULAR DE RESIDUOS SÓLIDOS EN UN CAMPUS UNIVERSITARIO DE ZONA ÁRIDA

Aurelio Maldonado-Cabrera[1], Argelio L. Guajardo-González[2], IQ. Luis J. Maldonado-Rincón[1], Néstor E. Ramírez-González[1], Karen G. García-Cervantes[1], Diego C. Anaya-Guerrero[1]*

[1] Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Químicas. [2]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura, Artículo 123 s/n, Col. Filadelfia, C.P. 35010, Gómez Palacio, Dgo. México. *Autor de correspondencia: anaya11736@gmail.com

Introducción

El depósito irregular de residuos sólidos en predios baldíos es una de las expresiones más persistentes de la gestión deficiente de residuos en México, país que genera 120,128 t d^{-1} de residuos sólidos urbanos (RSU) con una generación per cápita de 0.944 kg hab^{-1} d^{-1} (SEMARNAT, 2020). En zonas áridas la baja precipitación y la escasa cobertura vegetal limitan la atenuación natural, el viento dispersa la fracción ligera y la acumulación de material lignocelulósico seco eleva la carga de combustible.

Los campus universitarios no son ajenos al fenómeno. La literatura iberoamericana sobre gestión de residuos en instituciones de educación superior es abundante pero predominantemente descriptiva: documenta programas y planes de manejo pocas veces acompañados de un balance de materiales verificable o de indicadores reproducibles (Gutiérrez Barba y Martínez Rodríguez, 2010; Ruiz Morales, 2017), lo que limita la comparación entre instituciones y la evaluación del beneficio ambiental real.

El presente trabajo aborda esa brecha para la remoción de un depósito irregular acumulado en el predio de la Facultad de Ciencias Químicas (FCQ) de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Unidad Gómez Palacio, iniciada en enero de 2025 y aún en ejecución. Los objetivos fueron cuantificar el volumen removido y estimar su masa por corriente, calcular la tasa de desviación (TD) de disposición final y la carga por unidad de área de residuo, estimar el potencial de metano evitado mediante la metodología de Nivel 1 del IPCC con análisis de sensibilidad explícito, y establecer la línea base documentada del predio para su conversión en parcela experimental de especies de zonas áridas regada con agua residual tratada en el propio campus (Maldonado-Cabrera et al., 2024). Se advierte el alcance: es un caso operativo documentado ex post facto, sin diseño experimental, réplicas ni controles; las masas y emisiones son estimaciones derivadas de conteos volumétricos y parámetros de literatura, no mediciones gravimétricas.

Materiales y métodos

Sitio y periodo. Predio interior de la FCQ-UJED, Gómez Palacio, Durango (aprox. 25°34′ N, 103°29′ O). El polígono se delimitó sobre ortoimagen satelital: 8,314 m^2 (0.831 ha), perímetro de 452 m y elevación mediana de 1,132 m s.n.m. Clima desértico cálido (BWh), 22.3 °C de temperatura media anual y 225–236 mm de precipitación (INEGI, 2017). La intervención inició en enero de 2025 y continúa; los datos corresponden al corte de septiembre de 2026.

Cuantificación volumétrica y másica. El volumen de la corriente mezclada se obtuvo por recuento de viajes, $V = n \cdot V_c \cdot f$, con n = 31 camiones (15 entre enero y junio de 2025 y 16 de junio de 2025 a la fecha), capacidad nominal V_c = 15 m^3 y factor de llenado f = 1.0, es decir 465 m^3. La fracción lignocelulósica (leña, ramas y tocones) se transportó por separado en vehículos tipo pickup y se estimó en 90 m^3 por volumen apilado, por lo que se contabiliza de forma aditiva a los viajes de camión. Las corrientes de PET y de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) se separaron y retiraron sin registro de volumen ni masa, y se reportan como no cuantificadas (n.c.). Ante la ausencia de pesaje, la masa se estimó como $m = V \cdot \rho$ con intervalos de peso volumétrico aparente de literatura para residuo suelto: 120–250 kg m^{-3} para la mezcla RSU-escombro y 100–250 kg m^{-3} para material lignocelulósico apilado (Tchobanoglous et al., 1994). La clasificación de corrientes siguió la LGPGIR y la NOM-161-SEMARNAT-2011, que asigna los RAEE a manejo especial (SEMARNAT, 2013).

Indicadores y estimación de metano evitado. Se calcularon la tasa de desviación, $TD = (V_{valorizado}/V_{total}) \times 100$ con V_{total} = 555 m^3, y la carga por unidad de área de residuo referida al polígono medido; al no cuantificarse PET ni RAEE, ambos valores son cotas inferiores. El potencial de generación de metano se calculó con la metodología de Nivel 1 del IPCC (2006), $L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot F \cdot (16/12)$, con MCF = 1.0, DOC_f = 0.5, F = 0.5 y OX = 0.1, evaluando dos valores de DOC (0.20, jardinería; 0.43, madera) y los extremos de densidad; la conversión a CO_2e empleó PCG_{100} = 27 para metano no fósil (IPCC, 2023). Es un potencial acumulado a lo largo de décadas bajo el supuesto contrafactual de disposición anaerobia, no una emisión anual.

Restablecimiento vegetal. Se establecieron aproximadamente 200 individuos de *Prosopis* sp. (mezquite) sobre el polígono recuperado. El riego se realizó con agua residual tratada en la planta híbrida del propio campus, basada en un reactor anaerobio de flujo ascendente con soporte de cardenche (*Cylindropuntia imbricata*) inoculado (Maldonado-Cabrera et al., 2024). La cronosecuencia del predio se documentó desde puntos de observación recurrentes.

Resultados y discusión

Se manejaron 555 m^3 de residuo aparente: 465 m^3 (83.8 %) de mezcla RSU-escombro enviada a disposición y 90 m^3 (16.2 %) de fracción lignocelulósica entregada a hogares de la zona (Cuadro 1). La masa total estimada se sitúa entre 65 y 139 t; la amplitud del intervalo (factor 2.1) proviene íntegramente de la incertidumbre en el peso volumétrico. Referida al polígono de 0.831 ha, la carga por unidad de área fue de 668 m^3 ha^{-1} (78–167 t ha^{-1}): el predio operaba como sitio de disposición no controlado, no como tiradero incidental. La fracción mezclada equivale a la generación de RSU de 1,000 habitantes durante 59 a 123 días (SEMARNAT, 2020). El reparto temporal es informativo: 225 m^3 se retiraron en los primeros seis meses y 240 m^3 en los quince siguientes, lo que indica un pasivo histórico acumulado.

Cuadro 1. Balance volumétrico y másico estimado por corriente de residuo (enero de 2025 a septiembre de 2026).

Corriente	Volumen (m^3)	ρ (kg m^{-3})	Masa estimada (t)	Destino
RSU mezclado con escombro	465	120–250	55.8–116.2	Disposición final
Lignocelulósico (leña, ramas)	90	100–250	9.0–22.5	Entrega a hogares
PET, reciclables y RAEE	n.c.	—	n.c.	Acopio / manejo especial
Total cuantificado	555	—	64.8–138.7	TD ≥ 16.2 %

La TD de 16.2 % indica que cinco de cada seis metros cúbicos removidos se transfirieron a disposición final sin valorización. Es una cota inferior, porque PET y RAEE no se midieron, pero difícilmente alcanzaría el orden del 30 % al corregirla. La desviación lograda representa un potencial de metano evitado de 0.54 a 2.90 t CH_4, equivalentes a 14.6–78.4 t CO_2e (Figura 2). El intervalo abarca un factor de 5.4 entre escenarios extremos, dominado por la elección del DOC. Este resultado es, en sí mismo, el hallazgo metodológicamente relevante: sin pesaje ni caracterización de subproductos, cualquier cifra puntual de mitigación es indefendible, y la práctica de reportar un único valor de CO_2e evitado en trabajos de gestión universitaria carece de sustento.



(a) (b) (c) (d)

Figura 1. Cronosecuencia del predio: (a) estado basal, (b) acopio diferenciado por corriente, (c) área recuperada, (d) individuo establecido en la futura parcela experimental.

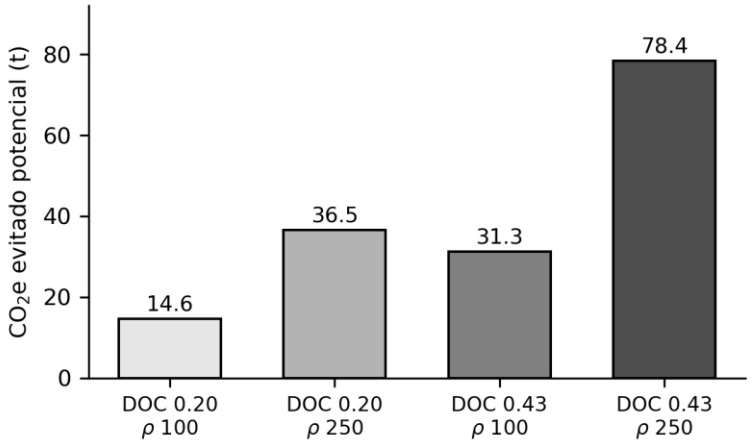


Figura 2. Sensibilidad del CO_2e evitado al peso volumétrico (ρ, kg m^{-3}) y al carbono orgánico degradable (DOC).

El restablecimiento vegetal alcanzó 241 individuos ha^{-1} de *Prosopis* sp. (espaciamiento medio de 6.4 m), género adecuado al sitio por ser una leguminosa arbórea nativa del Desierto Chihuahuense, fijadora de nitrógeno y tolerante a déficit hídrico. El riego con el efluente de la planta tratadora del campus cierra un ciclo entre dos proyectos institucionales y sustituye agua de primer uso en una región con acuífero sobreexplotado. No obstante, ese efluente rebasa la NOM-001-SEMARNAT-2021 en demanda química de oxígeno (1,708 frente a 210 mg L^{-1}), carbono orgánico total (125 frente a 53 mg L^{-1}), nitrógeno total (41.7 frente a 35 mg L^{-1}) y, de forma marginal, arsénico (0.44 frente a 0.40 mg L^{-1}; Maldonado-Cabrera et al., 2024). La carga de nitrógeno es agronómicamente favorable, pero el arsénico no se degrada y, bajo 225–236 mm de precipitación anual, la lixiviación es mínima, de modo que el metaloide tiende a acumularse en el horizonte superficial en una región con hidroarsenicismo documentado (Hernández Alvarado et al., 2022). El seguimiento de arsénico en suelo es, por tanto, una condición del esquema de riego, no un añadido opcional.

Tres limitaciones acotan la interpretación. Primera, no se aplicaron los métodos normalizados de cuarteo, peso volumétrico in situ y cuantificación de subproductos (NMX-AA-015/019/022-1985), por lo que se desconoce la composición real de la corriente mezclada. Segunda, el escenario contrafactual de disposición anaerobia no fue verificado. Tercera, y de mayor peso, entregar leña a hogares no es valorización material sino recuperación energética doméstica: la biomasa se combustiona y libera CO_2 biogénico y material particulado fino en interiores, exposición asociada a enfermedad respiratoria y cardiovascular (OMS, 2021); el astillado o el compostaje in situ evitarían ese contrapeso. La contribución del trabajo no es la magnitud de la mitigación, sino la conversión de una limpieza convencional en una línea base auditable.

Conclusiones

La remoción movilizó 555 m³ (65–139 t estimadas) sobre 0.831 ha, con una carga areal de 668 m³ ha⁻¹ (78–167 t ha⁻¹), propia de un sitio de disposición no controlado; la tasa de desviación fue de apenas 16.2 %. El potencial de metano evitado se estima entre 14.6 y 78.4 t CO_2e; la amplitud de factor 5.4 cuantifica el costo de no haber aplicado pesaje ni caracterización de subproductos y desaconseja reportar cifras puntuales de mitigación.

Entregar la fracción lignocelulósica a hogares desplaza metano pero transfiere exposición a material particulado en interiores; el astillado o el compostaje in situ son preferibles. El riego de los 241 individuos ha⁻¹ de *Prosopis* sp. con efluente tratado en el campus sustituye agua de primer uso, pero introduce una carga de arsénico en el límite normativo que obliga a monitorear el suelo. El predio queda como línea base documentada; la siguiente fase requiere cuarteo (NMX-AA-015/019/022), caracterización edáfica con determinación de arsénico y seguimiento de supervivencia.

Referencias

Gutiérrez Barba, B. E., y Martínez Rodríguez, M. C. (2010). El plan de acción para el desarrollo sustentable en las instituciones de educación superior: Escenarios posibles. *Revista de la Educación Superior, 39*(154), 87–106.

Hernández Alvarado, H. G., Enríquez Robledo, A. del C., y Morales Pérez, J. A. (2022). Hidroarsenicismo. Un acercamiento a su significado en localidades emblemáticas del norte de México. *Transdisciplinar. Revista de Ciencias Sociales del CEH, 2*(3), 64–97.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Durango 2017*. INEGI.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 5: Waste* (H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara y K. Tanabe, Eds.). IGES.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press.

Maldonado-Cabrera, A., Maldonado-Rincón, L. J., Ramírez-González, N. E., Arizpe-Quiñones, I. A., y Anaya-Guerrero, D. C. (2024). Instalación de una planta tratadora híbrida de aguas residuales utilizando cardenche (*Cylindropuntia imbricata*) como soporte para biofilm. En *Memoria del Congreso Internacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas*. Universidad Autónoma Chapingo.

Organización Mundial de la Salud. (2021). *Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire: Material particulado, ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono*. OMS.

Ruiz Morales, M. (2017). Contexto y evolución del plan de manejo integral de residuos sólidos en la Universidad Iberoamericana Ciudad de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 33*(2), 203–212.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011*. Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos 2020*. SEMARNAT-INECC.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., y Vigil, S. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. McGraw-Hill.

REDUCCIÓN Y SINCRONÍA DEL CRECIMIENTO RADIAL MEDIANTE ANÁLISIS DE SERIES DENDROCRONOLÓGICAS, EN UN RODAL DE *Pinus arizonica* EN EL NORESTE DE MÉXICO

Diana Yemilet Ávila-Flores[*1], Vicenta Constante-García[2] , Dora Alicia García García[1]

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Saltillo. Carretera Saltillo-Zacatecas Km. 342. Hacienda de Buenavista No. 9515, Saltillo Coahuila. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CENID-RASPA. Canal Sacramento Km. 6.5, Gómez Palacio, Durango. * Autor de correspondencia: avila.diana@inifap.gob.mx

Introducción

Los anillos de crecimiento constituyen una herramienta fundamental para estudiar la variabilidad temporal del crecimiento de los árboles y su respuesta ante condiciones ambientales cambiantes. Debido a que el crecimiento radial integra la respuesta del individuo a factores climáticos, ecológicos y de perturbación, las series dendrocronológicas permiten identificar años con respuestas excepcionalmente bajas o altas y evaluar si dichas respuestas se comparten entre diferentes individuos de un mismo sitio. En particular, los denominados años señal o pointer years corresponden a años en los que una proporción importante de los árboles presenta respuestas extraordinarias de crecimiento, por lo que pueden constituir evidencia de la ocurrencia de factores ambientales comunes (Jetschke et al., 2019).

El análisis de reducciones sincronizadas del crecimiento es especialmente relevante para evaluar la respuesta de los bosques ante eventos de estrés. Las disminuciones del crecimiento radial pueden estar relacionadas con condiciones climáticas extremas, particularmente sequías, aunque también pueden responder a factores bióticos o perturbaciones locales. En bosques de México se ha documentado que condiciones cálidas y secas pueden reducir el crecimiento radial de especies de coníferas sensibles a la disponibilidad de agua, lo que demuestra el potencial de la dendrocronología para estudiar la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales (Pompa-García et al., 2017a). El objetivo del presente estudio fue identificar los años con reducciones e incrementos significativos del crecimiento radial y determinar aquellos eventos que presentan una respuesta sincrónica entre los individuos de un rodal en el noreste de México

Materiales y métodos

Los árboles fueron muestreados entre las coordenadas 100°01’10.15” y 100°05’16.57’’ de longitud oeste y 24°40’27.63” a 24°47’11.24” de latitud norte. El área se ubica al noreste de México, provincia Sierra Madre Oriental, Subprovincia Gran Sierra Plegada. El clima se describe como árido, semiárido con lluvias en verano y un porcentaje invernal del 5% al 10.2% del total anual. Las temperaturas se presentan ente 18°C y 22°C, con veranos frescos; la temperatura del mes más cálido es mayor a 22°C, temperatura del mes más frío se encuentra entre -3°C.

La vegetación presente en el área de estudio es de bosques de pino y encino; teniendo como elementos florístico predominante a *Pinus arizonica* con individuos aislados de *Yuca filifera.* Se realizó un muestreo dendrocronológico con arbolado vivo y muerto dentro de un área con una alta presencia de arbolado muerto utilizando una barrena de Pressler para obtener los crecimientos anuales. Las muestras fueron datadas de acuerdo a técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes & Smiley, 1996), medidas al 0.001 mm de precisión utilizando el programa MeasuratneJ2X. La calidad del datado de las series de crecimiento de anillos del *P. arizonica* fue realizada utilizando el programa COFECHA.

Para la identificación de estos eventos (años) se utilizó el método de cambio relativo del crecimiento (relative growth change, RGC), implementado en el paquete pointRes de R. Este método compara el crecimiento registrado en un año determinado con el crecimiento promedio de un número definido de años precedentes y permite establecer umbrales para identificar eventos positivos y negativos. Posteriormente, la proporción de árboles que presentan una respuesta determinada permite identificar años señal a escala del sitio (Van der Maaten-Theunissen & van der Maaten, 2016).

La detección de eventos de crecimiento se realizó mediante la función pointer.rgc del paquete pointRes, basada en el método de cambio relativo del crecimiento. Esta metodología compara el crecimiento de un año determinado con el crecimiento promedio de un número establecido de años anteriores. En el presente análisis se utilizó una ventana de cinco años previos (nb.yrs = 5). Para identificar eventos negativos se estableció un umbral de 30 % de reducción del crecimiento (rgc.thresh.neg = 30). Asimismo, para identificar eventos positivos se utilizó un umbral de 30 % de incremento (rgc.thresh.pos = 30). Para determinar la ocurrencia de eventos sincronizados entre los individuos se estableció un umbral de 50 % de las series (series.thresh = 50). En consecuencia, un año fue considerado como evento generalizado cuando al menos la mitad de las series presentó simultáneamente una reducción o incremento que cumpliera con el umbral establecido.

Resultados y discusión

Los eventos de reducción del crecimiento identificados mediante el método de cambio relativo del crecimiento representan respuestas de los individuos ante condiciones ambientales restrictivas, y cuando una proporción relevante de los árboles responde simultáneamente, el año adquiere la categoría de año señal (Vieira et al., 2021). Los umbrales empleados en este estudio reducción de al menos 30 % respecto al promedio de los cinco años previos en un mínimo de 50 % de las series resultan más flexibles que los criterios clásicos de otras investigaciones, que exigen reducciones de 40 % o más en al menos 75 % de las series (Rubio-Cuadrado et al., 2018) esta flexibilidad permite capturar eventos moderados pero extendidos dentro del rodal, apropiada en bosques con alta heterogeneidad topográfica y microclimática.

La sincronía observada entre los individuos destaca, ya que la sincronización del crecimiento tiende a incrementarse cuando el clima se vuelve más restrictivo, de modo que el estrés hídrico actúa como un forzamiento que homogeniza la variabilidad interanual del crecimiento (Andreu-Hayles et al., 2007). Se asume que, por el área de estudio, de clima árido-semiárido con lluvias de verano, el agua constituye el principal factor que limita el crecimiento radial de las coníferas en el norte de México (Gutiérrez-García & Ricker, 2019), y los años señal negativos corresponden, como es típico, a anillos excepcionalmente estrechos asociados a eventos climáticos extremos como sequías o heladas (Gazol et al., 2019).

La respuesta del crecimiento a la disponibilidad de agua documentada para *Pinus arizonica* respalda esta interpretación. En el noroeste del país, el crecimiento radial de la especie correlaciona negativamente con la temperatura de enero–julio (r = −0.75) (Martínez-Sifuentes et al., 2020), mientras que en el occidente de Chihuahua la precipitación de noviembre a mayo —que representa 20 % de la precipitación anual— influye positivamente en el crecimiento y la temperatura máxima inverno-primaveral lo afecta negativamente (Miranda-Briones, 2021).

Los años señal negativos más notables identificados en las Figuras 1 y 2 —1928 y 1932; 1940, 1941 y 1943; 1953, 1957, 1960, 1962 y 1963; 1972 y 1974; 1982, 1986 y 1989; 1996, 1998, 1999 y 2000; y 2008, 2009, 2011, 2017, 2019 y 2020— se agrupan en periodos de recurrencia que coinciden con episodios de sequía documentados en la región, como los registrados a mediados del siglo XX, a finales de los años noventa e inicios de los dos mil (Arreola-Ortiz & Návar-Cháidez, 2010) y la sequía severa del norte del país durante la década de 2010.

Esta coincidencia apoya la interpretación climática de los eventos, pues las reducciones sincrónicas responden, con alta probabilidad, a episodios de escasez de precipitación inverno-primaveral y temperaturas elevadas, condiciones que caracterizan a las especies de sitios xéricos, particularmente sensibles a la severidad de la sequía (Pompa-García et al., 2017b); en tanto que los años con incrementos sincrónicos (>30 %) probablemente corresponden a años con precipitación inverno-primaveral abundante asociados a condiciones húmedas de gran escala. Esta sensibilidad adquiere particular relevancia ecológica en un rodal con alta proporción de arbolado muerto, ya que las reducciones pronunciadas y repetidas del crecimiento pueden preceder a la mortalidad: el estrés hídrico prolongado conduce a fallas hidráulicas y al agotamiento de las reservas de carbono, incrementando la susceptibilidad a plagas como los descortezadores (Breshears et al., 2008; McDowell et al., 2008).

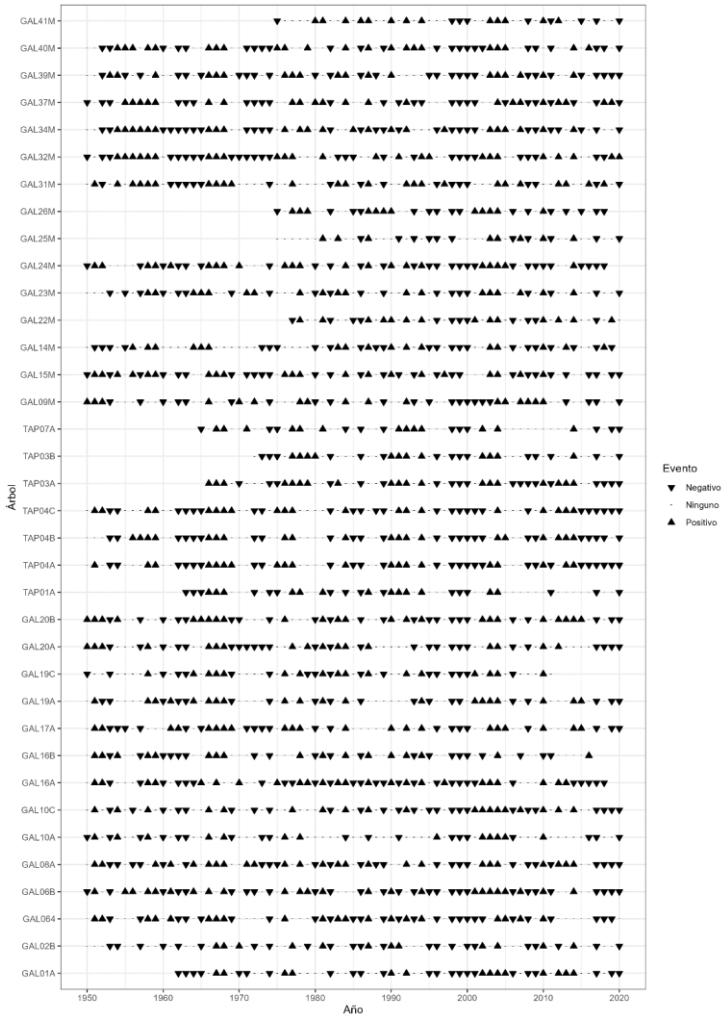


Figura 1. Años con reducción de crecimiento. Muestra los eventos de reducción (triángulos hacia abajo) y aumentos de crecimiento (triángulos hacia arriba) para cada individuo.

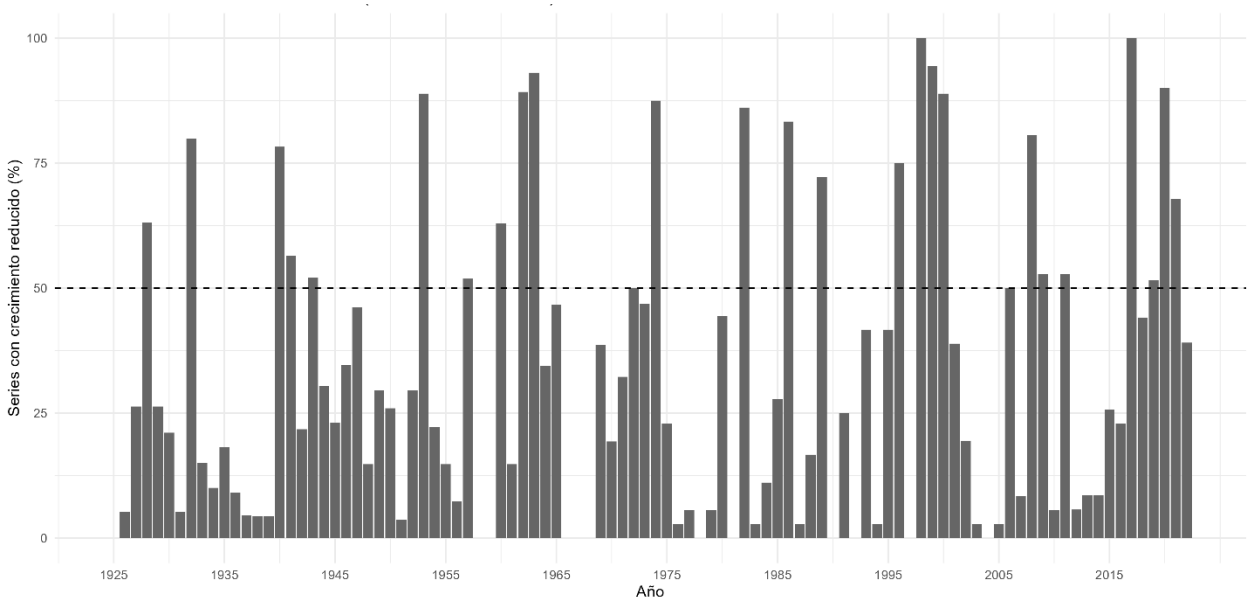


Figura 2. Años con reducción de crecimiento.

Conclusiones

El análisis de años señal constituye una herramienta valiosa para la identificación de años de estrés extremo y la evaluación de la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales, y la estimación de índices de resiliencia con las mismas series permitiría cuantificar la capacidad de recuperación del rodal tras los eventos identificados, futuros estudios deberían contrastar los años señal con índices climáticos locales y con la dinámica temporal de la mortalidad para establecer el vínculo directo entre las reducciones sincronizadas del crecimiento y la persistencia de *P. arizonica* en el noreste de México.

Referencias

Andreu, L., Gutiérrez, E., Macías, M., Ribas, M., Bosch, O. &Camarero, J.J. (2007), Climate increases regional tree-growth variability in Iberian pine forests. *Global Change Biology*, *13*: 804-815. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01322.x

Arreola-Ortiz, M. R., & Návar-Cháidez, J.J. (2010). Análisis de sequías y productividad con cronologías de *Pseudotsuga menziesii* Rob. & Fern., y su asociación con El Niño en el nordeste de México. *Investigaciones geográficas*, (*71*), 7-20. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188461120100001000002&lng=es&tlng=es.

Breshears, D.D., Myers, O.B., Meyer, C.W., Barnes, F.J., Zou, C.B., Allen, C.D., McDowell, N.G. & Pockman, W.T. (2009), Tree die-off in response to global change-type drought: mortality insights from a decade of plant water potential measurements. *Frontiers in Ecology and the Environment, 7*: 185-189. https://doi.org/10.1890/080016

Gazol, A., Camarero, J. J., Colangelo, M., de Luis, M., Martinez del Castillo, E., Serra-Maluquer, X. (2019) Summer drought and spring frost, but not their interaction, constrain European beech and Silver fir growth in their southern distribution limits, *Agricultural and Forest Meteorology, 278*. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107695.

Gutiérrez-García, G., & Ricker, M. (2019). Influencia del clima en el crecimiento radial en cuatro especies de coníferas en la sierra de San Antonio Peña Nevada (Nuevo León, México). *Revista Mexicana de Biodiversidad, 90*. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2676

Jetschke, G., van der Maaten, E., & van der Maaten-Theunissen, M. (2019). Towards the extremes: A critical analysis of pointer year detection methods. *Dendrochronologia, 53*, 55–62. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.11.004

Rubio-Cuadrado, A., Bravo-Oviedo, A., Mutke, S. & Rio, M. (2018). Climate effects on growth differ according to height and diameter along the stem in *Pinus pinaster* Ait. iForest - Biogeosciences and Forestry. 11. 237-242. 10.3832/ifor2318-011.

Stokes, M. A., &; Smiley, T. I. (1996). An introduction to tree-ring dating. (2 nd). University of Arizona Press.

Martínez-Sifuentes, A., Villanueva-Díaz, J. & Avalos, Juan. (2020). Runoff reconstruction and climatic influence with tree rings, in the Mayo river basin, Sonora, Mexico. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 13. 98-106. 10.3832/ifor3190-013.

Miranda-Briones, R. (2021). Reconstrucción de la variabilidad climática para el oeste de Chihuahua, México, empleando un enfoque dendrocronológico. Universitat Politècnica de Catalunya. https://doi.org/https://dx.doi.org/10.5821/dissertation-2117-361631

McDowell, N., Pockman, W.T., Allen, C.D., Breshears, D.D., Cobb, N., Kolb, T., Plaut, J., Sperry, J., West, A., Williams, D.G. & Yepez, E.A. (2008), Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist*, *178*: 719-739. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02436.x

Pompa-García, M., González-Cásares, M., Acosta-Hernández, A. C., Camarero, J. J., & Rodríguez-Catón, M. (2017a). Drought Influence over Radial Growth of Mexican Conifers Inhabiting Mesic and Xeric Sites. *Forests*, *8*(5), 175. https://doi.org/10.3390/f8050175

Pompa-García, M., Sánchez-Salguero, R., & Camarero, J. J. (2017b). Observed and projected impacts of climate on radial growth of three endangered conifers in northern Mexico indicate high vulnerability of drought-sensitive species from mesic habitats. *Dendrochronologia, 45*, 145–155. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.08.006

Vieira J, Nabais C and Campelo F (2021) Extreme Growth Increments Reveal Local and Regional Climatic Signals in Two Pinus pinaster Populations. Front. Plant Sci. 12:658777. doi: 10.3389/fpls.2021.658777

Van der Maaten-Theunissen, M., & amp; Van der Maaten, E. (2016). pointRes: Analyzing pointer years and components of resilience [Paquete de R]. Comprehensive R Archive Network. https://cran.r-project.org/package=pointRes

VARIABILIDAD SENSORIAL DEL PROPÓLEO DE LA COMARCA LAGUNERA, MÉXICO

Perla Susana Martínez-Rojas[1], Rafael García-Vázquez[1], Blanca Isabel Sánchez-Toledano[2], Marco Andrés López-Santiago[1*], Ramón Trucíos-Caciano[3], Julián Cerano-Paredes[3], Miguel Ángel Mata-Espinosa[1], Lorenzo Danilo Granados-Rivera[4]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA), Universidad Autónoma Chapingo (UACh), Bermejillo, Durango, México. [2]Campo Experimental Zacatecas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Calera, Zacatecas, México. [3]Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA), INIFAP, Gómez Palacio, Durango, México. [4]Campo Experimental Terán, INIFAP, General Terán, Nuevo León, México. * Autor de correspondencia: marcoandres@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

El propóleo es una sustancia resinosa natural elaborada por las abejas a partir de exudados vegetales, ceras y secreciones, reconocida por sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias y otras actividades biológicas. Estas características han favorecido su incorporación en productos alimentarios, nutracéuticos, farmacéuticos y cosméticos. Sin embargo, su aprovechamiento comercial no depende únicamente de su composición o actividad biológica: atributos como color, aroma, sabor y consistencia influyen en la percepción de calidad y pueden condicionar su aceptación cuando se utiliza como materia prima o ingrediente funcional (Sauri-Duch et al., 2021; Sarapa et al., 2025).

En México, la investigación sobre propóleo se ha concentrado principalmente en su composición química, actividad biológica y relación con el origen geográfico. En contraste, la caracterización sensorial del propóleo en estado natural continúa poco explorada. Esta brecha es relevante porque la variabilidad botánica, climática y geográfica modifica las resinas recolectadas por las abejas y, potencialmente, las propiedades organolépticas del producto. Una caracterización sensorial sistemática puede aportar criterios iniciales para reconocer perfiles diferenciados, orientar procesos de estandarización y apoyar el desarrollo de productos derivados.

La Comarca Lagunera, ubicada en los estados de Durango y Coahuila, posee una actividad apícola estrechamente vinculada con áreas agrícolas y vegetación de matorral desértico micrófilo. El mezquite (*Prosopis* spp.) constituye una de las especies silvestres de mayor relevancia para las abejas, mientras que cultivos y vegetación secundaria complementan los recursos florales a lo largo del año. Aunque la miel regional tiene importancia económica, existe poca información sobre las características sensoriales del propóleo producido en esta zona (Reyes-Carrillo et al., 2014; Sánchez et al., 2025).

Por lo anterior, el objetivo del estudio fue determinar las diferencias sensoriales entre muestras de propóleo recolectadas en la Comarca Lagunera e identificar los atributos mejor valorados por un panel sensorial entrenado, mediante la integración de técnicas descriptivas, no paramétricas y multivariadas.

Materiales y métodos

Se recolectaron diez muestras de propóleo procedentes de diferentes localidades de la Comarca Lagunera, siguiendo las especificaciones de la NOM-003-SAG/GAN-2017. Se utilizaron mallas plásticas recolectoras para reducir la contaminación del material. Las muestras se codificaron de acuerdo con su origen y número de cosecha: BER1 (Bermejillo), ECM1 y ECM3 (El Coyote, Matamoros), MAT1 y MAT3 (Matamoros), SB1, SB2 y SB3 (Simón Bolívar), TLA1 (Tlahualilo) y TOR3 (Torreón).

Los apiarios estuvieron separados al menos 3 km y se monitorearon entre tres y cinco colmenas por apiario. De acuerdo con la dinámica floral regional, las muestras correspondieron a tres periodos operativos: cosecha 1, asociada con mezquite/primavera; cosecha 2, multiflora/verano; y cosecha 3, multiflora/otoño-invierno.

Después de la recolección se retiraron manualmente impurezas visibles y las muestras se conservaron a -20 °C. Para la evaluación de aroma y sabor se prepararon extractos etanólicos al 10 % (p/v), mediante maceración de 10 g de propóleo congelado en 100 mL de etanol al 70 % durante siete días, a 20-22 °C y en oscuridad; posteriormente se filtraron con papel Whatman No. 1. Todas las muestras se procesaron bajo el mismo protocolo.

La evaluación se realizó en el Laboratorio de Análisis Sensorial del Campo Experimental Zacatecas del INIFAP. Participaron 24 panelistas de 18 a 55 años con experiencia previa en evaluación sensorial de productos apícolas y 120 h de entrenamiento específico. Se evaluaron color, aroma, sabor, consistencia y aceptación general. Para la caracterización descriptiva se utilizó una escala categórica específica por atributo: intensidad y notas del aroma, tipos de sabor y consistencia. Complementariamente, se aplicó una escala hedónica tipo Likert de nueve puntos, desde 1 = “me disgusta extremadamente” hasta 9 = “me gusta extremadamente”. Las diez muestras se presentaron de forma monádica, codificadas con números aleatorios de tres dígitos y distribuidas mediante un diseño de bloques completo y balanceado.

El desempeño del panel se validó mediante análisis de varianza; no se detectaron diferencias entre panelistas ($p = 0.1216$) ni interacción panelista × muestra ($p = 0.9217$), lo que indicó homogeneidad y reproducibilidad de las evaluaciones. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva, correlación de Spearman, análisis de conglomerados jerárquicos con método de Ward y distancia euclidiana cuadrada, análisis de componentes principales (ACP) y prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. La adecuación del ACP se verificó con el índice Kaiser-Meyer-Olkin y la prueba de esfericidad de Bartlett. Se consideró significancia estadística con $p \leq 0.05$.

Resultados y discusión

La caracterización descriptiva evidenció variabilidad entre las muestras. En color se identificaron principalmente tonalidades ámbar, oscuras y café rojizas; no obstante, la dispersión de las descripciones individuales impidió establecer un consenso cromático robusto, lo que señala la conveniencia de incorporar colorimetría instrumental en estudios posteriores. En aroma, BER1, SB2 y TLA1 fueron percibidas con intensidades de medias a fuertes, mientras que ECM3, ECM1 y MAT1 presentaron aromas más suaves. También se distinguieron notas resinosas asociadas con madera y notas balsámicas relacionadas con cera.

El sabor amargo fue la nota predominante, seguido del carácter insípido. SB2 y SB1 presentaron alta percepción de amargor, mientras que MAT1 y ECM3 tendieron hacia perfiles neutros o insípidos. En consistencia, TOR3 y BER1 fueron descritas con mayor frecuencia como gomosas, mientras que SB1 y TLA1 se percibieron como maleables. En conjunto, estos resultados concuerdan con la literatura que describe al propóleo como un producto de aroma intenso, tonalidades oscuras o rojizas y sabores frecuentemente amargos, características que pueden limitar su incorporación directa en alimentos cuando no se controla su intensidad (Buitrago et al., 2024; Achenbach et al., 2024; Habryka et al., 2020).

Las correlaciones de Spearman mostraron que la aceptación general presentó una asociación positiva pero débil con el sabor ($r = 0.162$; $p = 0.012$), por lo que el sabor por sí solo no explicó la aceptación global. Entre atributos específicos se observaron asociaciones más marcadas: color-consistencia ($r = 0.589$), color-sabor ($r = 0.460$), color-aroma ($r = 0.378$), sabor-aroma ($r = 0.578$) y, especialmente, sabor-consistencia ($r = 0.629$). Estos resultados indican que la percepción del propóleo es multidimensional y que la experiencia sensorial surge de la interacción entre señales visuales, olfativas, gustativas y de textura.

El análisis de conglomerados separó las diez muestras en tres grupos. El conglomerado 1 incluyó MAT1, MAT3, TOR3, ECM3 y ECM1, y registró valores superiores a la media general en la mayoría de los atributos, destacando color (5.64), consistencia (5.55) y aceptación general (5.34). El conglomerado 2, integrado por BER1, SB1 y TLA1, presentó las mayores puntuaciones de aroma (6.10) y sabor (5.26), aunque una valoración relativamente menor de color (4.85). El conglomerado 3, formado por SB2 y SB3, obtuvo las puntuaciones más bajas en todos los atributos, particularmente en aceptación general (4.60), color (4.48) y sabor (4.17).

El ACP confirmó la estructura multivariada de los datos. El índice KMO fue 0.643 y la prueba de Bartlett resultó significativa ($p = 0.008$). Se extrajeron dos componentes con autovalores mayores a 1 que explicaron conjuntamente 86.2 % de la varianza: el componente 1 explicó 58.7 % y estuvo definido principalmente por consistencia, aceptación general y color; el componente 2 explicó 27.4 % y se orientó hacia aroma y sabor. La distribución de las muestras fue consistente con el análisis de conglomerados: MAT1, MAT3 y ECM1 se asociaron principalmente con el primer componente, mientras que SB1 y TLA1 se vincularon con el segundo por sus puntuaciones elevadas en aroma y sabor.

La prueba de Kruskal-Wallis confirmó diferencias significativas entre muestras para aroma ($p = 0.010$) y sabor ($p = 0.041$), mientras que aceptación general ($p = 0.481$), color ($p = 0.058$) y consistencia ($p = 0.479$) no mostraron diferencias significativas. En las comparaciones posteriores, TLA1 y SB1 registraron las posiciones medias más altas para aroma; para sabor destacaron TLA1, ECM1 y SB1. En contraste, SB3 y SB2 presentaron las puntuaciones más bajas. Por tanto, aroma y sabor fueron los atributos con mayor capacidad para discriminar sensorialmente las muestras estudiadas.

Cuadro 1. Prueba de Kruskal-Wallis para los atributos sensoriales. * $p \leq 0.05$.

Atributo	χ^2	gl	Valor p
Aceptación general	8.541	9	0.481
Color	16.457	9	0.058
Aroma	21.702	9	0.010*
Sabor	17.498	9	0.041*
Consistencia	8.560	9	0.479

La variación encontrada es compatible con la influencia potencial del origen botánico, las condiciones ambientales y el periodo de cosecha sobre las características del propóleo. Sin embargo, el estudio no incluyó análisis químicos ni melisopalinológicos, por lo que no es posible atribuir de manera concluyente los perfiles sensoriales a una fuente vegetal o zona geográfica específica. La clasificación obtenida debe entenderse como una diferenciación basada estrictamente en percepción sensorial y como un punto de partida para investigaciones que integren composición química, origen botánico y preferencias de consumidores.

Desde una perspectiva aplicada, la identificación de perfiles sensoriales diferenciados puede apoyar la selección de materias primas y el diseño de formulaciones con propóleo. La intensidad aromática y el amargor son particularmente relevantes porque pueden constituir ventajas de identidad sensorial o, en concentraciones elevadas, limitar la palatabilidad. Por ello, la estandarización de protocolos sensoriales y su integración con análisis instrumentales puede contribuir al control de calidad y a una mejor valorización comercial del propóleo regional.

Conclusiones

El propóleo de la Comarca Lagunera presentó variabilidad sensorial, caracterizada principalmente por sabor amargo y aroma intenso. Aroma y sabor fueron los únicos atributos con diferencias estadísticamente significativas entre las muestras y, en el análisis multivariado, contribuyeron de manera importante a la diferenciación de los perfiles. TLA1 y SB1 destacaron por sus valoraciones de aroma y sabor, mientras que SB2 y SB3 mostraron menores puntuaciones en el conjunto de atributos evaluados. Los tres conglomerados identificados y la estructura obtenida mediante ACP demuestran la utilidad de combinar métodos sensoriales y estadísticos multivariados para clasificar propóleos regionales.

Los resultados constituyen una base para documentar sensorialmente el propóleo de la Comarca Lagunera y orientar estrategias de estandarización y desarrollo de productos. No obstante, la evidencia sensorial por sí sola no permite establecer una indicación geográfica ni una diferenciación regional concluyente. Se requieren estudios multidisciplinarios que integren caracterización química y botánica con evaluación sensorial para explicar el origen de los atributos observados y sustentar científicamente su diferenciación y valor funcional.

Referencias

Achenbach, J., Deyerling, N., Dos Santos, M. M., Sultana, S., Islam, M. K., & Locher, C. (2024). Physicochemical properties, antioxidant activity, and high-performance thin-layer chromatography profiling of propolis samples from Western Australia. Plants, 13, 1919.

Buitrago, D. M., Perdomo, S. J., Silva, F. A., Cely-Veloza, W., & Lafaurie, G. I. (2024). Physicochemical characterization, antioxidant, and proliferative activity of Colombian propolis extracts: A comparative study. Molecules, 29, 1643.

Diario Oficial de la Federación. (2017). Norma Oficial Mexicana NOM-003-SAG/GAN-2017, propóleos, producción y especificaciones para su procesamiento.

Habryka, C., Socha, R., & Juszczak, L. (2020). The effect of enriching honey with propolis on the antioxidant activity, sensory characteristics, and quality parameters. Molecules, 25, 1176.

Reyes-Carrillo, J. L., Galarza-Mendoza, J. L., Muñoz-Soto, R., & Moreno-Reséndez, A. (2014). Diagnóstico territorial y espacial de la apicultura en los sistemas agroecológicos de la Comarca Lagunera. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5, 215-228.

Sánchez, B. I., Pérez, E., Maldonado, J. A., Franco, I., Alcalá, K. I., & Pastor-López, F. J. (2025). Evaluación sensorial de miel de abeja cosechada en la Comarca Lagunera. Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA, 17, e1082.

Sarapa, A., Peter, A., Buettner, A., & Loos, H. M. (2025). Organoleptic and chemical properties of propolis: A review. European Food Research and Technology, 251, 1331-1352.

Sauri-Duch, E., Gutiérrez-Canul, C., Cuevas-Glory, L. F., Ramón-Canul, L., Pérez-Pacheco, E., & Moo-Huchin, V. M. (2021). Determination of quality characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of propolis from southeastern Mexico. Journal of Apicultural Science, 65, 109-122

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE (*Coffea arabica* L.) EN MÉXICO

Aldo Rafael Martínez-Sifuentes[1]*, Gerardo Esquivel-Arriaga[1], Ignacio Sánchez-Cohen[1], Gerardo Delgado-Ramírez[1], Mariana de Jesús Marcial-Pablo[1], Erika Nava-Reyna[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera, Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango. *Autor para correspondencia: martinez.aldo@inifap.gob.mx

Introducción

La modelización de nichos ecológicos y de distribución de especies constituye una herramienta ampliamente utilizada para analizar las relaciones entre la presencia de una especie y las condiciones ambientales que determinan su distribución potencial. Estos modelos permiten integrar registros georreferenciados de presencia con variables ambientales, principalmente climáticas, para identificar áreas que presentan condiciones favorables para el establecimiento y desarrollo de las especies. Entre los diferentes algoritmos disponibles, el método de Máxima Entropía (MaxEnt) ha sido ampliamente empleado debido a su capacidad para trabajar con datos de presencia y variables ambientales continuas y categóricas (Elith et al., 2011). *Coffea arabica* L., conocida comúnmente como café arábica, es una especie de gran importancia económica y social, cuyo desarrollo, productividad y calidad están estrechamente relacionados con las condiciones ambientales.

Particularmente, la temperatura y la precipitación constituyen factores determinantes de su aptitud climática, por lo que las modificaciones en estas variables pueden producir cambios importantes en la distribución de las regiones adecuadas para su cultivo. Diversos estudios han señalado que C. arabica presenta una elevada sensibilidad a las modificaciones del clima y que el aumento de la temperatura y los cambios en los patrones de precipitación pueden reducir la aptitud de algunas de las actuales regiones productoras (Bunn et al., 2015). Estudios realizados en regiones productoras del país han identificado posibles modificaciones en la distribución potencial de C. arabica como consecuencia del incremento de la temperatura y las alteraciones en la precipitación. En este contexto, la identificación de las variables ambientales que determinan la distribución de *C. arabica* y la delimitación de las áreas que presentan mayor aptitud ambiental constituyen elementos importantes para orientar estrategias de manejo, adaptación y planificación territorial de la producción cafetalera. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue estimar la distribución potencial de *Coffea arabica* bajo condiciones climáticas actuales mediante el algoritmo de Máxima Entropía.

Materiales y métodos

El presente estudio se desarrolló en las entidades donde se ha registrado presencia de la especie, de acuerdo a sus características biológicas y de dispersión. Estos estados fueron Campeche, Chiapas, Ciudad de México, Colima, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán, zona que representa el área de modelado (M), de acuerdo al diagrama BAM. Se descargaron 916 registros de *C. arabica* del portal del Fondo Mundial de Información sobre la Biodiversidad. Para evitar el efecto de autocorrelación espacial se depuró la base de datos para eliminar datos duplicados y presencias de más de un registro por kilómetro cuadrado mediante el programa QGIS versión 3.44. Se descargaron 19 capas bioclimáticas de la plataforma WorldClim versión 2.0, las cuales, representan el promedio del clima de 1970 a 2000 con una resolución espacial de 30'' x 30'', así como variables edafológicas con resolución espacial de 250 m de limo, arena, arcilla, capacidad de intercambio catiónico, profundidad al lecho rocoso, volumen de fragmentos, densidad aparente, contenido de carbón orgánico y pH, de la plataforma SoilGrids.

La elevación se obtuvo del modelo digital de elevación del Continuo de Elevaciones Mexicano a una resolución de 90 m^2. La selección de variables se desarrolló con los límites del área M y 10 000 puntos de fondo de la información climática, edafológica y topográfica. Para evitar la multicolinealidad, se seleccionaron las variables con correlación ≥ -0.7 y ≤ 0.7 ($p < 0.05$). La distribución potencial de *C. arabica*, se llevó a cabo con el programa MaxEnt versión 3.3.3 (Phillips et al., 2006). Se generaron 1 000 iteraciones con replicación interna por validación cruzada un límite de convergencia de 0.0001 y se desactivaron las opciones de "clamping" y "extrapolate", con la finalidad de evitar extrapolación en valores extremos en las variables. Se emplearon 75% de los registros de presencia para entrenar el modelo, y el resto (25%),

Resultados y discusión

Los modelos de distribución potencial basados en el clima actual arrojaron valores de área bajo la curva (AUC) que oscilaron entre 0.936 y 0.939 en el entrenamiento, y entre 0.916 y 0.935 en la fase de validación. El modelo con mejor desempeño presentó un valor de curva característica operativa del receptor (ROC) parcial de 1.86, con AUC de 0.936 en entrenamiento y 0.935 en validación. Además, todos los modelos generados obtuvieron un estadístico de habilidad real (TSS) superior a 0.80. La superficie estimada de distribución de *C. arabica* en México fue de 103,513.30 km² (Figura 1).



Figura 1. Distribución potencial de *C. arabica* en México.

Los resultados de modelos de distribución potencial basados en condiciones climáticas actuales para *C. arabica* en México evidenciaron un desempeño sólido durante la etapa de entrenamiento, y validación. Estos resultados indican una elevada capacidad predictiva y solidez del modelo, en línea con investigaciones anteriores que consideran valores de AUC superiores a 0.80 como indicativos de una excelente capacidad para diferenciar entre zonas adecuadas e inadecuadas para la especie. Asimismo, los elevados valores de TSS (>0.80) respaldan aún más la confiabilidad del modelo, ya que esta métrica es ampliamente valorada por su efectividad para evaluar la precisión de las predicciones de presencia y ausencia, sin verse afectada por la prevalencia (Allouche et al., 2006).

El modelo con mayor precisión alcanzó un valor de ROC parcial de 1.86, lo que representa una capacidad discriminativa destacada (Swets, 1988). Este resultado resalta la importancia de considerar tanto variables climáticas como edáficas para lograr predicciones más precisas en la distribución de especies. Además, el hecho de que todos los modelos obtuvieran un TSS superior a 0.80 respalda la idea de que incorporar múltiples variables ambientales, tales como la temperatura, la precipitación y las propiedades del suelo, que contribuyen significativamente a mejorar la exactitud de los modelos de nicho ecológico (Guisan et al., 2007).

A partir del modelo seleccionado se estimó una superficie de distribución potencial de *C. arabica* de 103,513.30 km² en México. Esta superficie debe interpretarse como el territorio que presenta condiciones climáticas compatibles con las utilizadas para caracterizar el nicho de la especie y no necesariamente como el área actualmente cultivada o efectivamente ocupada por el café. La distribución real de *C. arabica* depende también de factores que pueden no estar incorporados en el modelo, como las características como el manejo agronómico, la disponibilidad de agua, la cobertura vegetal, los sistemas de producción bajo sombra, las plagas y enfermedades y las decisiones socioeconómicas de los productores.

Conclusiones

Los modelos de distribución potencial de *Coffea arabica* mostraron un alto desempeño predictivo, respaldado por valores elevados de AUC, ROC parcial y TSS. Bajo las condiciones climáticas actuales, se estimó una superficie potencialmente adecuada de 103,513.30 km² en México, lo que evidencia la existencia de áreas con condiciones climáticas favorables para la especie. Estos resultados proporcionan una línea base sólida para evaluar cambios futuros en la idoneidad climática del cultivo ante diferentes escenarios de cambio climático y apoyar la identificación de zonas potencialmente vulnerables o persistentes.

Referencias

Allouche, O., Tsoar, A., y Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic. Journal of Applied Ecology, 43(6), 1223-1232.

Bunn, C., Läderach, P., Ovalle Rivera, O., & Kirschke, D. (2015). A bitter cup: Climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. Climatic Change, 129, 89–101. https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x

Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and Distributions, 17(1), 43–57. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x

Guisan, A., et al. (2007). What species distributions tell us about climate change. Ecology Letters, 10(9), 841-850.

Meyer, W. B., et al. (2016). The impact of climate change on arid ecosystems: What we know and what we need to know. Journal of Arid Environments, 135, 26-34.

Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 240(4857), 1285-1293.

REDES NEURONALES ARTIFICIALES COMO HERRAMIENTA PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN REGIONES CON MONITOREO METEOROLÓGICO LIMITADO

Aldo Rafael Martínez-Sifuentes[1*], Nuria Aide López-Hernández[1], Eva Aurora Bautista-Calderon[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera, Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango. *Autor para correspondencia: martinez.aldo@inifap.gob.mx

Introducción

La combinación de evaporación y transpiración al mismo tiempo da origen al concepto de evapotranspiración (ET). Tanto la ET como la transpiración están influenciadas por variables meteorológicas, características de los cultivos y factores ecológicos. La ET representa la pérdida de agua hacia la atmósfera debido a la suma de la evaporación y la transpiración. Este parámetro es fundamental en estudios hidrológicos y agrometeorológicos, especialmente para mejorar el uso del agua en la agricultura (Jiang y Liu, 2022).

Hay diferentes enfoques para calcular la ET, cada uno con sus ventajas y desventajas dependiendo de su aplicación específica y los datos necesarios. La ET puede ser determinada directamente mediante el uso de dispositivos como lisímetros de pesada y la covarianza de Foucault, los cuales proporcionan mediciones precisas y confiables. Sin embargo, a pesar de su precisión, estos dispositivos son difíciles de emplear en mediciones de campo a gran escala debido a su mantenimiento costoso y requerimientos de tiempo significativos.

Para abordar el desafío de la alta demanda de diversos datos meteorológicos para el modelo PM FAO-56 y la inconsistencia de los modelos empíricos simples, se han empleado varios modelos de aprendizaje automático (ML), debido a su mayor economía y facilidad de aplicación. Por lo tanto, los modelos de ML se están convirtiendo en alternativas preferidas en lugar de métodos directos o indirectos. Se ha observado una tendencia notable en la aplicación de modelos de ML para la estimación de evapotranspiración de referencia (Eto), especialmente en áreas donde los datos meteorológicos son escasos o difíciles de obtener. Por ejemplo, Zhang et al. (2022), utilizaron modelos de vecinos más cercanos (kNN), RF, ANN, light gradient boosting machine (LGBM) y temporary convolutional neural network (TCN) para modelar la Eto con datos meteorológicos limitados en el norte de China. Estos modelos de ML independientes produjeron estimaciones de Eto más precisas que los modelos empíricos.

Las redes neuronales artificiales, que se conocen como uno de los primeros enfoques ampliamente utilizados para recuperar información a partir de datos no lineales, se han aplicado ampliamente debido a su excepcional capacidad para desarrollar relaciones de entrada-salida con buena precisión y sin ninguna comprensión de los procesos físicos subyacentes. El objetivo del presente estudio fue estimar la evapotranspiración de referencia a través del algoritmo de redes neuronales de backpropagation para el norte de México.

Materiales y métodos

Se descargó la información climática diaria de temperatura máxima, mínima y media a 2 m de la superficie de la tierra, humedad relativa, velocidad del viento, radiación extraterrestre acumulada y radiación solar acumulada de la plataforma NASA POWER de 2025. Se utilizó la librería *neuralnet* en el programa RStudio, para estimar la Eto con las variables de temperatura máxima, mínima y media de NASA POWER.

El conjunto de datos se dividió inicialmente en conjuntos de entrenamiento y de prueba 70 y 30, respectivamente. Se utilizó la validación cruzada k-fold, por lo tanto, se utilizó el conjunto de entrenamiento, que luego se dividió en cinco subconjuntos. Para evaluar el desempeño del modelo se calculó el coeficiente de determinación R^2, la raíz del error cuadrático medio y el error cuadrático medio.

Se calculó la evapotranspiración de referencia con el modelo Penman-Monteith (Allen et al., 1998) de acuerdo a la ecuación 1.

$$Eto(PM) = \frac{0.408\Delta(Rn-G)+\gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma(1+0.34u_2)} \quad (1)$$

Donde: Eto es la evapotranspiración de referencia (mm día^{-1}); Rn es la radiación neta (MJ m^{-2} día-1); G es la densidad del flujo térmico del suelo (MJ m^{-2} día^{-1}), considerada como nula para estimaciones diarias; T es la temperatura del aire diaria (°C) a 2 m; u_2 es la velocidad del viendo promedio a 2 m de altura (m s^{-1}); es la presión de vapor de saturación (kPa); ea es la presión de vapor actual (kPa); (es-ea) es el déficit de presión de vapor (Δe, KPa) a temperatura T; Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C^{-1}); Ɣ es la constante psicométrica (0.0677 kPa °C^{-1}).

Resultados y discusión

Se encontró una variabilidad sincrónica entre la evapotranspiración por Penman-Monteith y estimada por Redes Neuronales Artificiales (Figura 1). La aplicación del modelo de Backpropagation de Redes Neuronales con las variables de temperatura máxima, mínima y media muestra una varianza explicada del 81%, un error cuadrático medio de 1.15 y la raíz del error cuadrático medio de 1.07 (Figura 1). La variable más importante fue la temperatura máxima, seguida por la temperatura media y finalmente la mínima (Figura 2).

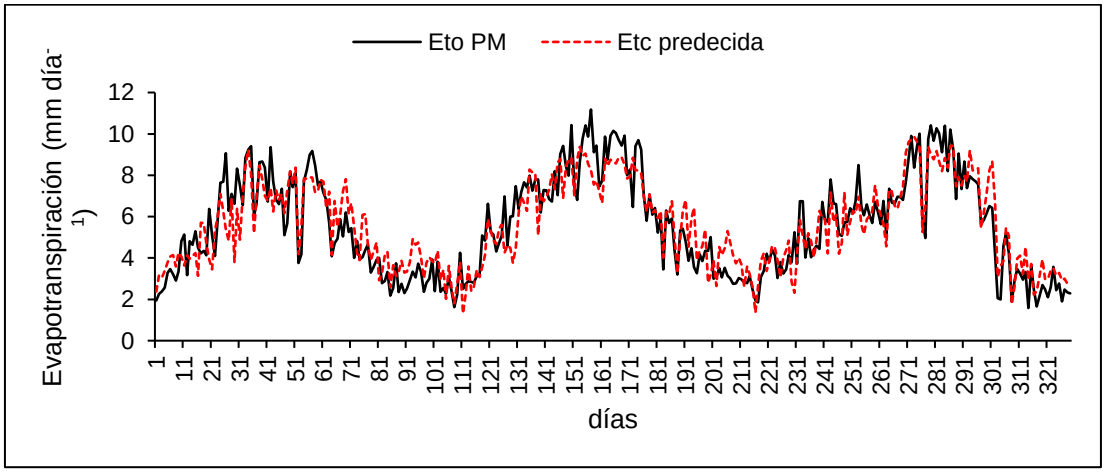


Figura 1. Evapotranspiración calculada por Penman-Monteith y Redes Neuronales.

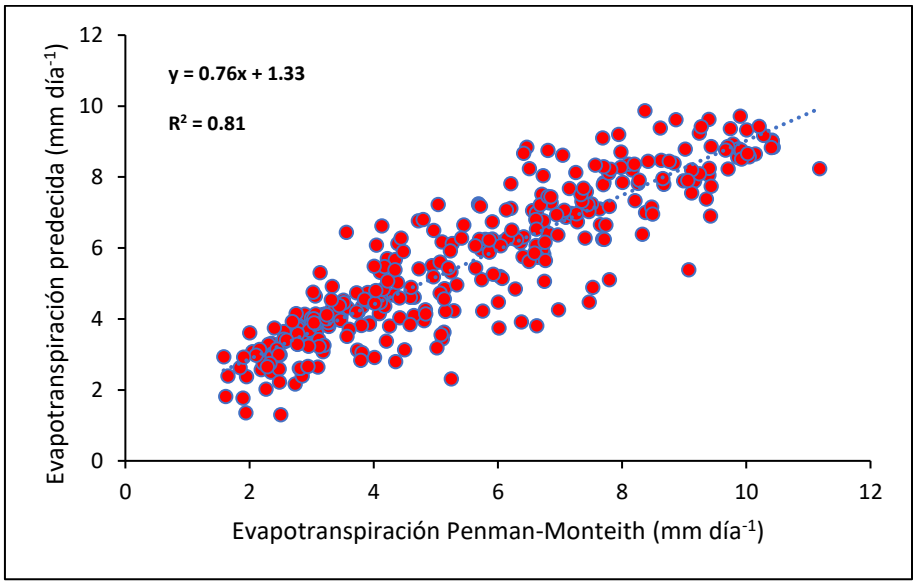


Figura 2. Dispersograma de la evapotranspiración de referencia estimada por Penman-Monteith y Redes Neuronales Artificiales

La variable más importante fue la temperatura media, seguida por la temperatura máxima y finalmente la mínima (Figura 3).

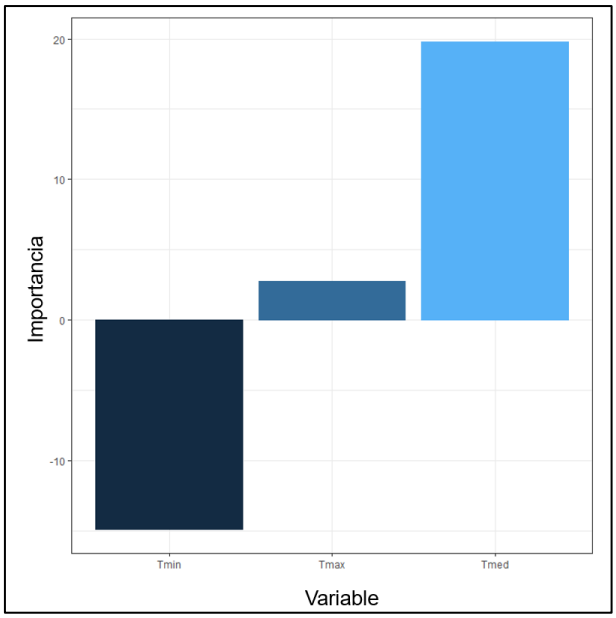


Figura 3. Importancia de las variables de temperatura máxima, mínima y media, en el algoritmo de Redes Neuronales.

Se han desarrollado métodos de Machine Learning para estimar la evapotranspiración, destacándose el uso de Redes Neuronales, que ha logrado explicar hasta un 81% de la varianza únicamente con variables de entrada de temperatura (Yong et al., 2023). Esta técnica permite calcular la pérdida de agua en áreas agrícolas utilizando únicamente las variables de temperatura máxima, mínima y media. Esto no solo mejora la precisión de la estimación, sino que también ofrece flexibilidad, adaptabilidad, automatización y escalabilidad en el análisis (Chia et al., 2020).

Conclusiones

Este estudio se centró en encontrar un método alternativo y efectivo para estimar la evapotranspiración de referencia en una región del norte de México utilizando la técnica de Machine Learning Redes Neuronales. Este enfoque requirió menos parámetros en comparación con el método de Penman-Monteith (FAO) y logró modelar con éxito las variables de temperatura máxima, mínima y media, obteniendo resultados superiores al 80%.

Referencias

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Chia, M. Y., Huang, Y. F., Koo, C. H., & Fung, K. F. (2020). Recent advances in evapotranspiration estimation using artificial intelligence approaches focusing on hybridization techniques—A review. *Agronomy*, 10(1), Article 101. https://doi.org/10.3390/agronomy10010101

Jiang, Y., & Liu, Z. (2022). Simulation of actual evapotranspiration and evaluation of three complementary relationships in three parallel river basins. *Water Resources Management*, 36, 5107–5126.

Yong, S. L. S., Ng, J. L., Huang, Y. F., & Ang, C. K. (2023). Estimation of reference crop evapotranspiration with three different machine learning models and limited meteorological variables. *Agronomy*, 13(4), Article 1048. https://doi.org/10.3390/agronomy13041048

Zhang, H., Meng, F., Xu, J., Liu, Z., & Meng, J. (2022). Evaluation of machine learning models for daily reference evapotranspiration modeling using limited meteorological data in Eastern Inner Mongolia, North China. *Water*, 14(18), Article 2890. https://doi.org/10.3390/w14182890

DIVERSIDAD DEL MICROBIOMA FECAL DE RUMIANTES SILVESTRES Y DOMÉSTICOS EN SIMPATRÍA EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE

Jesús Gabriel Ramírez-García[1], Lorenzo Danilo Granados-Rivera[2], Sandra Patricia Maciel-Torres[1], Pablo Arenas-Báez[1]*

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Coahuila, México. *Autor de correspondencia: parenas@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

El microbioma gastrointestinal de los rumiantes participa de manera decisiva en la degradación de polisacáridos estructurales, el aprovechamiento energético y la adaptación del hospedero a condiciones ambientales contrastantes (Henderson et al., 2015). Su estructura está determinada por factores como dieta, ambiente, manejo y características propias del hospedero (Henderson et al., 2015; Reese et al., 2021). En ecosistemas donde fauna silvestre y ganado coexisten, el uso compartido del hábitat y de recursos alimenticios puede favorecer cierta homogenización de las comunidades microbianas; sin embargo, la fisiología digestiva y la historia evolutiva de cada especie pueden conservar patrones de diferenciación (Reese et al., 2021). En el Desierto Chihuahuense existe escasa información comparativa sobre la diversidad del microbioma de rumiantes silvestres y domésticos que viven en simpatría. Por ello, el objetivo fue comparar la diversidad alfa y beta del microbioma fecal del borrego berberisco (*Ammotragus lervia*), bovinos (*Bos taurus*) y caprinos (*Capra aegagrus hircus*) que cohabitan en el Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena, Chihuahua, México.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena, Chihuahua, México, un ecosistema árido con clima BWhw, temperatura media anual de 18–22 °C y precipitación anual de 286.1–570.71 mm. En julio de 2025 se obtuvieron 15 muestras fecales: cinco de borrego berberisco, cinco de bovinos y cinco de caprinos. En el borrego berberisco las muestras procedieron de la porción distal del intestino grueso de animales sacrificados dentro del programa de control del área protegida; en bovinos se obtuvieron directamente del recto. Aproximadamente 100 g de heces por animal se conservaron a 5 °C durante el transporte.

El DNA bacteriano se extrajo con ZymoBIOMICS™ DNA MiniPrep. La región V3–V4 del gen 16S rRNA se amplificó con los iniciadores 341F y 806R y se secuenció mediante Illumina NovaSeq 6000, generando lecturas paired-end de 250 pb. Las secuencias fueron procesadas en QIIME2 (Bolyen et al., 2019) mediante DADA2 para filtrado de calidad, eliminación de quimeras y generación de variantes de secuencia de amplicón (ASV) (Callahan et al., 2016). La cobertura se evaluó mediante el índice de Good y la asignación taxonómica con Greengenes2 (McDonald et al., 2024). Tras rarefacción, la diversidad alfa se estimó mediante número de ASV, Shannon, equidad de Pielou y diversidad filogenética de Faith; las diferencias se analizaron con Kruskal–Wallis ($p < 0.05$). La diversidad beta se estimó mediante Jaccard, Bray–Curtis, UniFrac no ponderado y UniFrac ponderado; para las métricas UniFrac se siguió el enfoque filogenético descrito por Lozupone y Knight (2005). Las diferencias entre especies se evaluaron mediante PERMANOVA ($p < 0.05$) y se visualizaron mediante análisis de coordenadas principales (PCoA) con EMPeror (Vázquez-Baeza et al., 2013). El estudio no incluyó controles negativos de extracción o PCR, por lo que los resultados se interpretaron considerando esta limitación.

Resultados y discusión

La profundidad de secuenciación fue elevada y comparable entre especies. Se obtuvieron en promedio 197,532 lecturas en bovinos, 195,840.2 en caprinos y 206,016 en borrego berberisco; la cobertura de Good fue 0.999 en todas las muestras, indicando una representación amplia de la diversidad bacteriana detectada. En total se registraron 19,218 ASV, de los cuales 8,477 correspondieron a bovinos, 5,929 a caprinos y 6,040 a borrego berberisco (Cuadro 1).

Cuadro 1. Diversidad alfa del microbioma fecal de los tres rumiantes estudiados.

Especie	ASV (media)	Shannon	Pielou	Faith PD
Bovinos	2,425	9.256	0.8254	150.8
Caprinos	1,565	8.103	0.7714	98.64
Borrego berberisco	1,888	8.800	0.8091	113.7
Kruskal–Wallis (p)	0.0746	0.8710	0.7825	0.0396

Los gráficos del análisis de coordenadas principales (PCoA) muestran una separación entre las tres especies analizadas para los cuatro índices de diversidad beta, aunque con cierto solapamiento entre determinados grupos (Figura 1).

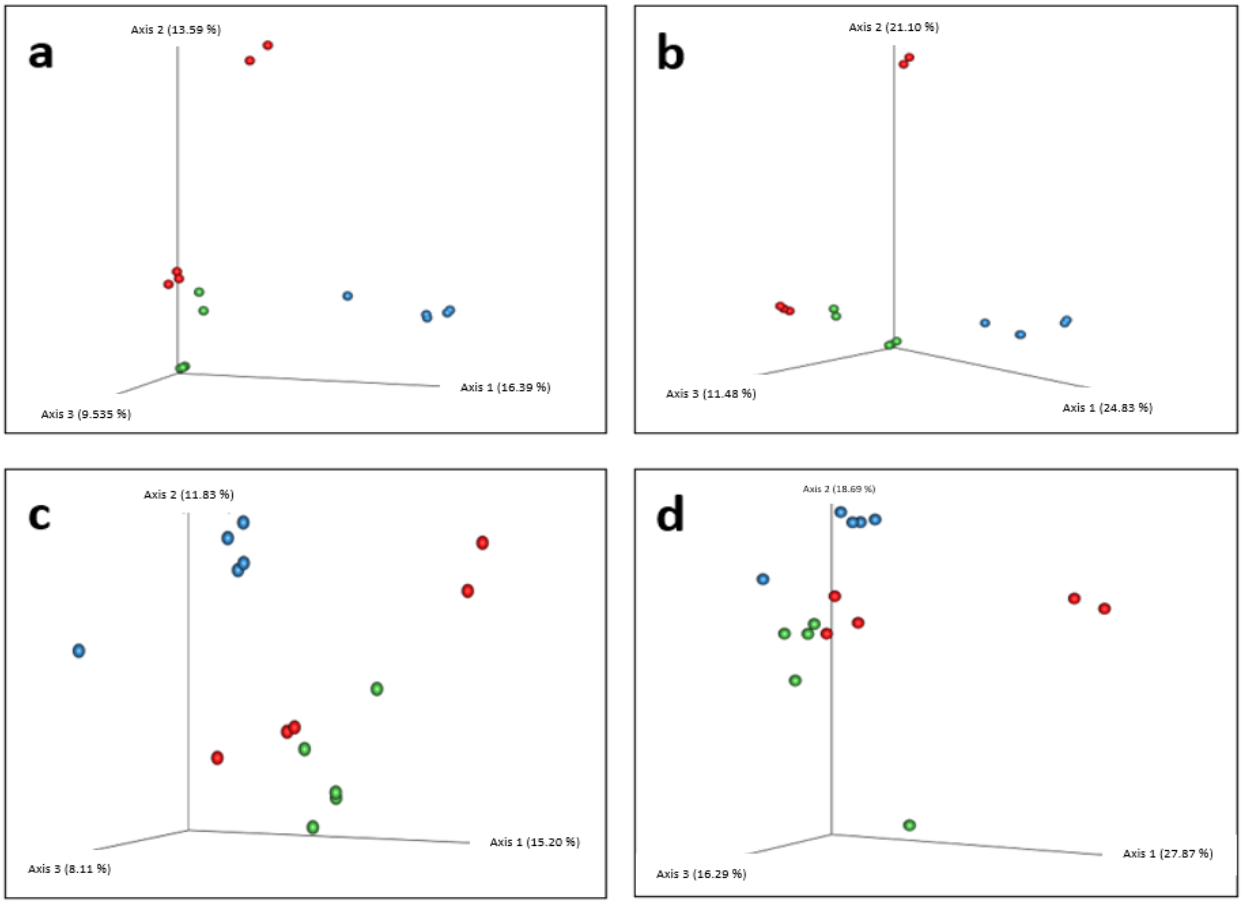


Figura 1. Gráficos de análisis de coordenadas principales (PCoA) basados en las métricas de distancia de Jaccard (a), Bray–Curtis (b), UniFrac no ponderado (c) y UniFrac ponderado (d) de la microbiota bacteriana fecal en el ganado vacuno (puntos azules), cabras (puntos rojos) y borrego berberisco (puntos verdes).

La diversidad beta mostró un patrón más marcado. Los cuatro índices detectaron diferencias entre las especies: Jaccard (pseudo-F = 2.246738; p = 0.001), Bray–Curtis (pseudo-F = 3.816899; p = 0.001), UniFrac no ponderado (pseudo-F = 1.759157; p = 0.001) y UniFrac ponderado (pseudo-F = 3.001395; p = 0.002). Los PCoA mostraron separación entre los tres hospederos, aunque con superposición parcial. En conjunto, estos resultados indican que compartir un ambiente árido no conduce a comunidades fecales indistinguibles. La coexistencia puede favorecer componentes comunes, pero la identidad del hospedero continúa estructurando la presencia, abundancia y relaciones filogenéticas de los microorganismos, en concordancia con la influencia conjunta del ambiente y del hospedero descrita en rumiantes y otros mamíferos (Henderson et al., 2015; Reese et al., 2021). Debido al tamaño de muestra de cinco individuos por especie, estos resultados deben interpretarse como evidencia comparativa del sistema estudiado y no como estimaciones poblacionales generales.

Conclusiones

Los rumiantes silvestres y domésticos que coexisten en el Cañón de Santa Elena presentaron niveles semejantes de riqueza y equidad microbiana, pero difirieron en diversidad filogenética y, de manera consistente, en la estructura global de sus comunidades bacterianas. Las diferencias detectadas por métricas cualitativas, cuantitativas y filogenéticas muestran que la identidad del hospedero permanece como un factor relevante aún bajo condiciones de simpatría. El estudio aporta una base para comprender la ecología del microbioma de rumiantes en ambientes áridos y sustenta investigaciones posteriores con mayor tamaño de muestras y controles técnicos específicos.

Referencias

Bolyen, E., Rideout, J. R., Dillon, M. R., et al. (2019). Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2. *Nature Biotechnology*, *37*, 852–857. https://doi.org/10.1038/s41587-019-0209-9

Callahan, B. J., McMurdie, P. J., Rosen, M. J., Han, A. W., Johnson, A. J. A., & Holmes, S. P. (2016). DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. *Nature Methods*, *13*, 581–583. https://doi.org/10.1038/nmeth.3869

Henderson, G., Cox, F., Ganesh, S., Jonker, A., Young, W., & Janssen, P. H. (2015). Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Scientific Reports*, *5*, 14567.

McDonald, D., Jiang, Y., Balaban, M., Cantrell K., Zhu, Q., Gonzalez, A., Morton, J.T., Nicolaou, G., Parks, D. H., Karst, S.M., Albertsen, M., Hugenholtz, P., DeSantis, T., Song, S.J., Bartko A., Havulinna, A.S., Jousilahti, P., Cheng, S., Inouye, M., Niiranen, T., Jain, M., Salomaa, V., Lahti L., Mirarab, S. & Knight, R. (2024). Greengenes2 unifies microbial data in a single reference tree. *Nature Biotechnology*, *42*, 715–718. https://doi.org/10.1038/s41587-023-01845-1

Reese, A. T., Chadaideh, K. S., Diggins, C. E., et al. (2021). Effects of domestication on the gut microbiota parallel those of human industrialization. *eLife*, *10*, e60197.

Lozupone, C., & Knight, R. (2005). UniFrac: A new phylogenetic method for comparing microbial communities. *Applied and Environmental Microbiology*, *71*, 8228–8235. https://doi.org/10.1128/AEM.71.12.8228-8235.2005

Vázquez-Baeza, Y., Pirrung, M., González, A., & Knight, R. (2013). EMPeror: A tool for visualizing high-throughput microbial community data. *GigaScience*, *2*, 16. https://doi.org/10.1186/2047-217X-2-16

TAXONES BACTERIANOS DIFERENCIALES EN EL MICROBIOMA FECAL DE *Ammotragus lervia*, *Bos taurus* Y *Capra aegagrus hircus* EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE

Jesús Gabriel Ramírez-García[1], Lorenzo Danilo Granados-Rivera[2], Sandra Patricia Maciel-Torres[1], Pablo Arenas-Báez[1]*

[1] Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango, México[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Coahuila, México. * Autor de correspondencia: parenas@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

La composición taxonómica del microbioma intestinal de los rumiantes refleja la interacción entre dieta, ambiente y características del hospedero (Henderson et al., 2015). En sistemas extensivos, la coexistencia de especies silvestres y domésticas puede favorecer un conjunto bacteriano compartido debido al uso común de hábitat y recursos, mientras que diferencias fisiológicas y alimentarias pueden seleccionar taxones particulares (Reese et al., 2021). La identificación de los microorganismos que contribuyen a la diferenciación entre hospederos permite describir con mayor precisión la interfase ecológica entre fauna silvestre y ganado. En el Desierto Chihuahuense no se habían documentado comparaciones simultáneas entre el borrego berberisco y especies domésticas desde esta perspectiva. El objetivo fue caracterizar la composición taxonómica e identificar los taxones bacterianos que contribuyen a diferenciar el microbioma fecal de *Ammotragus lervia*, *Bos taurus* y *Capra aegagrus hircus* que cohabitan en el Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena, Chihuahua.

Materiales y métodos

En julio de 2025 se analizaron 15 muestras fecales, cinco por especie. El DNA bacteriano se extrajo mediante ZymoBIOMICS™ DNA MiniPrep y se amplificó la región V3–V4 del gen 16S rRNA con los iniciadores 341F y 806R. La secuenciación se realizó en plataforma Illumina NovaSeq 6000 con lecturas paired-end de 250 pb. Las secuencias se procesaron en QIIME2 utilizando DADA2 para filtrado, eliminación de quimeras y obtención de ASV (Bolyen et al., 2019; Callahan et al., 2016). La asignación taxonómica se realizó con Greengenes2 (McDonald et al., 2024) y las asignaciones a nivel de especie fueron verificadas mediante BLAST bajo los criterios establecidos en el estudio: identidad >98%, cobertura de alineamiento de 100% y ausencia de coincidencias equivalentes con taxones relacionados.

La abundancia relativa de los taxones predominantes se examinó a distintos niveles taxonómicos. Para identificar los componentes que explicaban la diferenciación entre bovinos, caprinos y borrego berberisco se realizó un análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) en PAST 5.1 (Khomich et al., 2021). Los taxones con contribución a la disimilitud superior a 0.1% fueron posteriormente contrastados estadísticamente; los taxones diferenciales se representaron mediante mapas de calor. El estudio se enfocó en composición y diferenciación taxonómica, de manera independiente de los análisis de diversidad alfa y beta.

Resultados y discusión

La riqueza taxonómica mostró una gradación entre hospederos. Los bovinos presentaron el mayor número de géneros y especies bacterianas identificadas, seguidos por caprinos y borrego berberisco. Esta diferencia descriptiva indica que, aun compartiendo el mismo sistema árido, la amplitud taxonómica detectada no fue idéntica entre los tres hospederos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Riqueza taxonómica bacteriana identificada en las tres especies de rumiantes.

Especie	Filos	Familias	Géneros	Especies
Bovinos	24	179	431	584
Caprinos	23	179	405	528
Borrego berberisco	22	145	356	464

Firmicutes_A y Bacteroidota fueron los filos predominantes en las tres especies. Firmicutes_A representó 63.49% de la abundancia media en bovinos, 69.59% (Figura 1) en caprinos (Figura 2) y 59.51% en borrego berberisco (Figura 3), mientras que Bacteroidota alcanzó 27.53, 20.87 y 27.40%, respectivamente. A nivel de familia, Oscillospiraceae_A fue la más abundante en los tres hospederos, con 23.76% en bovinos, 23.46% en caprinos y 19.16% en borrego berberisco. La segunda familia más abundante fue Bacteroidaceae en bovinos (10.34%) y Lachnospiraceae en caprinos (22.93%) y borrego berberisco (12.37%). A nivel de género, Faecousia fue el taxón más abundante en las tres especies, con valores medios de 18.17, 17.22 y 13.39%, respectivamente.



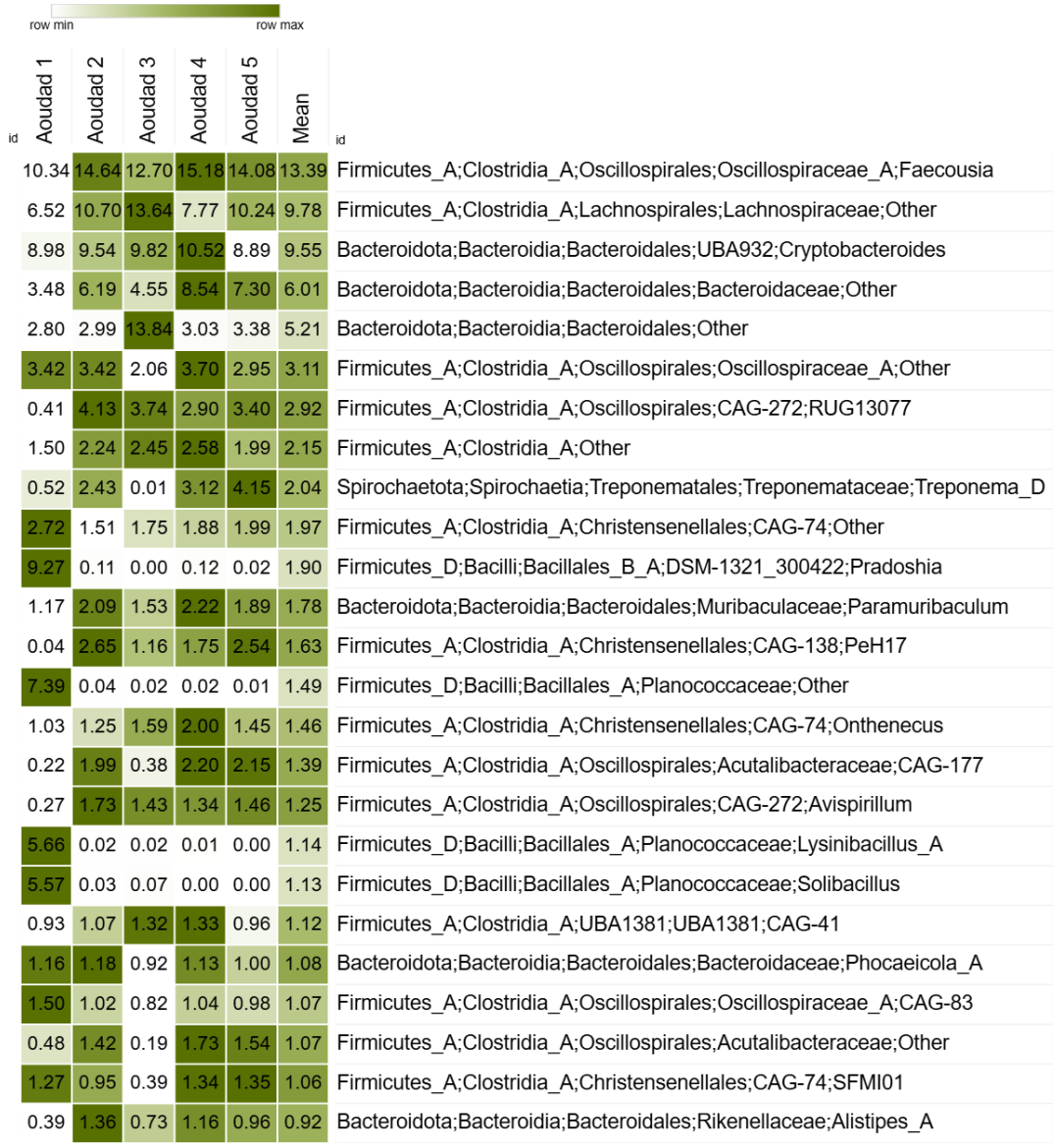
Figura 1. Mapas de calor de la comunidad microbiana más abundante a nivel de género en muestras fecales de ganado vacuno.

El análisis SIMPER permitió identificar dónde se concentró la diferenciación taxonómica. La disimilitud global fue de 22.3% a nivel de filo, donde dos taxones mostraron diferencias significativas: Other_1 (contribución a la disimilitud = 0.7473%; H = 6.9; p = 0.03054) y Firmicutes_B_370539 (0.5553%; H = 6.66; p = 0.03579). A nivel de familia, la disimilitud aumentó a 35.21% y se detectaron 24 taxones con diferencias significativas. El mayor grado de diferenciación se observó a nivel de género, con 42.78% de disimilitud y 86 taxones significativamente diferentes; entre los géneros destacados se encontraron Faecousia y Cryptobacteroides.

row min — row max

id	Goat 1	Goat 2	Goat 3	Goat 4	Goat 5	Mean	id
	19.05	18.24	18.38	12.75	17.68	17.22	Firmicutes_A;Clostridia_A;Oscillospirales;Oscillospiraceae_A;Faecousia
	25.03	9.60	11.00	11.07	18.24	14.99	Firmicutes_A;Clostridia_A;Lachnospirales;Lachnospiraceae;Other
	10.09	5.15	7.63	10.74	12.88	9.30	Bacteroidota;Bacteroidia;Bacteroidales;UBA932;Cryptobacteroides
	7.51	2.13	1.64	1.89	5.67	3.77	Bacteroidota;Bacteroidia;Bacteroidales;Bacteroidaceae;Phocaeicola_A
	2.31	3.26	5.29	6.31	1.22	3.68	Firmicutes_A;Clostridia_A;Oscillospirales;Oscillospiraceae_A;Other
	3.95	0.02	0.00	0.01	9.02	2.60	Firmicutes_D;Bacilli;Erysipelotrichales;Coprobacillaceae;Other
	0.79	4.28	2.26	4.36	0.28	2.39	Firmicutes_A;Clostridia_A;Oscillospirales;CAG-272;RUG13077
	0.58	2.02	2.46	6.23	0.50	2.36	Bacteroidota;Bacteroidia;Bacteroidales;Bacteroidaceae;Other
	0.23	6.18	1.19	2.27	0.18	2.01	Spirochaetota;Spirochaetia;Treponematales;Treponemataceae;Treponema_D
	3.17	0.09	0.07	0.04	6.51	1.98	Firmicutes_A;Clostridia_A;Lachnospirales;Lachnospiraceae;Porcincola
	1.25	2.58	1.77	1.45	2.07	1.82	Firmicutes_A;Clostridia_A;Christensenellales;CAG-74;Onthenecus
	1.79	1.45	1.62	1.74	2.16	1.75	Bacteroidota;Bacteroidia;Bacteroidales;Muribaculaceae;Paramuribaculum
	0.87	1.88	2.37	1.48	1.06	1.53	Firmicutes_A;Clostridia_A;Christensenellales;CAG-74;Other
	0.91	2.54	1.43	2.37	0.14	1.48	Firmicutes_A;Clostridia_A;Christensenellales;CAG-138;PeH17
	0.37	1.38	2.11	1.38	0.28	1.10	Firmicutes_A;Clostridia_A;Lachnospirales;Lachnospiraceae;Agathobacter_A
	0.41	2.09	1.54	1.13	0.35	1.10	Bacteroidota;Bacteroidia;Bacteroidales;Other
	1.80	0.53	0.75	0.70	1.71	1.10	Firmicutes_A;Clostridia_A;Oscillospirales;Acutalibacteraceae;Other
	0.46	1.05	1.34	1.75	0.16	0.95	Firmicutes_A;Clostridia_A;Other
	0.39	1.66	1.41	0.93	0.09	0.89	Firmicutes_A;Clostridia_A;Oscillospirales;CAG-272;Avispirillum
	1.46	0.02	0.00	0.00	2.87	0.87	Firmicutes_A;Clostridia_A;Lachnospirales;Lachnospiraceae;Choladousia
	0.21	1.19	1.89	0.91	0.08	0.86	Firmicutes_A;Clostridia_A;Oscillospirales;Oscillospiraceae_A;CAG-83
	1.77	0.55	0.32	0.05	1.51	0.84	Firmicutes_A;Clostridia_A;Lachnospirales;Lachnospiraceae;COE1
	0.02	0.76	0.24	3.11	0.00	0.83	Verrucomicrobiota;Verrucomicrobiae;Verrucomicrobiales;Akkermansiaceae;Akkermansia
	0.17	1.39	1.26	1.11	0.11	0.81	Firmicutes_A;Clostridia_A;Other
	0.94	0.54	0.61	0.54	1.01	0.73	Firmicutes_C;Negativicutes;Acidaminococcales;Acidaminococcaceae;Phascolarctobacterium_A

Figura 2. Mapas de calor de la comunidad microbiana más abundante a nivel de género en muestras fecales de cabras.



id	Aoudad 1	Aoudad 2	Aoudad 3	Aoudad 4	Aoudad 5	Mean	id
	10.34	14.64	12.70	15.18	14.08	13.39	Firmicutes_A;Clostridia_A;Oscillospirales;Oscillospiraceae_A;Faecousia
	6.52	10.70	13.64	7.77	10.24	9.78	Firmicutes_A;Clostridia_A;Lachnospirales;Lachnospiraceae;Other
	8.98	9.54	9.82	10.52	8.89	9.55	Bacteroidota;Bacteroidia;Bacteroidales;UBA932;Cryptobacteroides
	3.48	6.19	4.55	8.54	7.30	6.01	Bacteroidota;Bacteroidia;Bacteroidales;Bacteroidaceae;Other
	2.80	2.99	13.84	3.03	3.38	5.21	Bacteroidota;Bacteroidia;Bacteroidales;Other
	3.42	3.42	2.06	3.70	2.95	3.11	Firmicutes_A;Clostridia_A;Oscillospirales;Oscillospiraceae_A;Other
	0.41	4.13	3.74	2.90	3.40	2.92	Firmicutes_A;Clostridia_A;Oscillospirales;CAG-272;RUG13077
	1.50	2.24	2.45	2.58	1.99	2.15	Firmicutes_A;Clostridia_A;Other
	0.52	2.43	0.01	3.12	4.15	2.04	Spirochaetota;Spirochaetia;Treponematales;Treponemataceae;Treponema_D
	2.72	1.51	1.75	1.88	1.99	1.97	Firmicutes_A;Clostridia_A;Christensenellales;CAG-74;Other
	9.27	0.11	0.00	0.12	0.02	1.90	Firmicutes_D;Bacilli;Bacillales_B_A;DSM-1321_300422;Pradoshia
	1.17	2.09	1.53	2.22	1.89	1.78	Bacteroidota;Bacteroidia;Bacteroidales;Muribaculaceae;Paramuribaculum
	0.04	2.65	1.16	1.75	2.54	1.63	Firmicutes_A;Clostridia_A;Christensenellales;CAG-138;PeH17
	7.39	0.04	0.02	0.02	0.01	1.49	Firmicutes_D;Bacilli;Bacillales_A;Planococcaceae;Other
	1.03	1.25	1.59	2.00	1.45	1.46	Firmicutes_A;Clostridia_A;Christensenellales;CAG-74;Onthenecus
	0.22	1.99	0.38	2.20	2.15	1.39	Firmicutes_A;Clostridia_A;Oscillospirales;Acutalibacteraceae;CAG-177
	0.27	1.73	1.43	1.34	1.46	1.25	Firmicutes_A;Clostridia_A;Oscillospirales;CAG-272;Avispirillum
	5.66	0.02	0.02	0.01	0.00	1.14	Firmicutes_D;Bacilli;Bacillales_A;Planococcaceae;Lysinibacillus_A
	5.57	0.03	0.07	0.00	0.00	1.13	Firmicutes_D;Bacilli;Bacillales_A;Planococcaceae;Solibacillus
	0.93	1.07	1.32	1.33	0.96	1.12	Firmicutes_A;Clostridia_A;UBA1381;UBA1381;CAG-41
	1.16	1.18	0.92	1.13	1.00	1.08	Bacteroidota;Bacteroidia;Bacteroidales;Bacteroidaceae;Phocaeicola_A
	1.50	1.02	0.82	1.04	0.98	1.07	Firmicutes_A;Clostridia_A;Oscillospirales;Oscillospiraceae_A;CAG-83
	0.48	1.42	0.19	1.73	1.54	1.07	Firmicutes_A;Clostridia_A;Oscillospirales;Acutalibacteraceae;Other
	1.27	0.95	0.39	1.34	1.35	1.06	Firmicutes_A;Clostridia_A;Christensenellales;CAG-74;SFMI01
	0.39	1.36	0.73	1.16	0.96	0.92	Bacteroidota;Bacteroidia;Bacteroidales;Rikenellaceae;Alistipes_A

Figura 3. Mapas de calor de la comunidad microbiana más abundante a nivel de género en muestras fecales de borrego berberisco.

El patrón observado es relevante porque la similitud en los filos dominantes no implica equivalencia taxonómica entre hospederos. La diferenciación aumentó conforme el análisis descendió hacia niveles taxonómicos más específicos, lo que sugiere un núcleo bacteriano general compatible con las funciones digestivas de los rumiantes y, simultáneamente, una selección más fina de grupos bacterianos asociada con cada hospedero (Henderson et al., 2015; Reese et al., 2021). Familias como Oscillospiraceae y Lachnospiraceae han sido relacionadas con la fermentación y producción de ácidos grasos volátiles (Yang et al., 2021); sin embargo, el presente análisis se basó en secuenciación 16S y, por tanto, no permite atribuir directamente funciones metabólicas a los taxones detectados. Tampoco se evaluaron patógenos, resistoma o transferencia microbiana entre especies, por lo que tales procesos no deben inferirse a partir de la similitud taxonómica.

Conclusiones

Ammotragus lervia, *Bos taurus* y *Capra aegagrus hircus* compartieron una composición bacteriana general dominada por Firmicutes_A y Bacteroidota, así como por Oscillospiraceae_A a nivel de familia y Faecousia a nivel de género. No obstante, la diferenciación entre hospederos aumentó desde filo hasta género, donde se registró la mayor disimilitud y el mayor número de taxones diferenciales. Estos resultados muestran que la coexistencia en un mismo ecosistema árido es compatible con un núcleo taxonómico compartido, pero también con una marcada diferenciación de componentes bacterianos específicos del hospedero.

Referencias

Bolyen, E., Rideout, J. R., Dillon, M. R., Bokulich, N. A., Abnet, C. C., Al-Ghalith, G. A., Alexander, H., Alm, E. J., Arumugam, M., Asnicar, F., Bai, Y., Bisanz, J. E., Bittinger, K., Brejnrod, A., Brislawn, C. J., Brown, C. T., Callahan, B. J., Caraballo-Rodríguez, A. M., Chase, J., Caporaso, J. G. (2019). Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2. Nature Biotechnology, 37(8), 852–857. https://doi.org/10.1038/s41587-019-0209-9

Callahan, B. J., McMurdie, P. J., Rosen, M. J., Han, A. W., Johnson, A. J. A., & Holmes, S. P. (2016). DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. Nature Methods, 13, 581–583. https://doi.org/10.1038/nmeth.3869

Henderson, G., Cox, F., Ganesh, S., Jonker, A., Young, W., & Janssen, P. H. (2015). Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. Scientific Reports, 5, 14567.

Khomich, M., Måge, I., Rud, I., & Berget, I. (2021). Analysing microbiome intervention design studies: Comparison of alternative multivariate statistical methods. PLoS ONE, 16, e0259973. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259973

McDonald, D., Jiang, Y., Balaban, M., Cantrell, K., Zhu, Q., Gonzalez, A., Morton, J. T., Nicolaou, G., Parks, D. H., Karst, S. M., Albertsen, M., Hugenholtz, P., DeSantis, T., Song, S. J., Bartko, A., Havulinna, A. S., Jousilahti, P., Cheng, S., Inouye, M., . . . Knight, R. (2024). Greengenes2 unifies microbial data in a single reference tree. Nature Biotechnology, 42(5), 715–718. https://doi.org/10.1038/s41587-023-01845-1

Reese, A. T., Chadaideh, K. S., Diggins, C. E., Schell, L. D., Beckel, M., Callahan, P., Ryan, R., Thompson, M. E., & Carmody, R. N. (2021). Effects of domestication on the gut microbiota parallel those of human industrialization. eLife, 10, e60197. https://doi.org/10.7554/eLife.60197

Yang, J., Li, Y., Wen, Z., Liu, W., Meng, L., & Huang, H. (2021). Oscillospira - a candidate for the next-generation probiotics. Gut Microbes, 13, 1987783.

TASA DE CRECIMIENTO DE *Portulaca oleracea* A CIELO ABIERTO EN LA COMARCA LAGUNERA

Aaron David Lugo-Palacios[1], Raúl Eduardo Lugo-Palacios[2], Jared Ceniceros-García[1], Cesar Omar Montoya-García[3], Oscar Lugo-Palacios[4], José Luis García-Hernandez[4*]

[1]Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango 35111, México. [2]Programa Agua-Suelo, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Torreón, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Torreón, Coahuila 27000, México. [3]Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas S/N Col, Centro, Hermosillo, Sonora, 83000, México [4]Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, Km 35 Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo, Ejido Venecia, Gómez Palacio, Durango, 35111, México. *Autor de correspondencia: luis_garher@hotmail.com

Introducción

La *Portulaca oleracea* (nombre común verdolaga) ha sido objeto de interés en las últimas dos décadas debido a su rápido desarrollo y por ser poseer fotosistema C4-CAM. Esta especie tolera el estrés salino en diferente grado según el genotipo (Lugo-Palacios et al., 2026a). Se encuentra de forma silvestre de la Comarca Lagunera, con evidencia de que los cazadores-recolectores que se movilizaban por la zona la incluían en su dieta (Valdes, 1995). Es una hortaliza que confiere identidad a la población. Recientemente, la revolución agrícola del siglo XX permitió que se desarrollara en los predios agrícolas de la región y al borde de los canales de riego; sin embargo, la verdolaga aun es catalogada como maleza (Harris et al., 2013),

La recurrencia de la *P. oleracea* se debe a su latencia de hasta 40 años, así como a la alta producción de semilla y el consecuente esparcimiento por viento. Es fotoblástica positiva y prefiere temperaturas elevadas para su desarrollo (Lugo-Palacios et al., 2026b). Por ende; surge la hipótesis: la *P. oleracea* es apta para producción intensiva en la Comarca Lagunera. Lo cual se sostiene en el incremento de las temperaturas y la limitación de agua de uso agrícola, condiciones que suponen un riesgo para la sobrevivencia del campo lagunero. Investigar cultivos alternativos requiere de determinar: la aptitud agroclimática, la tolerancia a las condiciones estresantes y evaluar el cultivo en campo (Lugo-Palacios et al., 2026b). Por lo cual, el objetivo de este trabajo es explorar el rendimiento y tasa de crecimiento relativo (TCR) de *P. oleracea* según unidades calor acumuladas (UCA) y dosis de vermicompost en condiciones de campo a cielo abierto.

Materiales y métodos

El experimento se asentó en el campo experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango. La *P. oleracea* variedad hoja ancha se sembró al voleo el 20 de junio del 2026 a densidad de 3 kg semilla por hectárea. La germinación se registró 22 de junio del mismo año.

El área de estudio se caracteriza por un clima semiárido, con precipitaciones de alrededor de 200 mm anuales distribuidas entre mayo-septiembre (Lugo-Palacios et al., 2026b). Las condiciones meteorológicas durante el estudio se observan en la Figura 1.

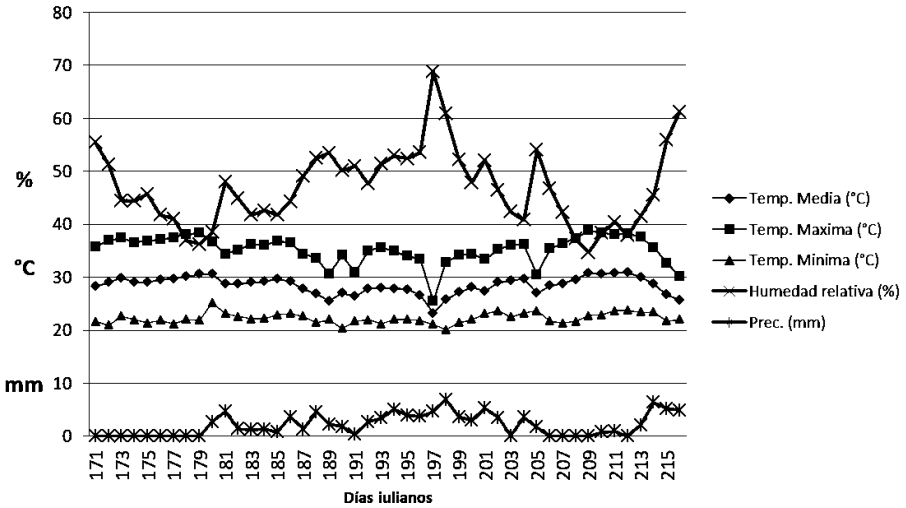


Figura 1. Condiciones meteorológicas observadas durante el periodo del experimento.

El diseño fue completamente al azar con dos factores, el factor a: las UCA bajo tres cortes (361 465 y 626 UCA); y, el factor b: la dosis de nutrición (0, 2.28 y 4.56 t ha-1 de vermicompost). La unidad experimental fue de 0.35 m por ancho por 3 m de largo con tres repeticiones por dosis de vermicompost. La tasa de crecimiento relativo se calculó acorde a Hoffmann y Poorter (2002), con modificación parámetro tiempo a UCA:

$$RGR = (\ln \text{momento } 2 - \ln \text{momento } 1)/(\text{uca momento } 2 - \text{uca momento } 1)$$

Donde: momento 2 se refiere al corte más reciente, y momento 1 al corte anterior. Luego, se recolectaron datos de altura, peso fresco de tallo y de hojas. El análisis de varianza se efectuó en JASP 0.95.4.0, la comprobación de homogeneidad de varianzas (prueba de levene) y normalidad (gráfica de cuartiles) en Minitab 20.

Resultados y discusión

El efecto de las UCA en cada corte se observa en la Figura 2. El peso fresco (PF) de tallo ($P < 0.001$), la longitud de tallo ($P < 0.001$) y PF de hojas ($P = 0.001$) fueron altamente significativas. Se observó un aumento de la longitud del tallo y la biomasa de este órgano conforme al incremento de las UCA. El PF de tallo a 626 UCA fue superior por 216% en contraste a 464 UCA, mientras que este último supero por 381% el corte realizado a 361 UCA; asimismo, la longitud del tallo principal presentó el mismo patrón de niveles de significancia estadística con valores superiores por 128 y 170% respectivamente.

Los cortes a 465 y 626 UCA no presentaron significancia entre sí para PF de hojas; en cambio, fueron superiores estadísticamente a 361 UCA por 222.8% y 259%, respectivamente. Estos hallazgos indican que la planta desacelera la producción foliar y fortalece su sistema de soporte estructural, i.e., tallo y ramas primarias (información no contenida en el manuscrito) (Correa et al., 2023). Contrario a Mortley et al. (2012), quienes reportaron aumento exponencial en el PF de hojas a 20, 40 y 60 días.

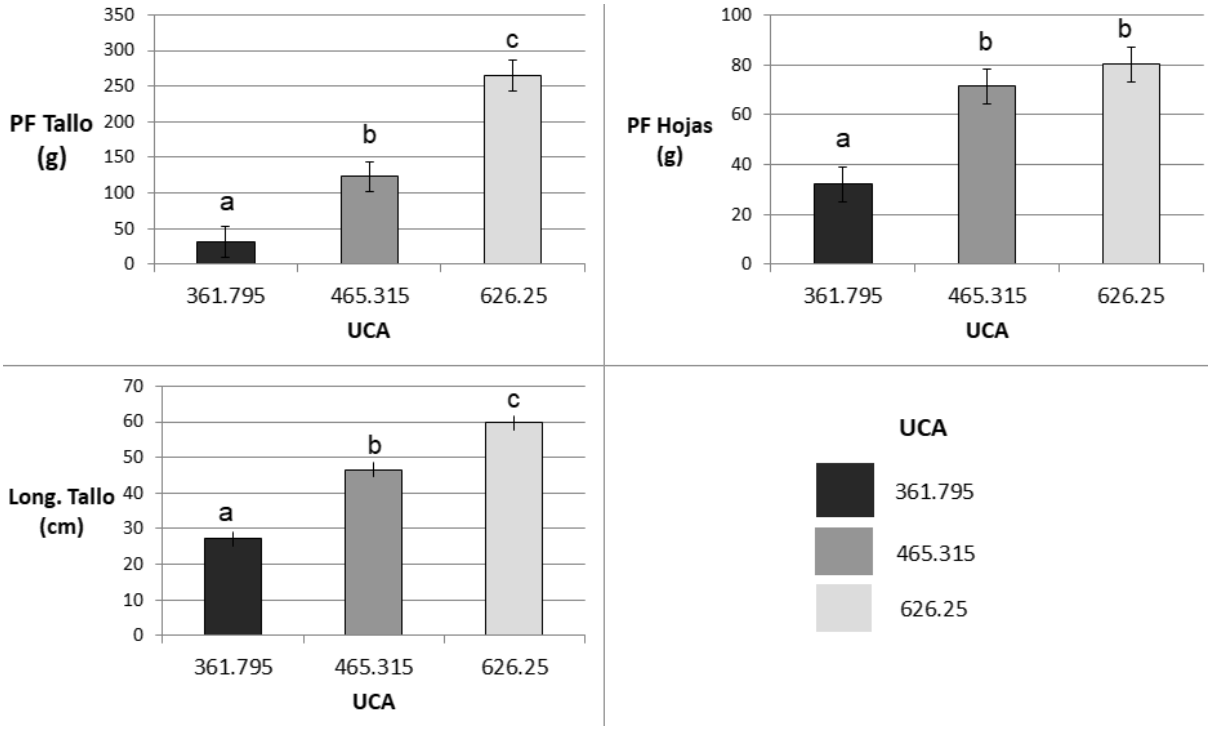


Figura 1. Variables evaluadas en *P. oleracea* según unidades calor acumuladas (UCA). Diferentes letras en las barras indican diferencia significativa con valor de $p < 0.05$.

Las dosis de vermicompost no presentaron significancia en las variables analizadas (Cuadro 1) debido al corto periodo de desarrollo del cultivo y el tiempo necesario para la mineralización de la enmienda.

Cuadro 1. Análisis de varianza de variables evaluadas en *P. oleracea* según dosis de vermicompost.

Vermicompost (t ha^{-1})	PF Tallo (g)	EEM	Longitud de Tallo (cm)	EEM	PF Hojas (g)	EEM
0	155.1 [a]	57.2	45.82 [a]	6.70	69.8 [a]	15.9
2.28	126.2 [a]	32.9	43.58 [a]	4.48	53.76 [a]	8.76
4.56	137.9 [a]	34.0	44.08 [a]	4.67	60.09 [a]	7.87
Valor de p	0.627		0.910		0.5	

EEM: Error estándar de la media. Diferentes letras en las columnas indican diferencia significativa con valor de $p < 0.05$.

La tasa de crecimiento relativo (TCR) presento diferencias entre periodos en las tres variables evaluadas. El desarrollo del tallo y la correspondiente acumulación de materia fue significativamente superior en el periodo 1, que es la TCR comprendida entre 465 y 361 UCA, en contraste al periodo 2 que abarco el rango entre 626 vs. 465. Existen reportes de que la planta llega a la etapa de fructificación a 813 UCA según Harris et al. (2013), o bien, a dispersión de semilla bajo 436 - 704 UCA acorde a Correa et al. (2023) dependiendo del genotipo. Por lo tanto, es posible que en el periodo 2 se priorice la producción de fruto y consecuentemente semilla debido a la proximidad térmica.

Cuadro 2. Tasa de crecimiento relativo (TCR) en *P. oleracea* bajo dos periodos basado en unidades calor.

Periodo	TCR PF Tallo ($g\ g^{-1}\ UC^{-1}$)	EEM	TCR Longitud Tallo ($cm\ cm^{-1}\ UC^{-1}$)	EEM	TCR PF Hojas ($g\ g^{-1}\ UC^{-1}$)	EEM
465 vs. 361 UCA	0.014 ^{b}	0.002	0.005 ^{b}	4.996×10^{-4}	0.009 ^{b}	0.002
626 vs. 465 UCA	0.005 ^{a}	8.306×10^{-4}	0.001 ^{a}	3.408×10^{-4}	4.875×10^{-4} ^{a}	4.899×10^{-4}
Valor de P	0.002		< 0.001		0.001	

EEM: Error estándar de la media. Diferentes letras en las columnas indican diferencia significativa con valor de $p < 0.05$.

Conclusiones

La *P. oleracea* continúa acumulando biomasa en tallo acorde a las UCA observadas; sin embargo, el peso fresco de hoja se maximiza bajo 465 UCA. Lo cual se constata en la TCR de tallo y hoja, ya que durante el periodo entre 626 y 465 UCA la TCR fue inferior. Esta información contribuye a determinar periodo óptimo de cosecha.

Referencias

Correa, A. R., Arantes, C. R. D. A., Camili, E. C., & Guimarães, S. C. (2023). *Portulaca oleracea* L.: Genotypes phenology and thermal sum in tropical climate. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, *16*(1), 1–17. https://doi.org/10.17765/2176-9168.2023v16n1e9921

Harris, M., Pellegrino, N., Giacomino, M. S., Chiesa, A., & Frezza, D. (2013). Comportamiento agronomico-productivo y contenido de acidos grasos poliinsaturados (omega 3) de *Portulaca oleracea* y *Montia perfoliata*. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, *29*(2), 139–150.

Hoffmann, W. A., & Poorter, H. (2002). Avoiding bias in calculations of relative growth rate. *Annals of Botany*, *90*(1), 37–42. https://doi.org/10.1093/aob/mcf140

Lugo-Palacios, A. D., García Hernández, J. L., Montes Orona, P. Y., Silva Martínez, C., Nava Camberos, U., & Rueda Puente, E. O. (2026a). Genotipos de *Portulaca oleracea* L. ante estrés salino por NaCl: un análisis multivariado. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, *13*(VI), e5080. https://doi.org/10.19136/era.a13nVI.5080

Lugo-Palacios, A. D., Rueda-Puente, E. O., Montoya-García, C. O., Orona-Castillo, I., Nava-Camberos, U., & García-Hernández, J. L. (2026b). Agro-Climatic Suitability of Purslane (*Portulaca oleracea* L.) under Abiotic Stress in Semiarid—Arid Zone in North America. *Phyton (0031-9457)*, *95*(1). 10.32604/phyton.2025.075449

Mortley, D. G., Oh, J. H., Johnson, D. S., Bonsi, C. K., & Hill, W. A. (2012). Influence of harvest intervals on growth responses and fatty acid content of purslane (*Portulaca oleracea*). *HortScience*, *47*(3), 437-439.

Valdés, C. M. (1995). *La gente del mezquite. Los nómadas del noreste en la colonia*. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social.

USO DE BIOMASA RESIDUAL DE *Agave lechuguilla* COMO BIOADSORBENTE PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO (III) EN AGUA

Iliana Monserrat Pérez Calvo[1], Leticia Romana Gaytán Alemán[1]*, Vicente de Paul Álvarez Reyna[1], Ma. Guadalupe Calderón Leyva[1], Oscar Ángel García[1], Paola Elizabeth Diaz Flores[2]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, [2] Universidad Autónoma de San Luis Potosí. * Autor de correspondencia: leticia.gaytan@uaaan.edu.mx

Introducción

Los metales pesados en fuentes de agua representan un grave riesgo para la salud y el ecosistema (Xie, 2024). El arsénico (As), particularmente en sus formas As(III) y As(V), es altamente nocivo, con fuentes antropogénicas como la minería que agravan su movilización natural (Genchi et al., 2022). En la Comarca Lagunera, esta problemática es crítica: Martínez-Delgado et al. (2026) reportaron concentraciones de hasta 1206 µg/L en El Venado, Coahuila, superando el límite de 200 µg/L para consumo animal.

La biosorción es una técnica eficaz para la remediación de aguas (Capodaglio, 2023), pero las biomasas prístinas tienen baja capacidad debido a la repulsión electrostática (Zhang et al., 2022). La modificación con hierro induce nuevos grupos funcionales superficiales (M-O, M-OH) que superan esta limitante (Hassan et al., 2020). La lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) es abundante en zonas áridas con alta proporción de compuestos extraíbles (Carmona et al., 2017). Esta investigación tuvo como objetivo analizar el potencial de la biomasa de guishe de *A. lechuguilla* modificada con hierro como bioadsorbente para la remoción de As(III), partiendo de la hipótesis de que la interacción de los grupos funcionales lignocelulósicos con el hierro permitirá una remoción eficiente.

Materiales y métodos

Preparación y modificación de la biomasa. La biomasa de guishe de *Agave lechuguilla* se recolectó en Parras de la Fuente, Coahuila (25°38'36.4"N, 102°02'32.3"W). El material se secó al sol por tres días y en estufa (70 °C) hasta peso constante, se molió y tamizó (malla No. 40). Se lavó con mezcla 1:1 de etanol 70% y agua destilada (relación sólido-líquido 1:10), agitando 24 h, filtrando, enjuagando y secando a 70 °C por 24 h. La modificación con hierro se realizó por impregnación húmeda (González García et al., 2024), usando 0.18 g Fe/g biomasa (120 g biomasa con 21.6 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$), agitando 1 h a 250 rpm, filtrando y secando a 70 °C por 12 h. Para los análisis fisicoquímicos se tomó en cuenta estudios de FTIR en donde se realizaron en la UASLP; los análisis ICP-OES y CHON en el Laboratorio MatPore (Aguascalientes); y los estudios de SEM/EDS en el LINAN-IPICYT (San Luis Potosí).

Resultados y discusión

Espectroscopía FTIR y composición elemental (ICP-OES y CHON). El FTIR de la biomasa nativa mostró bandas lignocelulósicas típicas (Cholico-González et al., 2020). Tras la modificación con Fe, la banda O–H disminuyó su intensidad (de 0.25 a 0.15), evidenciando la coordinación de los hidroxilos con el hierro (Espina et al., 2022), sin formar óxidos cristalinos macroscópicos (Sharif et al., 2023). A nivel elemental (Cuadro 1), la biomasa presentó una alta oxigenación superficial (40.93% O) que provee abundantes sitios activos para la complejación (Hassan et al., 2020). El hallazgo más relevante fue la exitosa impregnación de Fe (26.68 ± 1.27 mg/g), fundamental para superar la repulsión electrostática natural de la biomasa y permitir la adsorción de As(III) (Zhang et al., 2022).

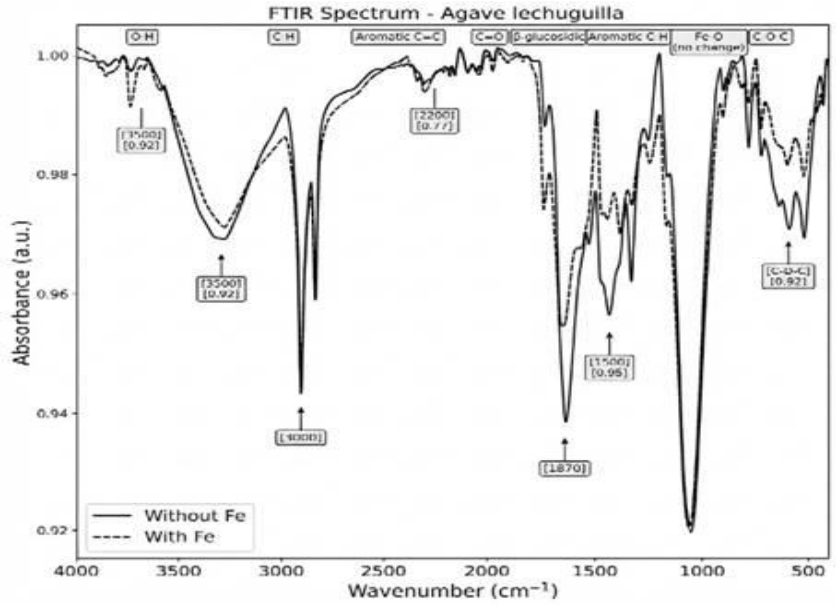


Figura 1. Espectro FTIR de biomasa de *Agave lechuguilla* nativa y modificada con hierro.

Cuadro 1. Composición elemental CHNO de la biomasa de *Agave lechuguilla* impregnada con hierro

Elemento	Contenido (%)
Carbono (C)	50.43
Oxígeno (O)	40.93
Hidrógeno (H)	7.51
Nitrógeno (N)	1.13

Cuadro 2. Composición elemental inorgánica de la biomasa de *Agave lechuguilla* impregnada con hierro determinada mediante ICP-OES

Elemento	Concentración(mg/g)
Fe	**26.68 ± 1.27**
Ca	13.20 ± 0.58
As	**<0.0025**
K	0.33 ± 0.03
Na	0.28 ± 0.01
Mg	0.15 ± 0.01
Al	0.07 ± 0.00
Ba	0.07 ± 0.00

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM/EDS). El SEM permitió evaluar los cambios superficiales tras la impregnación. La biomasa nativa presenta una arquitectura altamente porosa y tridimensional tipo "panal de abeja", con múltiples cavidades y poros interconectados que demuestran una rugosidad estructural profunda (Figura 2).

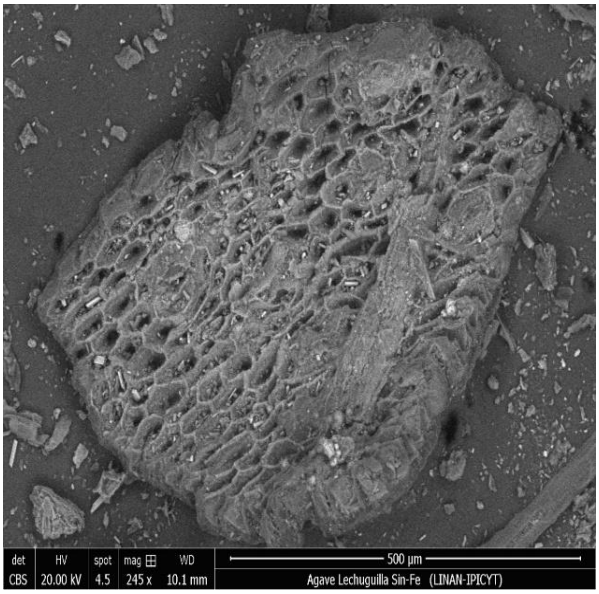


Figura 2. Micrografía SEM de biomasa de *Agave lechuguilla* sin modificar

Tras la modificación con hierro, la matriz fibrosa conserva su estructura irregular, pero se observan numerosas estructuras cristalinas alargadas con morfología acicular (en forma de aguja) distribuidas irregularmente sobre la superficie, las cuales contrastan con la rugosidad de la matriz circundante.

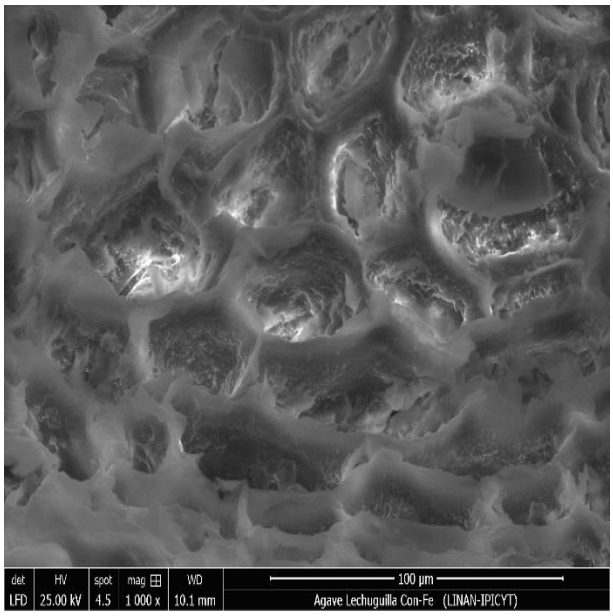


Figura 3. Espectro de Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS) de la biomasa de *Agave lechuguilla* sin modificar.

El análisis microscópico confirma el éxito de la funcionalización del material. La aparición de estos cristales aciculares es consistente con la interacción química entre el precursor de hierro y los minerales naturales de la planta, formando estructuras cristalinas superficiales (González García et al., 2025).

Conclusiones

Se logró la impregnación exitosa de hierro en la biomasa residual de *Agave lechuguilla*, evidenciada cuantitativamente por ICP-OES (26.68 mg/g de Fe) y morfológicamente por la formación de cristales aciculares observados mediante SEM. La matriz lignocelulósica conservó sus grupos funcionales característicos (O-H, C=O, C-O-C), los cuales, junto con los nuevos sitios activos introducidos por el hierro y su alta oxigenación superficial (40.93% O), proveen una arquitectura multifuncional. Estas características confirman el gran potencial de este material modificado como un bioadsorbente prometedor y ecológico para la remoción de As(III) en agua, justificando la realización de las siguientes etapas de cinética e isotermas de adsorción.

Referencias

Capodaglio, A. G. (2023). Biorefinery of Sewage Sludge: Overview of Possible Value-Added Products and Applicable Process Technologies. *Water, 15*(6), 1195.

Carmona, J. E., Morales-Martínez, T. K., Mussatto, S. I., Castillo-Quiroz, D., & Ríos-González, L. J. (2017). Propiedades químicas, estructurales y funcionales de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 8*(42), 100-122.

Cholico-González, D., Ortiz Lara, N., Fernández Macedo, A. M., & Chavez Salas, J. (2020). Adsorption Behavior of Pb(II), Cd(II), and Zn(II) onto Agave Bagasse, Characterization, and Mechanism. *ACS Omega, 5*(7), 3302-3314. https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03385

Espina, A., Cañamares, M. V., Jurašeková, Z., & Sanchez-Cortes, S. (2022). Analysis of Iron Complexes of Tannic Acid and Other Related Polyphenols as Revealed by Spectroscopic Techniques. *ACS Omega, 7*(32), 27937-27949. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01679

Genchi, G., Lauria, G., Catalano, A., Carocci, A., & Sinicropi, M. S. (2022). Arsenic: A Review on a Great Health Issue Worldwide. *Applied Sciences, 12*(12), 6184.

González García, A. P., Carlos Hernández, S., & Díaz Jiménez, L. (2024). *Agave lechuguilla* waste can be applied as biochar-adsorbent to remove arsenic from water. *International Journal of Environmental Science and Technology, 22*(10), 9193-9208. https://doi.org/10.1007/s13762-024-06226-y

Hassan, M., Naidu, R., Du, J., Liu, Y., & Qi, F. (2020). Critical review of magnetic biosorbents: Their preparation, application, and regeneration for wastewater treatment. *Science of the Total Environment, 702*, 134893. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134893

Martínez-Delgado, A. G., Ángel-García, O., Contreras-Villarreal, V., Calderón-Leyva, G., Morán-Martínez, J., Betancourt-Martínez, N. D., … Arellano-Rodríguez, F. (2026). Evaluation of Arsenic Concentrations in Water and Milk and Their Association with DNA Fragmentation in Lymphocytes in Goats in the Comarca Lagunera. *Animals, 16*(8), 1218.

Sharif, M. S., Hameed, H., Waheed, A., Tariq, M., Afreen, A., Kamal, A., Mahmoud, E. A., Elansary H. O., Saqib, S., Zaman, W. (2023). Biofabrication of Fe3O4 Nanoparticles from Spirogyra hyalina and Ajuga bracteosa and Their Antibacterial Applications. *Molecules, 28*(8), 3403.

Xie, S. (2024). Biosorption of heavy metal ions from contaminated wastewater: an eco-friendly approach. *Green Chemistry Letters and Reviews, 17*(1), 2357213. https://doi.org/10.1080/17518253.2024.2357213

Zhang, W., Cho, Y., Vithanage, M., Shaheen, S. M., Rinklebe, J., Alessi, D. S., … Ok, Y. S. (2022). Arsenic removal from water and soils using pristine and modified biochars. *Biochar, 4*(1), 55. https://doi.org/10.1007/s42773-022-00181-y

MICROREGIONALIZACIÓN CON CRITERIOS DE ARIDEZ, SEQUÍA Y FISIOGRAFÍA: UNA HERRAMIENTA DE PLANEACIÓN DE DESARROLLO INTEGRAL EN LA REGIÓN NORTE DEL ESTADO DE DURANGO

Isaac Gramillo-Avila, Abel Jahair Amaya-García, Said Alejandro Castañeda-Barraza, Manuel Ramírez-García, Alexis Javier Pérez-Alvarado, Aurelio Pedroza-Sandoval*

Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Km. 40 Carr. Gómez Palacio - Chihuahua, Bermejillo, Durango, México C.P. 35230. *Autor de correspondencia: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Las condiciones del clima y los fenómenos meteorológicos extremos impactan de manera directa la actividad productiva en los agroecosistemas de las zonas áridas y semiáridas de México. Las sequías representan uno de los fenómenos con mayor impacto en la producción agroalimentaria, restringiendo la disponibilidad de agua y el rendimiento de los cultivos (BANXICO, 2022). La aridez, es un fenómeno multicausal por la conjunción de baja precipitación pluvial, temperaturas extremas, intensa radiación solar y suelos superficiales de baja cobertura vegetal (Troyo-Diéguez et al., 2014), que requiere ser tomado en cuenta para mitigar la depredación de los recursos naturales provocada por la actividad antrópica (SADER, 2020).

El estado de Durango forma parte de las regiones del norte de México altamente vulnerables al cambio climático y la sequía recurrente (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2024). La franja compuesta por los municipios de Tlahualilo, Mapimí, Hidalgo, San Pedro del Gallo, Indé y El Oro conforma un gradiente ecológico crítico que transita desde las planicies áridas extremas de la Comarca Lagunera oriental hasta las estribaciones semiáridas y de valles altos próximas a la Sierra Madre Occidental. El objetivo de este estudio fue realizar una microrregionalización basada en la integración de criterios de aridez, intensidad de sequía, tipos de suelo y vegetación dominante, como base para una planeación en el manejo eficiente de los recursos de agua, suelo y vegetación en la región norte del Estado de Durango.

Materiales y métodos

El área de estudio abarca una superficie continua en el norte y centro-oeste del estado de Durango, integrada por los municipios de Tlahualilo, Mapimí, Hidalgo, San Pedro del Gallo, Indé y El Oro. Geográficamente, el área se extiende a lo largo de un gradiente de altitud y humedad bien definido. Se recopiló información climatológica histórica de 18 estaciones meteorológicas administradas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2024), cubriendo el periodo estándar de normales climatológicas 1991-2020.

Para el modelado cartográfico y la delimitación de las áreas de influencia de las estaciones se empleó el software QGIS Bratislava 3.40, utilizando la herramienta de interpolación de Distancia Inversa Ponderada (IDW). El grado de aridez se determinó mediante el Índice de Aridez de Emberger, modificado por Stretta y Mosiño (1963) (Q'), con la siguiente ecuación:

$$Q' = \frac{(m + 45)(M^2 - m^2)}{Pp}$$

Donde: *m*, es la temperatura media mínima del mes más frío, *M* es la temperatura media máxima del mes más cálido y *Pp* es la precipitación media anual.

El análisis del índice de aridez se fundamentó en la categorización de Emberger, modificada por Stretta y Mosiño (1963) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Categorías de aridez y distribución porcentual de las zonas áridas en México.

Valores de I. A.	Categoría	Porcentaje respecto al área del país		
Más de 1000	A1 Zonas	4.31		
500 a 1000	B1 Desérticas			
222 a 500	A2 Zonas	33.91		71.64
118 a 222	B2 Áridas			
67 a 118	A3 Zonas	33.42		
53 a 67	B3 Semiáridas			
38 a 53	Zonas de transición	11.73		22.14
28 a 38	Zona semihúmeda	10.41		
16 a 28	Zona húmeda	4.77		6.22
< 16	Zona muy húmeda	1.45		

Fuente: El déficit hídrico en las plantas: principios y técnicas de manejo (Pedroza, 1995).

La severidad e intensidad de la sequía anual se fundamentaron en los criterios propuestos por Bravo et al. (2006) y Mendoza y Puche (2007). Los datos vectoriales de tipos de suelo y comunidades vegetales dominantes se obtuvieron del Portal de Geoinformación de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2021), procesando las capas de Edafología y Uso del Suelo y Vegetación de la Serie VII. La integración y delimitación final de las microrregiones analíticas se ejecutó mediante superposición cartográfica empleando el operador booleano AND.

Resultados y discusión

Tipo de suelos y vegetación dominante. Los resultados indican que los tipos de suelos dominantes corresponden a Litosol (41.39%), Redzina (12.04%) y Xerosol lúvico (9.40%) (Figura 1), asociados típicamente al tipo de vegetación de matorral desértico micrófilo y rosetófilo. Los usos de suelo y vegetación con mayor superficie fueron, agricultura de temporal anual (23.25%), vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural (12.74%), pastizal natural (9.11%) y vegetación secundaria arbustiva de matorral desértico micrófilo (6.28%) (Figura 2).

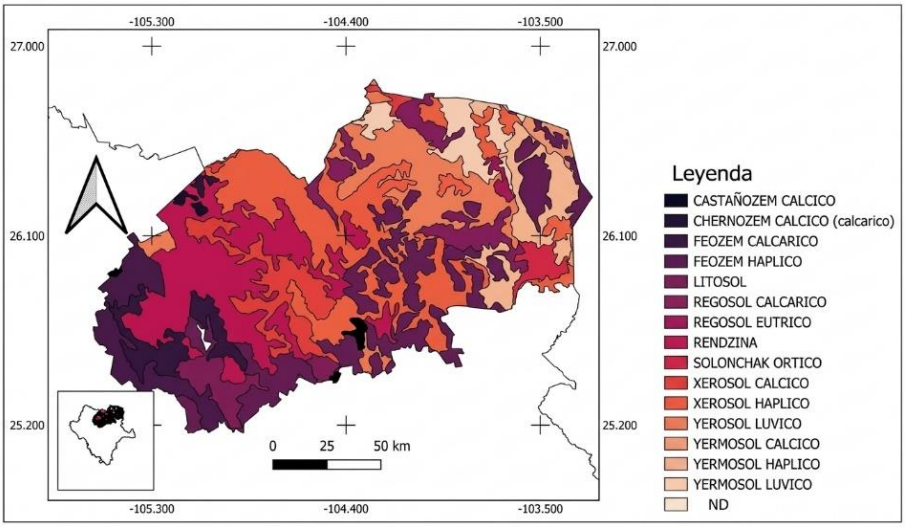


Figura 1. Tipos de suelo en la región de los municipios de Tlahualilo, Mapimi, Hidalgo, San Pedro del Gallo, Indé y El Oro. Elaboración propia con datos del geoportal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO] (2026).

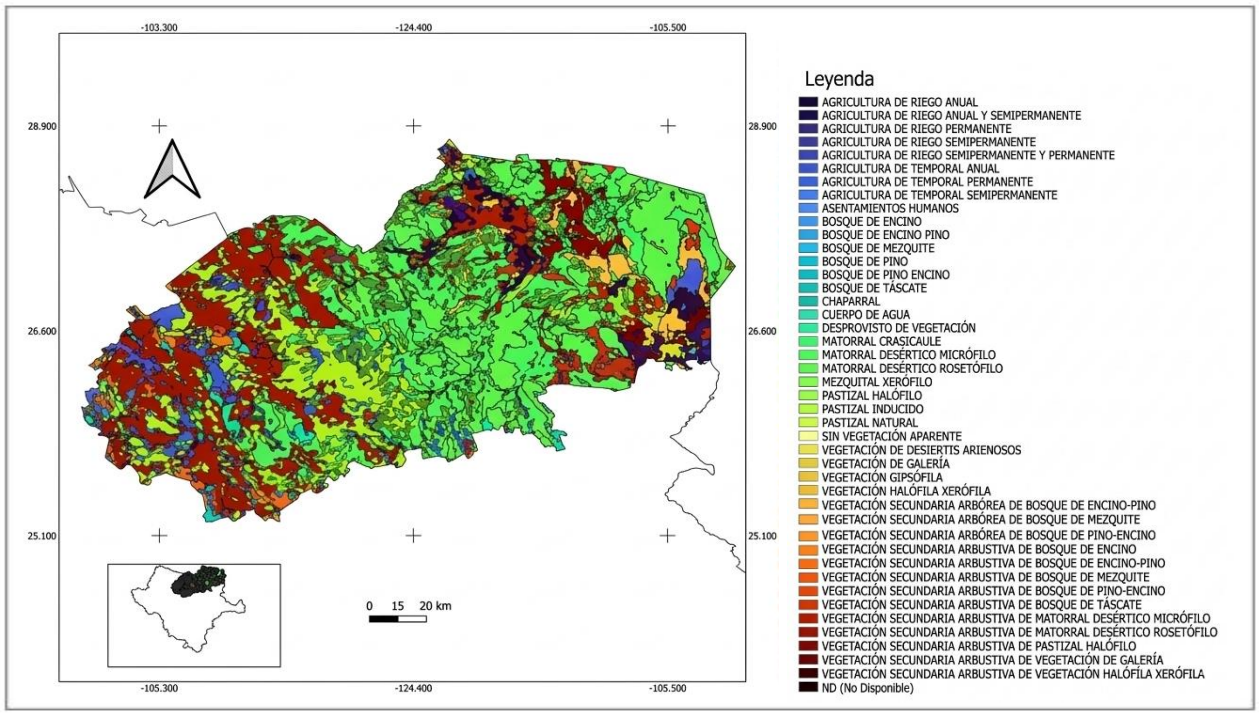


Figura 2. Uso de suelo y vegetación en la región de los municipios de Tlahualilo, Mapimi, Hidalgo, San Pedro del Gallo, Indé y El Oro. Elaboración propia con datos del geoportal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO] (2026).

Grado de aridez y sequía. Conforme a las categorías de aridez y distribución porcentual de las zonas áridas de México, se identificaron tres subregiones climáticas principales: la subregión, A2 (zona árida, la más seca de las zonas áridas) concentrada en Tlahualilo y Mapimí; y la subregión B2 (la menos árida de las zonas áridas) en la región oeste y noreste de los municipios de Mapimí y San Pedro del Gallo, respectivamente, y A3 (zona semiárida, la más árida de las zonas semiáridas) distribuida en los municipios de Hidalgo, San pedro del Gallo, Indé y El Oro (Cuadro 2).

Cuadro 2. Microrregiones resultantes con la integración de criterios de aridez, sequía y fisiografía para los municipios de Tlahualilo, Mapimí, Hidalgo, San Pedro del Gallo, Indé y El Oro, Durango, México.

Municipio	Índice de Aridez	Categoría de Aridez	Grado de Aridez	Clases de Sequía	Vegetación Dominante	Tipos de Suelo
San Pedro del Gallo	77.10	A3	La más árida de las zonas semiáridas	Mínima	Matorral desértico micrófilo y rosetófilo	Litosol / Xerosol lúvico
San Pedro del Gallo	82.53	A3				
Hidalgo	88.40	A3			Matorral xerófilo	Redzina / Xerosol haplico
Inde	90.64	A3				Redzina
Hidalgo	97.62	A3				Redzina / Xerosol haplico
Durango	102.54	A3			-	-
Inde	111.79	A3		Moderada	Matorral xerófilo / Pastizal natural	Redzina
El Oro	116.02	A3				Litosol / Feozem haplico
San Pedro del Gallo	120.91	B2	La menos árida de las zonas áridas	Moderada	Matorral desértico micrófilo / matorral desértico rosetófilo	Litosol / Xerosol lúvico
San Pedro del Gallo	127.60	B2		Moderada		
Mapimi	161.73	B2		Media	Matorral desértico micrófilo / matorral desértico rosetófilo	Litosol / Xerosol lúvico
Mapimi	196.26	B2				
Mapimi	197.23	B2				
Mapimi	200.13	B2				
Tlahualilo	256.47	A2	La más árida de las zonas áridas	Alta	Matorral desértico micrófilo / Matorral crasicaule	Litosol / Yermosol cálcico
Tlahualilo	262.61	A2				
Mapimi	263.35	A2			Matorral desértico micrófilo / Pastizal natural	Litosol / Xerosol lúvico
Gómez Palacio	342.24	A2			-	-
Tlahualilo	348.47	A2			Matorral desértico micrófilo / Matorral crasicaule	Litosol / Yermosol calcico
Tlahualilo	435.14	A2				

Micro regionalización. A partir del cruce de variables fisiográficas y climáticas, el territorio de los seis municipios quedó subdividido en 20 microrregiones y tres índices de aridez que lo describen como A2, B2 y A3 (Figura 3).

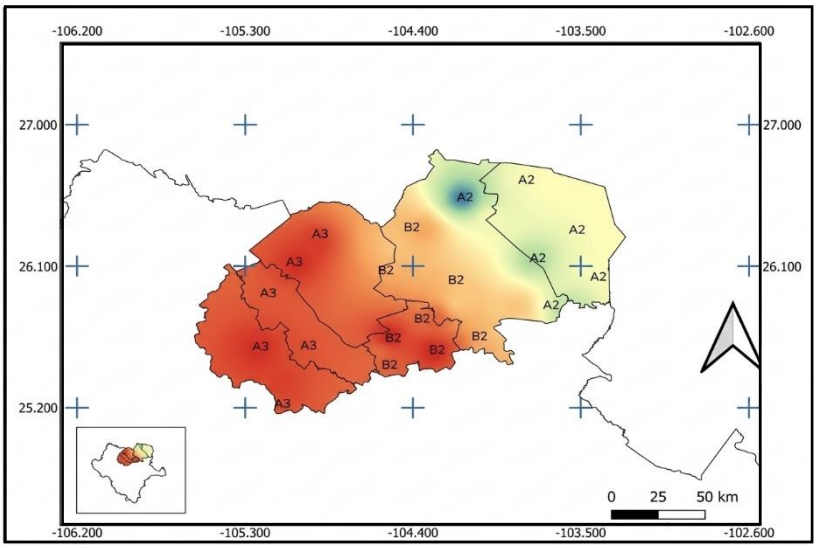


Figura 3. Microrregiones definidas por el índice de aridez en la región de los municipios de Tlahualilo, Mapimi, Hidalgo, San Pedro del Gallo, Indé y El Oro. Elaboración propia con datos del geoportal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO] (2026).

Conclusiones

El gradiente biofísico analizado confirma que el índice de aridez transita desde la categoría crítica A2 en el este semidesértico hasta la categoría B2 en los valles occidentales. La intensidad de la sequía dominante es de categoría alta a moderada en más del 70% de la zona de estudio, lo que condiciona la resiliencia de los matorrales y las actividades agropecuarias. La delimitación de las 3 categorías del índice de aridez obtenidas constituye una base sólida y un marco de referencia espacial para la formulación de políticas públicas de conservación de suelo, captación de agua de lluvia y reconversión productiva adaptada al cambio climático en el norte de Durango.

Referencias

Banco de México [BANXICO]. (2022). Sequía en México y su Potencial Impacto en la Actividad Económica. Banco de México. pp. 30-35. https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/informes-trimestrales/recuadros/%7B3A0127A1-D0C9-7D61-C9AE-E57E127FB39B%7D.pdf

Bravo, A.G., Salinas, G.H. y Rumayor, R.A. (2006). Sequía: Vulnerabilidad, impacto y tecnología para afrontarla en el Norte Centro de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. http://zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/SEQUIA_Vulnerabilidad_impacto_y_tecnologia_para_afrontarla_en_el_Norte_Centro_de_Mexico_2aEd.pdf

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2026). Portal de Geoinformación 2021. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Gobierno de México. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250s7gw

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2024). Monitor de Sequía en México (MSM). Servicio Meteorológico Nacional. Gobierno de México. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico.

Mendoza, N. y Puche, M. (2007). Evaluación de la ocurrencia de sequía en localidades de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía* (LUZ), 24, 661-678. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182007000400004&lng=es&nrm=iso

Pedroza, A. (1995). El déficit hídrico en las plantas: principios y técnicas de manejo. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Primera edición. Bermejillo, Durango. México.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2020). Desertificación y sequía, un panorama muy árido. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/desertificacion-y-sequia-un-panorama-muy-arido?idiom=es

Servicio Meteorológico Nacional [SMN]. (2024). Normales climatológicas por estado. Servicio Meteorológico Nacional. Gobierno de México. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado?estado=dgo

Stretta, E. J. y Mosiño, P. A. (1963). Distribución de las zonas áridas de la República Mexicana según un nuevo índice de aridez derivado del de Emberger. Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XVI No. 1.

Troyo-Diéguez, E., Mercado-Mancera, G., Cruz-Falcón, A., Nieto-Garibay, A., Valdez-Cepeda, R., García-Hernández, J. y Murillo-Amador, B. (2014). Análisis de la sequía y desertificación mediante índices de aridez y estimación de la brecha hídrica en Baja California Sur, noroeste de México. *Investigaciones Geográficas*, 85: 66-85. https://doi.org/10.14350/rig.32404

POTENCIAL ANTIFÚNGICO DE EXTRACTOS VEGETALES DE ZONAS ÁRIDAS PARA EL CONTROL DE *Fusarium* sp.

Alexis Javier Pérez-Alvarado[1], Erika Nava-Reyna[2*], María del Rosario Jacobo-Salcedo[2], Homero Sarmiento-López[3], Ricardo Trejo-Calzada[1], Aurelio Pedroza-Sandoval[1]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Km. 40 Carr. Gómez Palacio - Chihuahua, Bermejillo, Durango, México C.P. 35230. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera, Gómez Palacio, Durango, México. C.P. 35079. *Autor por correspondencia: nava.erika@inifap.gob.mx

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo de importancia tanto por su aporte nutricional, como económica, particularmente en América Latina (Uebersax et al., 2023). A pesar de ello, la producción de frijol es limitada por enfermedades causadas por hongos fitopatógenos, entre los que destaca *Fusarium oxysporum*. Este fitopatógeno causa marchitez y pudriciones radicales a la planta, que pueden ocasionar pérdidas importantes de rendimiento, especialmente en condiciones favorables para su desarrollo (Irvin et al., 2025).

El control de este patógeno se basa principalmente en fungicidas químicos. El problema es que el uso continuo de estos fungicidas puede generar resistencia y efectos ambientales adversos. Por tal motivo se buscan alternativas naturales con actividad antifúngica (Deresa & Diriba, 2023;). En este contexto, las plantas de zonas áridas son una fuente potencial de compuestos bioactivos. Las condiciones climáticas de estas zonas favorecen la producción de metabolitos secundarios en las plantas, reportándose la actividad antifúngica de diversas plantas de zonas áridas, aunque la información sigue siendo limitada (De Rodríguez et al., 2011; Zahedi et al., 2021). Por ello, este estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial antifúngico *in vitro* contra *Fusarium* sp. de extractos de especies vegetales nativas del desierto de Durango, al norte de México.

Materiales y métodos

Colecta de especies vegetales. Sangre de drago (*Jatropha dioica),* hojasén (*Flourensia cernua)*, cadillo (*Xanthium strumarium)* y girasol (*Helianthus annuus)* fueron recolectadas en las localidades 25 de diciembre (25°15'08.2"N, 104°03'07.7"W) y Agustín Melgar (25°15'52.6"N, 104°03'54.3"W), pertenecientes el municipio de Nazas, Durango, México. La colecta fue en el mes de junio del 2026, coincidiendo con el periodo de baja precipitación. El área está caracterizada por una temperatura media anual de 20.6 °C y una precipitación de 317 mm (Servicio Meteorológico Nacional [SMN], 2026).

Obtención de los extractos vegetales. Las partes aéreas y raíces de las plantas se cortaron en trozos de aproximadamente 5 cm, luego se sometieron a secado en estufa a 50 °C durante 48 h. Posteriormente, se realizó una maceración con etanol anhidro durante 15 días. Para cada especie se utilizaron 500 g de material vegetal y 1 L de etanol absoluto. El extracto obtenido se filtró mediante papel Double Rings No. 102 y posteriormente mediante un filtro de 45 µm. Finalmente, los extractos se almacenaron en recipientes ámbar hasta su uso a temperatura ambiente.

Aislamiento e identificación de los fitopatógenos. Se recolectaron plantas de frijol con síntomas de podredumbre en la localidad de Ignacio Allente, en el municipio de Guadalupe Victoria, Durango, México (24°26'55.6"N 103°56'31.2"O) y se almacenaron en bolsas estériles para su transporte al laboratorio. En laboratorio, el material vegetal se lavó con agua corriente y se desinfectó superficialmente mediante inmersión en etanol al 70%, hipoclorito de sodio al 2% y agua destilada.

Después se seccionaron tejidos sintomáticos y se colocaron en agar papa dextrosa (PDA). Las placas se incubaron a 28 ± 1 °C durante 7 días. Las colonias obtenidas fueron resembradas hasta obtener cultivos aislados. La identificación de *Fusarium* sp. se realizó mediante sus características morfológicas con ayuda de la literatura de Leslie & Summerell (2007).

Evaluación de la actividad antifúngica in vitro. La actividad antifúngica de los extractos se evaluó mediante la técnica de agar envenenado. Se adicionó y homogenizó 1 ml de cada extracto por placa al medio PDA antes de su solidificación. Al centro de cada placa se colocó un disco de agar de 3 mm de diámetro obtenido de cultivos activos de la cepa aislada de *Fusarium* sp. Por cada tratamiento se establecieron tres repeticiones, además de un control de PDA sin extracto. Las placas se incubaron a 28 ± 1 °C durante 7 días. El crecimiento micelial se registró diariamente mediante dos mediciones perpendiculares del diámetro de la colonia. Finalmente, se calculó el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial mediante la siguiente fórmula:

$$\%inhibición = \frac{T - M}{T} * 100$$

Donde:
T = Crecimiento en mm del testigo
M = Crecimiento en mm de las muestras problemas

Análisis estadístico. El análisis estadístico se realizó con el software SPSS IBM SPSS Statistics. Los supuestos de normalidad se verificaron mediante la prueba de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas con prueba de Levene al 95 % de confianza. Los datos de crecimiento micelial e inhibición se transformaron [$\log_{10}(x+1)$] para cumplir dichos supuestos. El crecimiento micelial se analizó mediante ANOVA univariado, y el porcentaje de inhibición mediante ANOVA de un factor. Las medias se compararon con la prueba de Tukey.

Resultados y discusiones

Los resultados de las cinéticas de crecimiento de *Fusarium* sp. se encuentran en la Figura 1. De acuerdo con el análisis estadístico, existió diferencia significativa relacionada con el tratamiento (F=318.49, p=0.000), el tiempo de incubación (F=171.72, p=0.000) y la interacción entre ambos factores (F=4.91, p=0.000). Así, el control sin extractos presentó el mayor crecimiento, seguido de sangre de drago y girasol, los cuales no difieren estadísticamente entre sí. Por otro lado, cadillo fue el que menor crecimiento fúngico presentó sin diferencia estadística con hojasén.

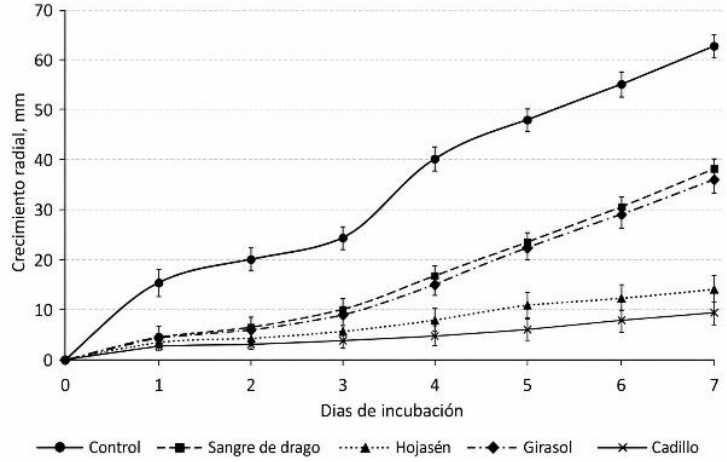


Figura 1. Cinéticas de crecimiento de Fusarium sp. con diferentes extractos en agar PDA envenenado.

En cuanto al porcentaje de inhibición del crecimiento radial del hongo fitopatógeno de estudio, todos los extractos demostraron efecto inhibitorio significativo (F=128.41, p=0.000), donde cadillo y hojasén demostraron ser los más potentes en comparación con sangre de drago y girasol (Figura 2).

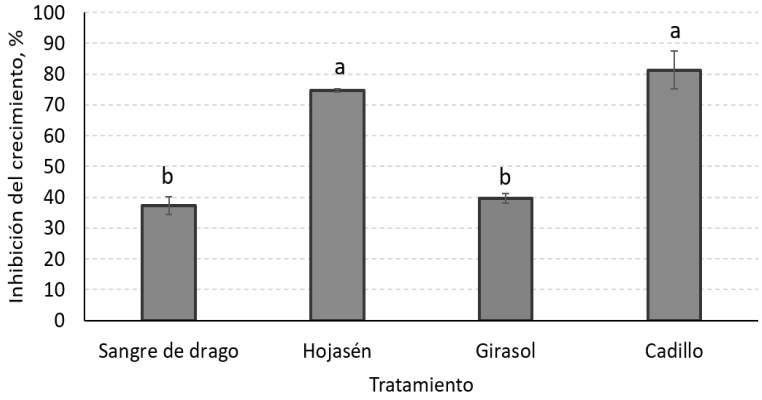


Figura 2. Porcentaje de inhibición del crecimiento radial de Fusarium sp. en agar PDA envenenado con diferentes extractos vegetales de zonas áridas a los 7 días de incubación.

Devkota y Das (2016) reportaron el 79% de inhibición micelial para *F. oxysporum* con extracto acuoso a 250 mg/ml. Además, los autores obtuvieron 100% de inhibición del crecimiento micelial a 150 mg/ml en extracto metanólico. Aunque las condiciones experimentales difieren entre ambos estudios, los resultados demuestran el potencial antifúngico de cadillo frente a especies de *Fusarium* sp. Esta actividad se relacionó con la presencia de terpenoides, flavonoides, taninos, saponinas y alcaloides, además de compuestos específicos como la xanthatina (Parveen et al., 2017). En hojasén se demostró que los extractos etanólicos de hojas inhiben a *F. oxysporum* por su contenido de sesquiterpenos y otros metabolitos fenólicos (Jasso de Rodríguez et al., 2017; Tellez et al., 2001).

En contraste, aunque en menor proporción, sangre de drago también mostró actividad frente a *Fusarium* sp., tal como reportaron Aguilar Galaviz et al., (2025), probablemente por la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides de acuerdo con los autores. Del mismo modo, la literatura confirma que el extracto de girasol también tiene actividad antifúngica frente a *Fusarium oxysporum* y otros fitopatógenos. Esta actividad se atribuyó a flavonoides, alcaloides, saponinas y taninos, lo que pudo generar el efecto fungistático del extracto de girasol probado en este estudio (Guo et al., 2017). La menor actividad antifúngica en comparación del hojasén y cadillo podría estar relacionada por una menor concentración de metabolitos secundarios (Corlatti et al., 2026).

Conclusiones

Los extractos etanólicos de las cuatro especies vegetales de zonas áridas evaluadas demostraron una actividad antifúngica significativa *in vitro* contra *Fusarium* sp. Los resultados destacan el cadillo y el hojasén como los tratamientos más eficaces, mientras que la sangre de drago y el girasol presentaron un efecto inhibitorio menor pero relevante. Estos hallazgos posicionan a las dos primeras especies como candidatas ideales para la identificación de sus compuestos activos y su posterior validación en condiciones de invernadero y campo. No obstante, para estandarizar su producción y optimizar sus mecanismos de acción, es necesario profundizar en el estudio de factores metodológicos y ambientales. El estudio de la estacionalidad de colecta, los órganos de la planta utilizados y la cuantificación de metabolitos secundarios consolidan las bases para el desarrollo de biofungicidas orientados al manejo sostenible de este patógeno en el cultivo de frijol.

Referencias

Aguilar Galaviz, L., Cadena Iñiguez, J., García Flores, D. A., Loera Alvarado, G., Rivera Escareño, D., & Ortega Amaro, M. A. (2025). Fungistatic and Bactericidal Activity of Hydroalcoholic Extracts of Root of Jatropha dioica Sessé. Microorganisms, 13(5), 1027. https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS13051027

Corlatti, A. M., Bach, H., Agudelo, I. J., Elso, O. G., Ricco, R., Laurella, L. C., & Sülsen, V. P. (2026). Phytochemical Insights and Biological Potential of the Helianthus Genus. Plants, 15(3), 401. https://doi.org/10.3390/PLANTS15030401/S1

De Rodríguez, D. J., García, R. R., Castillo, F. D. H., González, C. N. A., Galindo, A. S., Quintanilla, J. A. V., & Zuccolotto, L. E. M. (2011). In vitro antifungal activity of extracts of Mexican Chihuahuan Desert plants against postharvest fruit fungi. Industrial Crops and Products, 34(1), 960–966. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2011.03.001

Deresa, E. M., & Diriba, T. F. (2023). Phytochemicals as alternative fungicides for controlling plant diseases: A comprehensive review of their efficacy, commercial representatives, advantages, challenges for adoption, and possible solutions. Heliyon, 9(3), e13810. https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E13810

Devkota, A., & Kumari Das, R. (2016). Antifungal Activities and Phytochemical Screening of Xanthium strumarium. Bio Bulletin, 2(1), 121–127.

Guo, S., Ge, Y., & Na Jom, K. (2017). A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common sunflower seed and sprouts (Helianthus annuus L.). Chemistry Central Journal 2017 11:1, 11(1), 95-. https://doi.org/10.1186/S13065-017-0328-7

Irvin, M. J., Chilvers, M. I., Wright, E. M., Jacobs, J. L., Hoyos-Villegas, V., & Gomez, F. E. (2025). Response of Elite Dry Bean (Phaseolus vulgaris) Genotypes to Fusarium oxysporum and Rhizoctonia solani Root Rot. Plant Pathology, 74(9), 2682–2696. https://doi.org/10.1111/PPA.70038;WGROUP:STRING:PUBLICATION

Jasso de Rodríguez, D., Salas Méndez, E. de J., Rodríguez García, R., Hernández Castillo, F. D., Díaz Jiménez, M. L. V., Sáenz Galindo, A., González Morales, S., Flores López, M. L., Villarreal Quintanilla, J. A., Peña Ramos, F. M., & Carrillo Lomelí, D. A. (2017). Antifungal activity in vitro of ethanol and aqueous extracts of leaves and branches of Flourensia spp. against postharvest fungi. Industrial Crops and Products, 107, 499–508. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2017.04.054

Leslie, J. F., & Summerell, B. A. (2007). The Fusarium Laboratory Manual. The Fusarium Laboratory Manual, 1–388. https://doi.org/10.1002/9780470278376;WEBSITE:WEBSITE:PERICLES;ISPURCHASABLE:BOOLEAN:TRUE;PAGE:STRING:BOOK

Parveen, Z., Mazhar, S., Siddique, S., Manzoor, A., & Ali, Z. (2017). Chemical Composition and Antifungal Activity of Essential Oil from Xanthium strumarium L. Leaves. Indian Journal of Pharmaceutical Sciences, 79(2), 316–321. https://doi.org/10.4172/PHARMACEUTICAL-SCIENCES.1000232

Servicio Meteorológico Nacional. (2026). Normales climatológicas 1991–2020: Estación 10049, Nazas A. Agustín Melgar, Durango [Archivo de datos]. Comisión Nacional del Agua. https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales_Climatologicas/Normales9120/dgo/nor9120_10049.txt

Tellez, M., Estell, R., Fredrickson, E., Powell, J., Wedge, D., Schrader, K., & Kobaisy, M. (2001). Extracts of Flourensia cernua (L): volatile constituents and antifungal, antialgal, and antitermite bioactivities. Journal of Chemical Ecology, 27(11), 2263–2273. https://doi.org/10.1023/A:1012283005014

Uebersax, M. A., Cichy, K. A., Gomez, F. E., Porch, T. G., Heitholt, J., Osorno, J. M., Kamfwa, K., Snapp, S. S., & Bales, S. (2023). Dry beans (Phaseolus vulgaris L.) as a vital component of sustainable agriculture and food security—A review. Legume Science, 5(1), e155. https://doi.org/10.1002/LEG3.155;ISSUE:ISSUE:DOI

Zahedi, S. M., Karimi, M., & Venditti, A. (2021). Plants adapted to arid areas: specialized metabolites. Natural Product Research, 35(19), 3314–3331. https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1689500

EXPERIENCIAS EN LA SELECCIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES PARA LA REVEGETACIÓN DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS EN CHIHUAHUA Y DURANGO

José Luis García Pérez[1*], Gabriel Sosa Pérez[1], Pedro Jurado Guerra[1]

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Campana. Carr. Chihuahua - Ojinaga km 33. Cd. Aldama, Chihuahua, México. C.P. 32910. *Autor de correspondencia: garciap.luis@inifap.gob.mx

Introducción

Las zonas áridas y semiáridas del norte de México albergan ecosistemas de matorral y pastizal de importancia ecológica, productiva y social y cubren aproximadamente el 40 % del territorio nacional. En el caso del desierto chihuahuense, conformado principalmente por matorrales y pastizales, este ecosistema posee un alto valor ecológico, sostiene una amplia diversidad de especies y constituye la base productiva de la ganadería extensiva. Sin embargo, estos ecosistemas enfrentan procesos de degradación asociados con el cambio de uso del suelo, aprovechamiento intensivo de los recursos maderables y no maderables y el sobrepastoreo, cuyos efectos incluyen erosión del suelo, modificación del hábitat y pérdida de biodiversidad (Carreón, 2014; CONABIO, 2014). Esta problemática se intensifica por las condiciones ambientales adversas de las regiones áridas y semiáridas, caracterizadas por precipitación baja e irregular, periodos prolongados de sequía, temperaturas extremas, alta radiación y evaporación, lo que incrementa su vulnerabilidad al cambio climático (Peterson et al., 2002).

La pérdida acelerada de la cobertura vegetal propicia procesos erosivos que repercuten en la degradación de los suelos. Ante este escenario, se han implementado numerosos esfuerzos de revegetación y restauración para la recuperación de estos ecosistemas, mediante acciones de reforestación y obras de conservación y captación de agua; sin embargo, los resultados han sido infructuosos. Por un lado, las recomendaciones técnicas disponibles para realizar estas acciones están diseñadas en su mayoría para zonas templadas, por lo que, pese a estas recomendaciones, existe una gran heterogeneidad de prácticas. Con base en este contexto, en este trabajo se presentan de manera descriptiva las experiencias prácticas recabadas de productores, técnicos y responsables de instituciones dedicadas a la gestión de recursos naturales de las zonas semiáridas de los estados de Chihuahua y Durango. El objetivo es analizar y documentar las experiencias relacionadas con los criterios y selección de especies, su desempeño en campo, así como de enmiendas como prácticas alternativas empleadas en acciones de revegetación y restauración de terrenos degradados La experiencia acumulada de estos actores constituye una fuente de conocimiento relevante, debido a que el éxito de las acciones de restauración depende de las características particulares de cada sitio a restaurar tales como las características del suelo, topografía, precipitación y vegetación local.

Materiales y métodos

La información presentada en este trabajo se obtuvo mediante talleres de intercambio de experiencias dirigidos a productores, técnicos y representantes de instituciones académicas y organizaciones dedicadas a la revegetación, restauración y conservación de terrenos degradados en zonas áridas y semiáridas del norte de México. Estos talleres formaron parte de un proceso de recopilación y sistematización de las principales estrategias técnicas empleadas para la conservación y restauración de suelos, como apoyo para mitigar y revertir el deterioro de los matorrales y pastizales apoyado por PRONATURA NORESTE, A.C.

El primer taller se realizó el 19 de julio de 2024 en las instalaciones del Campo Experimental La Campana del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Chihuahua, con la participación de 31 personas, entre productores, técnicos y representantes de dependencias gubernamentales relacionadas con el manejo y conservación de los recursos naturales. El segundo se llevó a cabo el 29 de agosto de 2024 en el Campo Experimental Valle del Guadiana del INIFAP, Durango, con la participación de 19 personas. Se aplicaron cuestionarios estructurados con el fin de documentar las experiencias y prácticas empleadas en lo referente a las actividades de revegetación y restauración. Para ello se analizaron seis aspectos: 1) especies más frecuentes utilizadas en los sitos a repoblar de los diferentes tipos funcionales (especies arbóreas, arbustivas, pastos y especies no maderables) utilizadas con mayor frecuencia; 2) criterios para la selección de las especies; 3) porcentaje de supervivencia más común al primer año de establecimiento; 4) uso de productos para mejorar la supervivencia de las plantas; 5) efectividad percibida de dichos productos; y 6) percepción sobre la supervivencia de plantas producidas en bolsa respecto al sistema de producción empleado tradicional (bolsa de polietileno) o tecnificado (charol o tubetes de plástico rígido).

Las respuestas fueron revisadas, depuradas y agrupadas en categorías homogéneas. Para las especies se contabilizó el número de menciones de cada especie, independientemente de la posición ocupada en el orden de respuesta, y se calculó su frecuencia relativa respecto al total de menciones de cada sede. Los nombres comunes fueron estandarizados y, cuando la información permitió su identificación, se asociaron con su correspondiente taxón y tipo funcional. En las preguntas de respuesta única se calcularon frecuencias y porcentajes con respecto al número de respuestas válidas; para las preguntas de selección múltiple, los porcentajes se calcularon respecto al total de menciones registradas. Las respuestas abiertas se agruparon por similitud de contenido para identificar patrones recurrentes. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva, utilizando frecuencias absolutas y relativas, y los resultados se presentan mediante cuadros y gráficas comparativas entre las dos sedes. Debido al carácter descriptivo del estudio y a que el número de respuestas válidas varió entre preguntas, los porcentajes se calcularon con base en las respuestas efectivamente registradas para cada variable.

Resultados y discusión

Las especies utilizadas mostraron diferencias entre las experiencias de restauración de Chihuahua y Durango (Cuadro 1). En Chihuahua destacaron el chamizo (*Atriplex* spp.; 21.0 %) y el mezquite (*Neltuma* spp.; 17.7 %), mientras que en Durango predominó el mezquite (24.3 %), seguido de agaves o magueyes (*Agave* spp.; 16.2 %), orégano (*Lippia* spp.; 13.5 %) y nopal (*Opuntia* spp.; 10.8 %). La diversidad de especies y tipos funcionales empleados refleja una selección diferenciada de recursos vegetales de acuerdo con las condiciones y experiencias regionales.

Cuadro 1. Especies mencionadas en proyectos de revegetación y restauración de terrenos degradados en Chihuahua y Durango.

Nombre común	Nombre científico	Tipo funcional	Chihuahua (%)	Durango (%)
Mezquite	*Prosopis spp.*	Arbórea/arbustiva	17.7	24.3
Chamizo	*Atriplex spp.*	Arbustiva	21.0	2.7
Orégano	*Lippia spp.*	Arbustiva / no maderable	0.0	13.5
Nopal	*Opuntia spp.*	Cactácea / no maderable	0.0	10.8
Candelilla	*Euphorbia antisyphilitica Zucc.*	Arbustiva / no maderable	9.7	0.0
Zacate buffel	*Cenchrus ciliaris L.*	Pasto (gramínea)	9.7	0.0
Agave / Maguey	*Agave spp.*	Suculenta / no maderable	0.0	16.2
Huizache	*Vachellia spp.*	Arbórea/arbustiva	8.1	8.1
Sotol	*Dasylirion spp.*	Suculenta / no maderable	8.1	0.0
Lechuguilla	*Agave lechuguilla Torr.*	Suculenta / no maderable	3.2	8.1
Otras especies	—	Diversos tipos funcionales	22.6	16.2

Nota. Los porcentajes corresponden a la proporción de menciones registradas en cada sede. Los nombres científicos se presentan al nivel taxonómico que puede sustentarse a partir del nombre común registrado; "spp." indica que el nombre común puede corresponder a más de una especie. La categoría "Otras especies" agrupa taxones con menor frecuencia de mención.

Esta tendencia coincide con los criterios de selección (Figura 1), ya que en ambos estados el principal criterio fue la presencia de la especie en el área (51.5 % en Chihuahua y 50.0 % en Durango), seguido de la resistencia a la sequía (33.3 y 35.7 %, respectivamente). La preferencia por especies locales y tolerantes al estrés resulta particularmente relevante en ambientes donde la precipitación baja e irregular, las sequías prolongadas, las temperaturas extremas y la elevada evaporación limitan el establecimiento vegetal (Peterson et al., 2002).

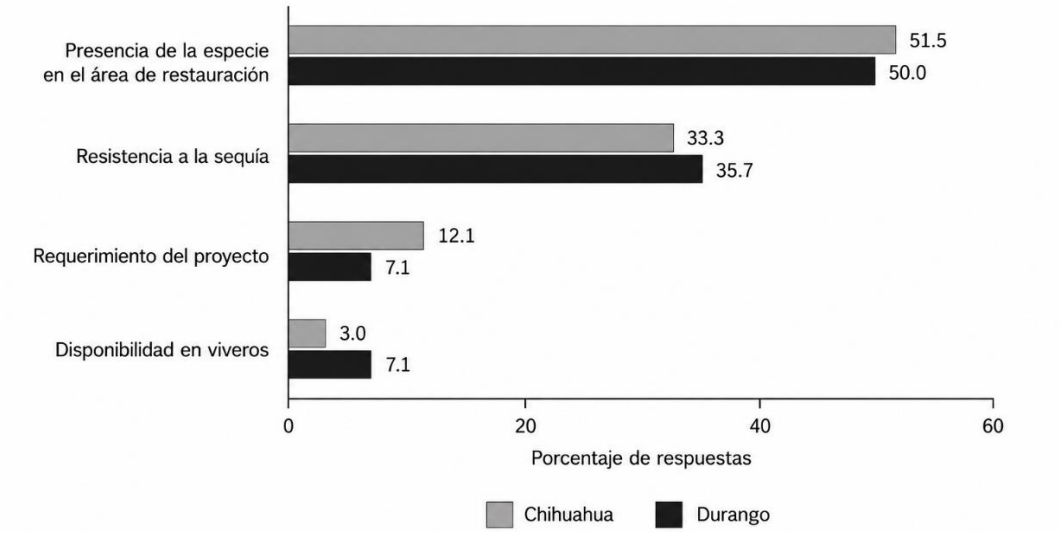


Figura 1. Criterios para la selección de especies para la reforestación de zonas áridas y semiáridas según los encuestados en los estados de Durango y Chihuahua.

La percepción de supervivencia al primer año de plantado se concentró principalmente entre 26 y 50 % según los encuestados en ambos estados (Figura 2a), y ningún participante señaló como común una supervivencia superior al 75 %. Esto evidencia que el establecimiento constituye una limitante importante para la revegetación en zonas áridas y semiáridas, donde las estadísticas anuales indican tasas de supervivencia inferiores al 50% (Prieto y Goeche, 2016).

La baja disponibilidad de agua y las condiciones edáficas pueden limitar considerablemente la supervivencia y el crecimiento de las plantas, mientras que la efectividad de las prácticas destinadas a mejorar su establecimiento puede variar entre los sitios (Valdecantos et al., 2014).

El hidrogel fue el producto más utilizado para mejorar la supervivencia, con más de la mitad de las respuestas en ambos estados (Figura 2b). Sin embargo, su efectividad se percibió como regular en Chihuahua y buena en Durango (Figura 2c). Esta variación concuerda con la evidencia disponible para zonas secas, donde los efectos de los geles hidrofílicos sobre el establecimiento de plantas no han sido consistentes entre estudios, por lo que su respuesta puede depender de las condiciones del sitio y del método de establecimiento (Cortina et al., 2013).

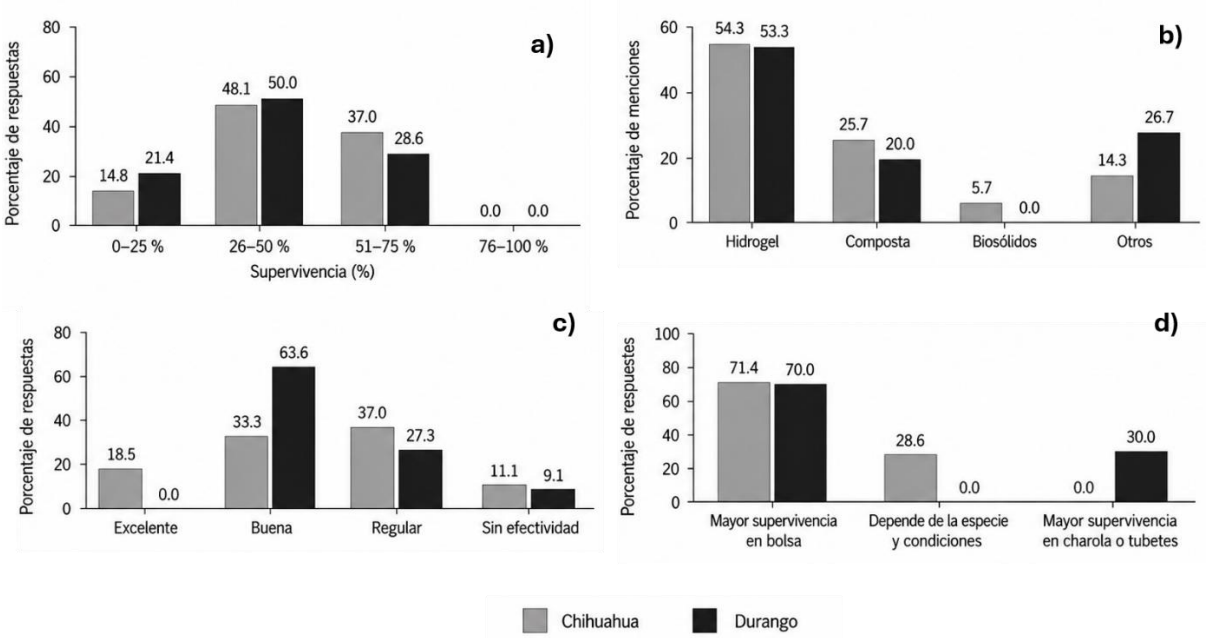


Figura 2. Supervivencia al primer año de plantado a) productos utilizados para mejorar la supervivencia, c) efectividad percibida de los productos y d) percepción de supervivencia en función del sistema de producción recabada en experiencias prácticas en los estados de Durango y Chihuahua.

Finalmente, en cuanto al sistema de producción, contrario a lo esperado, alrededor del 70 % de los participantes consideraron que las plantas producidas en bolsa presentan mayor supervivencia (Figura 2d). No obstante, las respuestas restantes indican que este comportamiento puede depender de la especie y de las condiciones ambientales o favorecer a las plantas producidas en charola o tubete. En conjunto, los resultados muestran que el éxito de la revegetación depende de la interacción entre selección de especies adaptadas, condiciones del sitio, sistema de producción de planta y prácticas de establecimiento, lo que resalta la necesidad de adaptar las estrategias de restauración a las condiciones particulares de cada región.

Conclusiones

Las experiencias recopiladas en Chihuahua y Durango muestran que las acciones de revegetación en zonas áridas y semiáridas se basan principalmente en la selección de especies presentes en la región y reconocidas por su resistencia a la sequía. Sin embargo, la supervivencia al primer año sigue siendo una limitante importante, al concentrarse principalmente entre el 26 % y el 50 %. Aunque el hidrogel fue el producto más utilizado para favorecer el establecimiento, su efectividad mostró discrepancia entre los usuarios. Asimismo, predominó la percepción de una mayor supervivencia de las plantas producidas en bolsa. En conjunto, los resultados resaltan la importancia de integrar especies adaptadas localmente, condiciones particulares del sitio, calidad y sistema de producción de planta y prácticas de establecimiento, así como aprovechar el conocimiento generado por productores y técnicos para orientar estrategias de restauración en las zonas áridas y semiáridas del norte de México

Referencias

Carreón, H. E. (2014). Cambio de uso de suelo: un problema de conservación. Pastizal. En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Ed.), *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de estado* (pp. 326–329).

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2014). *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de estado*.

Granados-Sánchez, D., Sánchez-González, A., Granados Victorino, R. L., & Borja de la Rosa, A. (2011). Ecología de la vegetación del desierto chihuahuense. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 17*(Edición especial), 111–130. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.10.102 SciELO México

Padilla, F. M., Miranda, J. de D., Ortega, R., Hervás, M., Sánchez, J., & Pugnaire, F. I. (2011). Does shelter enhance early seedling survival in dry environments? A test with eight Mediterranean species. *Applied Vegetation Science, 14*(1), 31–39. https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2010.01094.x Wiley Online Library

Peterson, A. T., Ortega-Huerta, M. A., Bartley, J., Sánchez-Cordero, V., Soberón, J., Buddemeier, R. H., & Stockwell, D. R. B. (2002). Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature, 416*, 626–629. https://doi.org/10.1038/416626a

Prieto, R., J.A. y Goeche, T., J.R. (2016) Las Reforestaciones en México: Problemática y Alternativas de Solución. (Primera Edición) Editorial UJED.

Valdecantos, A., Fuentes, D., Smanis, A., Llovet, J., Morcillo, L., & Bautista, S. (2014). Effectiveness of low-cost planting techniques for improving water availability to *Olea europaea* seedlings in degraded drylands. *Restoration Ecology, 22*(3), 327–335. https://doi.org/10.1111/rec.12076

CONTENIDO DE MICROMINERALES EN SEMILLAS DE FRIJOL CAUPÍ (*Vigna unguiculata* L. Walp), DE LA REGIÓN NORTE DEL ESTADO DE GUERRERO

Oscar Martín Antúnez-Ocampo[1], Maria del Rosario Jacobo-Salcedo[2], Erika Nava-Reyna[2], José Luis Solís-Bonilla[3,] Filiberto Anzures-Olvera[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) -Campo Experimental Iguala. Iguala de la Independencia, Guerrero. México. CP. 40000. [2]INIFAP-CENID RASPA. Gómez Palacio, Durango. México. CP. 35079. [3]INIFAP-Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Tapachula, Chiapas, México. CP. 30870. *Autor de correspondencia: antunez.oscar@inifap.gob.mx

Introducción

El fríjol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) es una leguminosa anual; originaria de África e India, y se cultiva ampliamente en áreas tropicales y subtropicales (Carvalho et al., 2012). El grano es utilizado como fuente de proteína, calorías, fibra, minerales y vitaminas (Kabas et al., 2007) especialmente en los estratos de bajos ingresos económicos, debido a su bajo costo de producción y acceso económico-social (Frota et al., 2008). Cabe señalar que esta leguminosa ocupa el segundo lugar después de los cereales como fuente de carbohidratos y proteínas en la dieta humana (Gupta et al.,2010).

En México, especialmente en la región Sur–Sureste se ha heredado una tradición culinaria altamente variada y saludable. Sin embargo, la modernización y el crecimiento de la industria alimentaria han generado cambios en los hábitos alimenticios, disminuido poco a poco el consumo de platillos tradicionales basados en maíz, frijol y otros cultivos ricos en nutrimentos procedentes de la milpa (Márquez-Molina et al., 2025). Para superar estas problemáticas en la alimentación de la población del estado de Guerrero, los cultivos tradicionales como el frijol u otras leguminosas desempeñan un papel importante en la seguridad alimentaria de una comunidad o región, ya que son una fuente constante de alimentos, con alto contenido de proteínas, vitaminas y minerales, y son menos costosos que la carne (res, puerco o aves de corral), productos lácteos y mariscos, lo que ayuda a los agricultores de bajos ingresos económicos combatir la desnutrición proteica (Sáenz-Rojas et al., 2018; Arellano-Narváez et al., 2023).

En Guerrero, el frijol caupí se le conoce regionalmente como frijol chino, mongo, judío o chícharo de vaca, y se siembra en pequeñas superficies como monocultivo o asociado con maíz (*Zea mays* L.) en el sistema milpa, principalmente en condiciones de temporal, donde su cosecha se destina para el autoconsumo (Olivares-Pérez et al., 2025) Entre los genotipos que se siembran en el estado, destacan los de grano de color cobrizo, hueso, beige y negro (Figura 1). A pesar de la importancia del frijol caupí en la gastronomía y la dieta de la población guerrerense y en la región sur- sureste, se tienen pocos estudios sobre esta especie y del valor nutrimental de la semilla (Latournerie-Moreno et al., 2006). En este sentido, se planteó el objetivo de determinar el contenido micromineral presente en semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) sembradas en la región Norte del estado de Guerrero. La hipótesis planteada fue que al menos una población de frijol caupí presenta un contenido mineral diferente al resto de las poblaciones recolectadas

Materiales y métodos

Germoplasma. Se utilizaron semillas de frijol caupí con edad de un año, que fueron recolectadas directamente con productores de tres municipios de la región Norte del estado de Guerrero (Cuadro 1; Figura 1), donde la mayoría de ellos los cultivan en el sistema milpa, ya sea asociando o intercalado con maíz (*Zea mays* L.).

Cada población de frijol caupí recolectada se resguardo en recipientes de plástico con capacidad de 1 L y se etiquetó con sus respectivos datos (coordenadas geográficas, nombre común y usos). Posteriormente, se conservaron en un cuarto con temperatura promedio de 18.3 °C, ubicado en el Campo Experimental Iguala.

Cuadro 1. Poblaciones de frijol caupí recolectadas en municipios de la región Norte del estado de Guerrero.

Municipio/Localidad	Altitud /Coordenadas	Código	Nombre común	Color principal de la semilla
Cuetzala del Progreso / Chilacachapa	1 660 msnm/ 18.2732,-99.7613	CU-8		Dorado
General Canuto A. Neri / Ixtepec	992 msnm/ 18.4768, -100.974	GC-3	Frijol chino	Dorado
Teloloapan/ Oxtotitlán	1 087 msnm/ 18.1894, -99.9316	OX-2		Café



Figura 1. Semillas de poblaciones de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) recolectadas en la región Norte del estado de Guerrero.

Tratamientos y diseño experimental. Los tratamientos en estudio fueron tres poblaciones recolectadas de frijol, que localmente son conocidas como frijol chino o frijol ejotero (Figura 1). El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, con tres repeticiones, donde cada repetición estuvo constituida por 60 g de semilla representativa de cada población.

Análisis químico de las semillas. Los análisis de las semillas se realizaron en el laboratorio de suelos del CENID - RASPA del INIFAP, en Gómez Palacio, Durango, México. Para la determinación de los minerales se siguieron los pasos descritos en el Manual de Laboratorio elaborado por Plenecassagne et al. (1997) y Handbook of Reference Methods for Plants Analysis de la CDC (Kalra, 1998) realizando un secado de la muestra a peso constante a 75 °C dentro de una estufa de aire forzado, después su trituración y homogenización a un tamaño de malla menor a 0.5 mm (polvo fino), posterior a esto se empleó una masa de 0.2 g de muestra para ser digestada con una mezcla ácida de nítrico – perclórico a 145 °C por 2 horas, llevando a casi sequedad y aforadas a 10 mL con agua destilada para su análisis por espectrofotometría de absorción atómica en un Analyst700 Perkin Elmer® (AACC, 2000). Para la cuantificación de micronutrientes (hierro, cobre, manganeso y zinc) se realizó a partir del digestado, en todos los casos se empleó la técnica de aspiración directa. Como control de calidad en las determinaciones analíticas se empleó el material de referencia certificado NIST® SRM® 1573a de hojas de tomate, logrando recobros (fracción de analito adicionada a una muestra de prueba previa al análisis) superiores al 95 % para los analitos citados. Finalmente, los contenidos de los minerales (Fe, Cu, Mn y Zn) se expresaron en mg. Estas mediciones se definieron como las variables en estudio.

Análisis estadístico. Los resultados del análisis químico se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA, $\alpha \leq 0.05$) y a las variables que resultaron significativas se les realizó una prueba de comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$) con el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0 (SAS Institute 2002).

Resultados y discusión

El contenido micromineral (Fe, Zn, Mn) de la semilla del frijol caupí presentó variación significativa ($\alpha \leq 0.05$) por efecto de la población en estudio (Cuadro 2), solo el Cu mostró un contenido estadísticamente igual entre poblaciones ($\alpha > 0.05$). El Cu varió de 6.88 a 9.84 mg, con promedio de 7.84 mg; no obstante, el valor más alto se registró con CU-8. El Fe osciló de 37.41 a 54.41 mg, siendo las semillas de CU-8 y OX-2 estadísticamente iguales pero superiores a GC-3. Mientras que, el contenido de Zn fue de 45.75 a 80.64 mg, sobresaliendo las semillas de OX-2, que superaron en más del 50% al contenido registrado en semillas de CU-8 y GC-3. En el caso de Mn, las semillas de OX-2 presentaron el contenido más alto, estadísticamente superiores a las de CU-8, en el caso de GC-3 el contenido de este mineral no fue determinado

Cuadro 2. Significancia estadística de los contenidos (mg) de macrominerales en semillas de frijol caupí cultivados en la región Norte del estado de Guerrero.

F. V.	Cu	Fe	Zn	Mn
p-evalue	0.0001*	0.0001*	0.0001*	0.0001*
CU-8	9.84 a	54.41 a	46.42 b	1.73 b
GC-3	6.81 a	37.87 b	45.75 b	ND
OX-2	6.89 a	51.37 a	80.64 a	7.05 a
Media (mg)	7.84	47.88	57.60	4.92
C.V. (%)	21.45	9.55	5.04	2.01

C. V. = coeficiente de variación. *= significativo, $\alpha \leq 0.05$. Cu = cobre, Fe = hierro, Zn = zinc , Mn = manganeso. DMS = diferencia mínima significativa. Medias con letras diferentes en cada mineral son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). ND = no determinado

Los resultados encontrados en las semillas de frijol caupí del estado de Guerrero, son coherentes con los de Morales-Morales et al. (2016), que reportaron contenidos entre 48 y 79 mg de Fe y con lo encontrado en frijol caupí biofortificado donde el Zn osciló de 43 a 65 mg kg^{-1} (Márquez-Quiroz et al., 2018). En Colombia, Cardona-Villadiego et al. (2020) reportó que las semillas de ocho líneas de frijol caupí registraron contenidos de Fe de 54.6 mg kg^{-1}, Zn de 53.4 mg kg^{-1}, valores que se relacionan con la presente investigación.

Esta variación podría obedecer a la capacidad de profundización de raíces y toma de nutrientes para su traslado al órgano de interés (Singh et al., 2017). Asimismo, **la** calidad nutricional del grano estará influenciada por el cultivar y factores antinutricionales, tiempo de almacenamiento y tratamiento térmico (Frota et al., 2008).

Cabe señalar que, los contenidos encontrados pueden satisfacer la demanda diaria de niños, mujeres embarazadas y, en general, de adultos (USDA, 2019). Lo anterior, sugiere que el consumo de estos genotipos es ventajoso para reducir los problemas de carencia de zinc de poblaciones vulnerables, por la denominada malnutrición proteinoenergética (Hurtado-Quintero et al., 2016), ya que satisface las demandas biológicas.

Los estos resultados resaltan la variabilidad genética para nutrientes esenciales en la alimentación humana, cuyo germoplasma puede utilizarse en programas de mejoramiento genético para mejorar la calidad de los alimentos, lo cual tiene una gran demanda a nivel internacional. En este sentido, los fitomejoradores tienen como uno de sus objetivos desarrollar cultivares biofortificados en diversas especies, entre las que se destacan yuca, papa, maíz, arroz, trigo, fríjol común y fríjol caupí, en este último con mayores contenidos de hierro y zinc (Morales-Morales et al., 2016).

Conclusión

Las semillas de *V. unguiculata* cultivadas en la región Norte del estado de Guerrero mostraron diferencias en el contenido micromineral (Fe, Zn y Mn). En este sentido, el genotipo influyó en la calidad de la semilla, teniendo en orden de abundancia al Zn > Fe > Cu > Mn. En general, la variabilidad observada en el contenido mineral de los frijoles puede relacionarse con él genotipo y las prácticas agrícolas que utilizan los productores, y a las condiciones edafoclimáticas donde se cultivan.

Referencias

AACC. (2000). Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. Vol. I y II.

Arellano-Narváez, R., Escamilla-García, P. E., & Zavala-Cortés, A. (2023). Inocuidad y soberanía alimentaria en gastronomía tradicional del centro y Montaña de Guerrero: una revisión crítica. Estudios sociales. *Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional, 33*(62), e231337.

Cardona-Villadiego, C. E., Araméndiz-Tatis, H., Espitia-Camacho, M. M., & Cardona-Ayala, C. E. (2020). Evaluación agronómica y nutricional de ocho líneas de fríjol Caupí (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, *12*(1), 29-38.

Carvalho, A. F. U., Mateus, N., Farias, D., Brito, L., Pereira, R., Viana, M., Gouveia, S., Sampaio, S., Barbosa, M., Gomes, G., Morais, S., Costa, C., & Freire, F. (2012). Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determinationof antioxidant capacity and vitamins, *Journal of Food Composition and Analysis, 26*(1), 81-88.

Frota, K., Soares, R., & Arêas J. (2008). Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. *Ciênc. Tecnol. Aliment., 28*(2), 470-476.

Gupta, P., Singh, R., Malhotra, S., Boora, K. S., & Singal, H. R. (2010). Characterization of seed storage proteins in high protein genotypes of cowpea [Vigna unguiculata (L.) Walp.]. *Physiol. Mol. Biol. Plants, 16*(1), 53-57

Hurtado-Quintero, C., Mejía, C., Mejía, F., Arango, C., Chavarriaga, L. M., & Grisales-Romero, H. (2016). Malnutrición por exceso y déficit en niños, niñas y adolescentes, Antioquia, 2015. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, *35*(1), 58-70.

Kabas, O., Yilmaz, E., Ozmerzi, A., & Akinci I. (2007). Akinci. Some physical and nutritional properties of cowpea seed (*Vigna sinensis* L.). *Journal of Food Engineering, 79* (4), 1405-1409.

Kalra, Y. P. (1998). Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Boca Raton. Florida. 300 p.

Latournerie-Moreno, L., Tuxill, J., Moo, E. Y., Reyes, L. A., Alejo, J. C., & Jarvis, D. I. (2006) Traditional Maize Storage Methods of Mayan Farmers in Yucatan, Mexico: *Implications for Seed Selection and Crop Diversity. Biodiversity & Conservation 15*, 1771-1795.

Márquez-Molina, O., Rojas- Contreras, I. I., & Espinosa- Ayala, E. (2025). Alimentos tradicionales: Tesoros de la cultura y pilares de la seguridad alimentaria. *Revista Investigium IRE Ciencias Sociales Y Humanas, 16*(01), 183-208.

Márquez-Quiroz, C., de la Cruz-Lázaro, E., Osorio-Osorio, R., Sánchez-Chávez, E., Huijara-Vasconcelos, J. J., & Sida-Arreola, J. P. (2018). Contenido de zinc y rendimiento de frijol caupí biofortificado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4175- 4185

Morales-Morales, A. E., de la Cruz-Lázaro, E., Osorio-Osorio, R., Sánchez, C. E., Montemayor, T. A., & Márquez-Quiroz, C. (2016). Contenido mineral y rendimiento de germinados de frijol caupí biofortificados *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 17*: 3415-3425.

Olivares-Pérez, J., Rodríguez, M. S., Rojas, H. S., Romero, R. T., Damián, V. M., Jiménez, L. Vania & Sarabia, S. L. (2025). Prácticas de manejo para la producción de (*Vigna ung*uiculata [L.] Walp) en productores del Municipio de Pungarabato, Guerrero, México. *Polibotánica 60*.

Plenecassagne, A., Romero-Fierro, E., & Lopez-Borrego, C. (1997). Manual de Laboratorio, Analisis de suelos, aguas, plantas, Gomez Palacio: CENID RASPA.

SAS Institute. (2002). SAS/STAT User's Guide. Version 9.1. Volumes 1 - 7. SAS Institute. Cary, NC, USA.

Singh, V., Singh, A.K., Singh, M.K., Raghuvanshi, T., & Singh, U. (2017). Morphological and Yield Traits of Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) under Integrated Nutrient Management. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, *6*(10), 3402-3407.

U.S. Department of Agriculture (USDA). (2019). Agricultural Research Service. FoodData Centralexternal link disclaimer.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA MATERIA ORGÁNICA Y SU CONTRIBUCIÓN AL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS AGRÍCOLAS CON APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGANICAS

Alan Javier Tinoco Delgadillo[1], Eva Aurora Bautista Calderón[2]*, Cristo Omar Puente Valenzuela[2]

[1]Facultad de Agricultura y Zootecnia, División de Estudios de Posgrado, Universidad Juárez del Estado de Durango, Ejido Venecia, Durango, C.P. 35111, México. [2]Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, km 6.5 margen derecha del Canal Sacramento, Gómez Palacio, Durango, C.P. 35140, México.*Autor para correspondencia: bautista.eva@inifap.gob.mx

Introducción

El suelo constituye uno de los principales reservorios de carbono de los ecosistemas terrestres y desempeña un papel fundamental en el funcionamiento de los agroecosistemas. En este contexto, la materia orgánica del suelo (MOS) es un componente esencial, debido a su influencia sobre propiedades físicas, químicas y biológicas relacionadas con la agregación, la retención de agua, la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana. A su vez, el carbono orgánico del suelo (COS) constituye uno de los principales componentes de la MOS y es ampliamente utilizado como indicador de la calidad del suelo, de su capacidad de almacenamiento de carbono y de los cambios asociados con las prácticas de manejo agrícola (Lefèvre et al., 2017; FAO, 2020).

La cantidad y distribución de la MOS y del COS en el perfil del suelo son resultado de la interacción entre las entradas y pérdidas de materiales orgánicos, las condiciones ambientales y las prácticas de manejo (Matisic et al., 2024). En los sistemas agrícolas, la incorporación de enmiendas orgánicas constituye una estrategia para incrementar las entradas de materia orgánica al suelo y favorecer la incorporación de carbono y nutrientes. Particularmente, las enmiendas de origen bovino representan una fuente importante de materia orgánica debido a su contenido de carbono y nutrientes, y su aplicación puede modificar la cantidad y distribución del carbono orgánico dentro del perfil del suelo (Ren et al., 2024). Por ello, el análisis de la distribución vertical de la MOS y del COS permite identificar diferencias asociadas con el manejo y comprender cómo los aportes orgánicos pueden relacionarse con el almacenamiento de carbono en diferentes profundidades del suelo.

Esta relación adquiere especial relevancia en la Comarca Lagunera, donde convergen condiciones climáticas áridas, agricultura de riego y una importante actividad pecuaria. En esta región, el aprovechamiento agrícola de materiales orgánicos de origen bovino representa una alternativa para reincorporar residuos pecuarios al sistema suelo y, simultáneamente, favorecer el mantenimiento de la materia orgánica y el almacenamiento de carbono. En este sentido, caracterizar la distribución de la MOS y del COS a diferentes profundidades constituye un elemento fundamental para establecer una línea base que permita evaluar las diferencias asociadas con los manejos de enmiendas orgánicas y su posible contribución al almacenamiento de carbono en los suelos agrícolas.

Por lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo caracterizar la distribución espacial y vertical de la materia orgánica y las existencias de carbono orgánico del suelo a dos profundidades (0–30 y 30–60 cm), con la finalidad de generar una línea base para evaluar su distribución dentro del perfil del suelo y el potencial de estas prácticas para favorecer la conservación y el almacenamiento de carbono.

Materiales y Métodos

La zona de estudio comprende una parcela agrícola ubicada en el Distrito de Riego 017 Región Lagunera, en el municipio de Gómez Palacio, Durango, México. La parcela denominada San Esteban (25.74° N, 103.34° O) presenta una superficie de 3.1 ha, destinada al cultivo de maíz forrajero (Figura 1a). El manejo agrícola se caracteriza por la incorporación directa de excretas bovinas al suelo como fuente de enmienda orgánica, práctica que permite aprovechar residuos pecuarios y reincorporar materia orgánica y nutrientes al sistema edáfico.

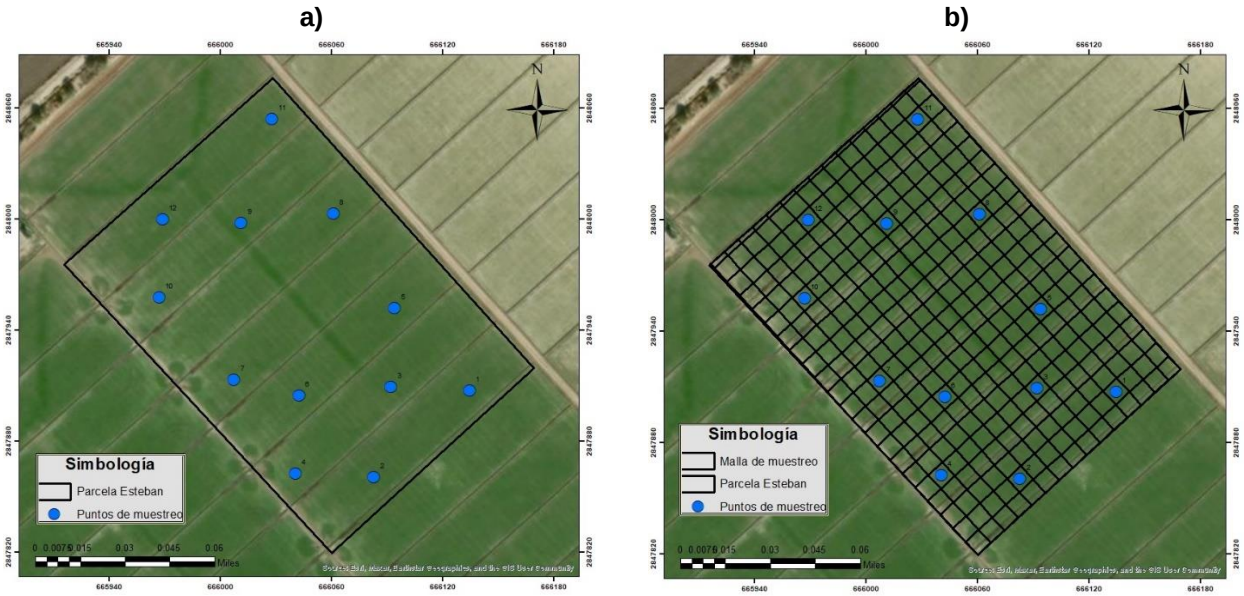


Figura 18. Figura a) Zona de estudio dentro de la Comarca Lagunera, parcela San Esteban y b) Diseño de muestreo para la cuantificación de COS a una profundidad de 30 cm

Muestreo de suelo: Debido a que el presente trabajo corresponde a un análisis preliminar, en esta etapa se presentan únicamente los datos obtenidos durante la primera etapa del muestreo de suelo que fue al inicio de la siembra con el suelo prácticamente desnudo, durante el ciclo agrícola verano 2026 (fecha de muestreo 29-julio-2026). El muestreo se realizó mediante la implementación de una malla regular con una separación de 10 × 10 m en cada parcela de estudio. Debido a la relativa homogeneidad de las parcelas, se seleccionaron aleatoriamente 12 puntos de muestreo dentro de la superficie de la parcela. En cada punto se recolectaron una muestra simple de suelo a la profundidad de 0–30 cm y de 30-60 cm. Dando un total de 24 muestras simples de suelo por parcela (Figura 1b).

Análisis de laboratorio: Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente y bajo sombra hasta alcanzar peso constante. Posteriormente, fueron homogeneizadas y se obtuvo una submuestra de aproximadamente 100 g, la cual se tamizó mediante una malla de 2 mm de abertura (malla No. 10) con el fin de uniformizar el tamaño de las partículas y eliminar fragmentos gruesos (Etchevers et al., 2005). A partir de esta fracción se obtuvo una submuestra representativa de aproximadamente 0.5 g para la determinación del contenido de carbono orgánico.

Estimación de las reservas de carbono: contenido de carbono orgánico del suelo (COS) se estimó a partir del contenido de materia orgánica (MO), utilizando el factor de Van Bemmelen (1.724), basado en el supuesto de que la materia orgánica contiene aproximadamente un 58 % de carbono. Posteriormente, las reservas de carbono orgánico del suelo se calcularon considerando la profundidad de muestreo y la densidad aparente mediante la siguiente ecuación (Etchevers et al., 2005): COS (Mg ha^{-1}) = %C × P × ρb. Dónde: COS = contenido de carbono orgánico del suelo (Mg ha^{-1}); %C = porcentaje de carbono orgánico en el suelo; P = profundidad de muestreo (m); y ρb = densidad aparente del suelo (Mg m^{-3}).

Análisis de la distribución espacial. La distribución espacial del contenido de materia orgánica del suelo se evaluó mediante técnicas de interpolación geoestadística. Para ello, se empleó el método de Kriging ordinario, el cual permite estimar valores en ubicaciones no muestreadas a partir de la dependencia espacial existente entre los puntos de muestreo. Todo el procesamiento geoestadístico, la interpolación mediante Kriging ordinario y la elaboración de los mapas temáticos se realizaron en el software ArcMap versión 10.8.

Resultados y Discusión

El contenido de materia orgánica (MO) presentó una marcada variabilidad espacial dentro del área de estudio. En la profundidad de 0–30 cm, los valores oscilaron entre 2.12 y 3.78 %, mientras que en la capa de 30–60 cm variaron de 1.30 a 2.74 %. En ambas profundidades se observó una distribución heterogénea de la MO, con diferencias en su concentración entre las distintas zonas de la parcela evaluada. Asimismo, los valores registrados en la capa superficial fueron, en general, superiores a los de la capa sub-superficial, lo que evidencia un gradiente vertical en la distribución de la materia orgánica dentro del perfil del suelo.

El mapa de interpolación generado mediante el método de Kriging permitió identificar una distribución espacial heterogénea del contenido de materia orgánica (MO) en ambas profundidades evaluadas (Figura 3). En la capa de 0–30 cm se identificaron áreas con contenidos bajos de MO (<2.5 %), mientras que en la profundidad de 30–60 cm se localizaron zonas con valores inferiores a 1.5 %. Asimismo, se observaron áreas con contenidos de MO superiores a estos umbrales, particularmente en la capa superficial, donde los valores alcanzaron hasta 3.78 %, mientras que en la capa de 30–60 cm alcanzaron 2.74 %. La clasificación de los contenidos de MO se realizó con base en los criterios propuestos por Ortiz (2019). La distribución espacial observada evidencia una marcada heterogeneidad en el contenido de MO dentro de la parcela, la cual puede estar relacionada con la variabilidad de las propiedades edáficas y con la distribución diferencial de los aportes de residuos orgánicos. En sistemas agrícolas, la incorporación y transformación de materiales orgánicos, así como su interacción con las características del suelo, pueden generar patrones espaciales diferenciados de acumulación y estabilización de la materia orgánica (Lal, 2004).

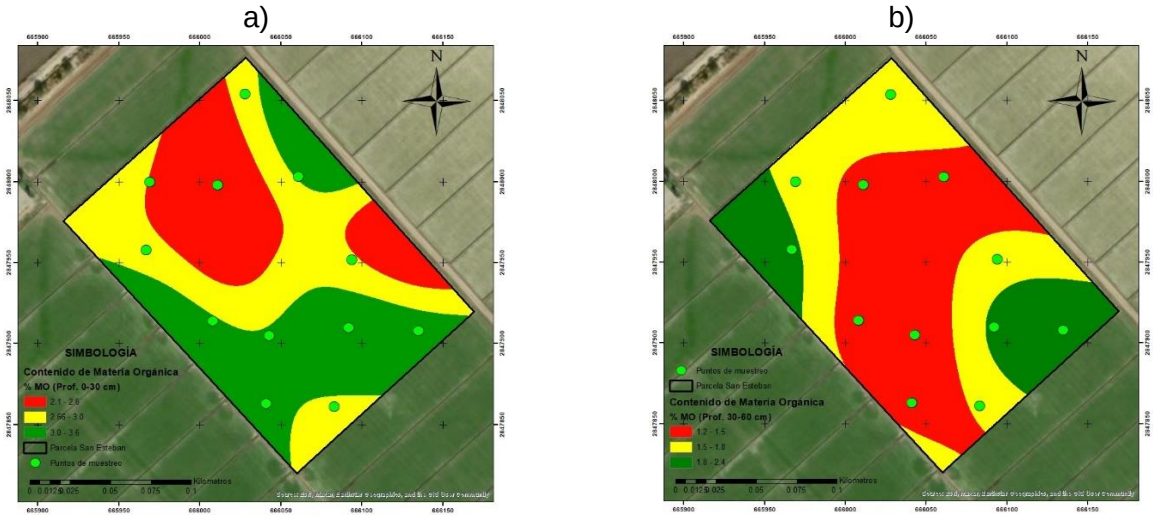


Figura 19. a) Mapa de la distribución espacial del contenido de materia orgánica (MO) a una profundidad de 0-30 cm y b) Mapa de la distribución espacial del contenido de materia orgánica (MO) a una profundidad de 30-60 cm en la parcela San Esteban, Gómez Palacio, Durango.

En este sentido, las áreas con mayores contenidos de MO representan zonas de interés para el análisis de la distribución del carbono orgánico del suelo, debido a la estrecha relación entre ambos componentes y a la función de la materia orgánica en procesos asociados con la calidad y el almacenamiento de carbono en el suelo.

En la parcela San Esteban, las existencias de carbono orgánico del suelo fueron mayores en la capa superficial de 0–30 cm, con una media de 62.57 Mg ha^{-1}, mientras que en la profundidad de 30–60 cm se registró una media de 37.09 Mg ha^{-1}. Esto representa una disminución de aproximadamente 40.7 % de las existencias de COS al pasar de la capa superficial a la subsuperficial (Cuadro 1).

Cuadro 4. Contenido de carbono orgánico del suelo en las profundidades 0-30 cm y 30-60 cm bajo diferentes manejos agrícolas.

Parcela	Profundidad	Media (Mg ha^{-1})	DE	Mín.	Máx.	CV (%)
San Esteban	0–30 cm	62.57	10.51	44.3	78.9	16.79
San Esteban	30–60 cm	37.09	7.84	27.1	57.2	21.12

Donde: DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación

Los resultados evidenciaron una mayor acumulación de carbono orgánico del suelo (COS) en la capa superficial (0–30 cm), mientras que las existencias registradas en el estrato de 30–60 cm fueron menores. No obstante, la presencia de COS en la capa subsuperficial indica que una fracción del carbono almacenado se encuentra distribuida por debajo de los primeros 30 cm del perfil. Este patrón de distribución vertical coincide con lo reportado por García et al., (2006), quienes observaron una disminución del contenido o las existencias de COS con el incremento de la profundidad del suelo.

En conjunto, los resultados muestran que la profundidad fue un factor determinante en la distribución vertical del COS, con valores significativamente mayores en la capa de 0–30 cm respecto a la de 30–60 cm (Figura 3). Este comportamiento puede relacionarse con una mayor incorporación de residuos orgánicos y actividad biológica en los primeros centímetros del suelo, donde se concentran las principales entradas de materia orgánica al sistema edáfico.

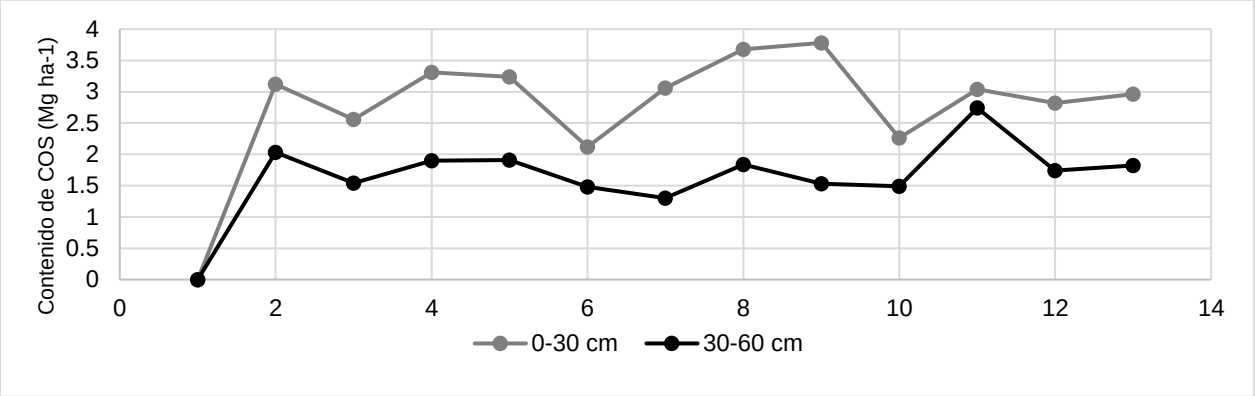


Figura 20. Dinámica del contenido de COS en las profundidades de 0-30 y 30-60 cm.

Conclusiones

En conjunto, estos resultados establecen una línea base de las existencias de COS que permitirá evaluar cambios posteriores asociados con los diferentes manejos agrícolas y, particularmente, con la incorporación de enmiendas orgánicas de origen bovino. Por otra parte, la interpolación espacial mediante Kriging evidenció una distribución heterogénea de los contenidos de materia orgánica (MO) dentro del área de estudio, identificando zonas con diferentes niveles de concentración y una variabilidad espacial asociada a las condiciones del suelo y al manejo de la parcela. La integración de la información sobre la distribución vertical del COS y la variabilidad espacial de la MO proporciona una caracterización más completa del comportamiento del carbono en el suelo y resalta la utilidad de las herramientas geoespaciales para identificar zonas con características diferenciadas. Esta información puede constituir un referente para orientar estrategias de manejo dirigidas a la conservación de la materia orgánica y al mantenimiento de las funciones y calidad del suelo en sistemas agrícolas de maíz forrajero, así como para el seguimiento de cambios en el almacenamiento de carbono asociados con la aplicación de enmiendas orgánicas de origen bovino.

Referencias

Etchevers, J. D., Monreal, C. M., Hidalgo, C., Acosta, M., Padilla, J., & López, R. M. (2005). *Manual para la determinación de carbono en la parte aérea y subterránea de sistemas de producción en laderas*. Colegio de Postgraduados.

García, S. R., Espinosa, V. D., Figueroa, S. B., García, C. N., & Gallardo, L. J. (2006). Reservas de carbono orgánico y de fracciones húmicas en un Vertisol sometido a siembra directa. *Terra Latinoamericana, 24*(2), 241–251. https://www.redalyc.org/pdf/573/57311108011.pdf

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123: 1–22. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032

Lefèvre, C., Rekik, F., Alcantara, V., & Wiese, L. (2017). *Carbono orgánico del suelo: El potencial oculto*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/3/i6937es/I6937ES.pdf

Matišić, M., Dugan, I., & Bogunović, I. (2024). Challenges in sustainable agriculture—The role of organic amendments. *Agriculture, 14*(4), 643. https://doi.org/10.3390/agriculture14040643

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). *A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes—GSOC-MRV protocol*. https://doi.org/10.4060/cb0509en

Ortiz, S. C., Pájaro, H. D., & Ordaz, C. V. (1990). *Manual para la cartografía de clases de tierras campesinas* (Serie Cuadernos de Edafología 15). Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados.

Ren, F., Zhang, R., Sun, N., Li, Y., Xu, M., Zhang, F., & Xu, W. (2024). Patterns and driving factors of soil organic carbon sequestration efficiency under various manure regimes across Chinese croplands. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 359*, 108723.

FLORACIÓN, MADUREZ Y CRECIMIENTO DE FRUTO EN SELECCIONES DE DURAZNERO EN AGUASCALIENTES

Manuel Antonio Galindo-Reyes[1*], José Alberto Urrieta-Velázquez[2], José Carlos Monárrez-González[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Pabellón. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera. Gómez Palacio, Durango. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de Guadiana, Durango, Durango. * Autor de correspondencia: galindo.manuel@inifap.gob.mx.

Introducción

El duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch.] es una especie frutal caducifolia, cuyo ciclo se determina por una sucesión de eventos fenológicos relacionados con el ambiente y la genética del genotipo. En este sentido, los días a floración, los días a madurez y los días de flor a fruto permiten describir la duración y el comportamiento temporal de las etapas del cultivo. La etapa de floración depende del requerimiento de frío y de calor de las yemas para brotar, mientras que la etapa de maduración y el periodo de crecimiento del fruto están en función del genotipo y del ambiente (Fan et al., 2010; Rawandoozi et al., 2021). El requerimiento de frío permite romper el letargo y en seguida la acumulación de calor favorece el reinicio del crecimiento hasta alcanzar la floración plena (Fan et al., 2010; Luedeling et al., 2023). Por lo tanto, en frutales de clima templado es común el requerimiento de frio y de calor de las yemas para brotar y florecer.

En duraznero existen estudios genéticos que demuestran que la época de floración tiene una base heredable y se asocia con regiones específicas del genoma. Al respecto, Fan et al. (2010) identificaron un loci de caracteres cuantitativos relacionados con el requerimiento de frío, el requerimiento de calor y la etapa de floración, evidenciando que estos componentes contribuyen en determinar cuándo ocurre este evento. Posteriormente, Rawandoozi et al. (2021) evaluaron siete familias de duraznero relacionadas por pedigrí, identificaron diferentes regiones genómicas asociadas con la época de floración y confirmaron la presencia de variación genética para esta característica. Además, los estudios realizados bajo diferentes condiciones climáticas muestran que la acumulación de frío y calor puede modificar la respuesta fenológica entre genotipos, por lo que la época de floración resulta de la interacción entre el genotipo y el ambiente (Luedeling et al., 2023). Este comportamiento respalda el empleo de días a floración como una variable para comparar genotipos.

En varias regiones de México se ha registrado variación importante en la fenología del duraznero. Por ejemplo, Gutiérrez-Acosta et al. (2008) evaluaron 21 selecciones de durazno en Aguascalientes, encontraron que el inicio de floración ocurrió entre los 24 y 33 días julianos, mientras que el inicio de la cosecha se presentó entre los 221 y 227 días julianos. Recientemente, García-Ávila et al. (2026) validaron 15 variedades de durazno y nectarina en producción forzada en el Estado de México, y determinaron que el periodo entre floración y madurez del fruto osciló entre 105 y 134 días. La diferencia observada entre los genotipos confirma que la época madurez es heterogénea. Estos antecedentes son relevantes para México, donde las condiciones climáticas y los genotipos pueden modificar la fenología en diferentes regiones (Gutiérrez-Acosta et al., 2008; García-Ávila et al., 2026).

Después del proceso de floración, el fruto inicia un proceso de desarrollo y crecimiento que termina con la madurez y la cosecha. El intervalo de tiempo entre floración plena y madurez se denomina periodo de crecimiento de fruto y se expresa mediante los días de flor a fruto; esto período de crecimiento depende del genotipo y del ambiente (Gutiérrez-Acosta et al., 2008). En este sentido, Elsadr et al. (2019) mencionan el periodo de desarrollo del fruto son caracteres altamente variables en duraznero y que esta variación se aprovecha en programas de mejoramiento. Asimismo, Rawandoozi et al. (2021) identificaron una región genómica que se asocia con el periodo de desarrollo del fruto, la cual explicó una proporción importante de la variación fenotípica observada en sus poblaciones. Estas investigaciones muestran que los días de flor a fruto se determinan básicamente por el genotipo, el ambiente y su interacción.

A pesar de estos avances en la fenología del duraznero, es importante caracterizar las selecciones locales de este frutal a partir de los días a floración, los días a madurez y los días de flor a fruto para poder programar las diferentes prácticas de manejo. Los días a floración por si solos no permiten conocer cuánto tiempo requiere un genotipo para alcanzar la madurez; de igual manera, al comparar únicamente días a cosecha puede ocultar diferencias en la duración real del desarrollo del fruto. Esta respuesta justifica la evaluación simultánea de las tres variables, especialmente cuando se evalúan genotipos en una sólo localidad, ya que la fenología corresponde a la combinación genética y ambiental. La información generada puede ser útil para establecer diferencias de precocidad y entender diferencias entre rendimiento y calidad de fruto del duraznero (Gutiérrez-Acosta et al., 2008; Elsadr et al., 2019; Rawandoozi et al., 2021).

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar los días a floración, los días a madurez y los días de flor a fruto en selecciones de duraznero en Aguascalientes, con el propósito de caracterizar y comparar su comportamiento fenológico y determinar la duración del periodo comprendido entre la floración y la madurez del fruto bajo las condiciones ambientales de Aguascalientes.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en un huerto de duraznero que se ubica en el Campo Experimental Pabellón, en Aguascalientes; cuya localización es de 22° 09´ Latitud Norte y 102° 16´ Longitud Oeste y 1,920 m de altitud. El suelo del huerto es de tipo Calcisol, de clase textural franco-arcillo-arenoso, con pH alcalino (7.9), pobre en materia orgánica (<1.0%), densidad aparente de 1.4 y conductividad eléctrica de 1.7 dS/m (Osuna et al., 2013). El clima predominante en la región es semidesértico con lluvias en verano, la temperatura media anual es de 16.2 °C, la media anual máxima es de 20 °C y la mínima es de 7.1 °C (Medina et al., 2006).

En este huerto de duraznero se evaluaron 10 genotipos durante tres años (2020, 2023 y 2024). Los 10 genotipos en estudio se consideraron como tratamientos. El huerto se estableció con árboles que provenían de plantas propagadas mediante estaca sin injertar, durante mes de marzo del año 2010. La plantación se realizó a una distancia de 5 x 4 metros para líneas y para plantas, respectivamente; y las hileras se orientaron de Este-Oeste. Todos los árboles se condujeron en copa, dejando entre cinco y seis ramas principales para favorecer la entrada de la luz y soportar el peso de los frutos y las hojas.

Con relación al manejo agronómico, en la etapa de letargo, específicamente en el mes de enero se hizo la poda de fructificación con la ayuda de tijera y de tijerón. En seguida, el huerto se fertilizó de considerando el requerimiento nutrimental del frutal, aportación nutrimental del agua de riego y del suelo, así resultó la dosis de 100-20-20-30-20-30 unidades de N, P2O5, K2O, CaO, MgO y S, respectivamente. El fertilizante se aplicó de manera fraccionada, suministrando fertilizante por lo menos cuatro ocasiones al año, de acuerdo con la etapa fenológica. El riego se proporcionó por gravedad, para arrancar el cultivo inmediatamente después de la poda de letargo se suministró un riego pesado de aproximadamente 50 mm de lámina; posteriormente, en primavera se dio un riego cada 10 días, en verano antes del periodo fuerte de lluvia se aplicó un riego cada siete días y durante el otoño se suministró un riego cada 10 días. Finalmente, los árboles recibieron practicas agronómicas de acuerdo con el manejo comercial de la región como fue el control de maleza, de plagas y de enfermedades.

Como variables de respuesta se registraron los días a floración, días a madurez y días de flor a fruto, estas variables se tomaron cuando los árboles alcanzaron el 50% de estos estados fenológico. Los datos de las variables se registraron en días julianos.

El análisis estadístico consistió en someter los datos a pruebas de normalidad de Shapiro-Wilks ($p > 0.05$) y homogeneidad de varianzas de Levene ($p>0.05$). Cuando los datos no cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se realizó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis bajo un diseño completamente al azar ($p>0.05$). Todos los análisis se realizaron mediante el software estadístico IBM SPSS Statistics versión 26.

Resultados y discusión

En términos descriptivos, los días a floración oscilaron entre 48 y 75 días julianos, los días a madurez entre 164 y 239 y el periodo de flor a fruto entre 116 y 174 días (Figuras 1, 2 y 3). En días a floración, la Selección 4 presentó la floración más temprana, con 48 días julianos, mientras que la Selección 6 fue la más tardía, con 75 días. Este comportamiento es compatible con la variación esperada entre genotipos de duraznero, cuya fecha de floración depende de la interacción entre requerimientos de frío y calor (Fan et al., 2010). No obstante, debido a que en este estudio no se cuantificó la acumulación de frío ni de calor, no es posible atribuir la diferencia observada a uno de estos componentes en particular.

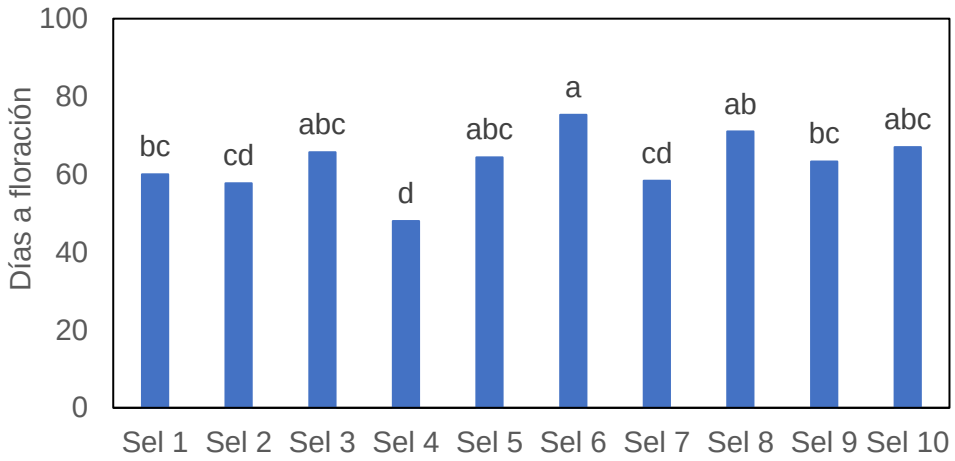


Figura 1. Días a floración en selecciones de duraznero en Aguascalientes. Medias con letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

La variación en días a madurez fue más amplia que en días a floración (Figuras 1 y 2. La Selección 4 alcanzó la madurez a los 164 días julianos, mientras que la Selección 5 lo hizo hasta los 239, prácticamente una diferencia de 75 días. La Selección 3 (226 días) y la Selección 9 (220 días); también, se ubicaron entre los materiales de maduración tardía, en tanto que las Selecciones 1, 2, 6, 7, 8 y 10 se concentraron alrededor de 196–207 días (Figura 2). Este comportamiento demuestra que la fecha de madurez no puede interpretarse únicamente a partir de la fecha de floración. Al respecto, Elsadr et al. (2019) y Rawandoozi et al. (2021) señalan que la fecha de maduración y el periodo de desarrollo del fruto presentan una importante base genética y pueden responder de manera diferente a las condiciones ambientales.

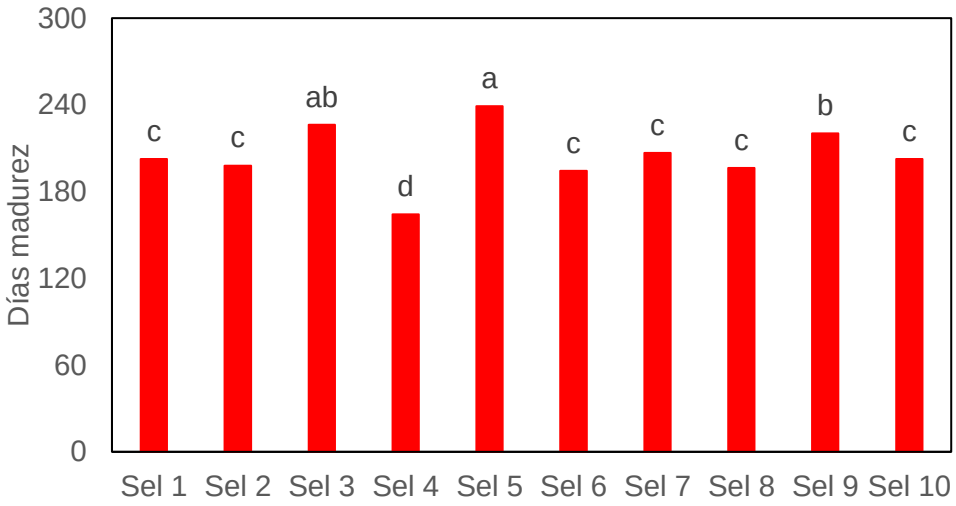


Figura 2. Días a madurez en selecciones de duraznero en Aguascalientes. Medias con letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

El periodo de flor a fruto permitió explicar mejor las diferencias observadas en la maduración (Figura 3). La Selección 5 mostró el periodo de crecimiento más largo, con 174 días, seguida por las Selecciones 3 (160) y 9 (157 días). En contraste, las Selecciones 4 y 6 registraron los periodos más cortos, con 116 y 119 días, respectivamente (Figura 3). Es importante el comportamiento de la Selección 6, pues presentó la floración más tardía y alcanzó la madurez más temprana; es decir, su desarrollo de fruto fue relativamente corto, similar a la Selección 4. La Selección 4 mostró floración y madurez temprana; en consecuencia, esta selección manifestó menor periodo flor a fruto. Estos resultados respaldan la utilidad de separar los componentes del calendario fenológico en lugar de utilizar únicamente la fecha de cosecha.

El periodo flor a fruto (58 días) detectado se encuentra dentro del rango de variación documentado en otros genotipos de duraznero. García-Ávila et al. (2026) registraron entre 105 y 134 días en 15 cultivares de bajo requerimiento de frío; mientras que el presente estudio mostró una amplitud mayor, de 116 a 175 días. Ambas investigaciones evidencian que el periodo flor a fruto puede variar ampliamente y que la caracterización local es necesaria antes de extrapolar fechas de cosecha entre regiones.

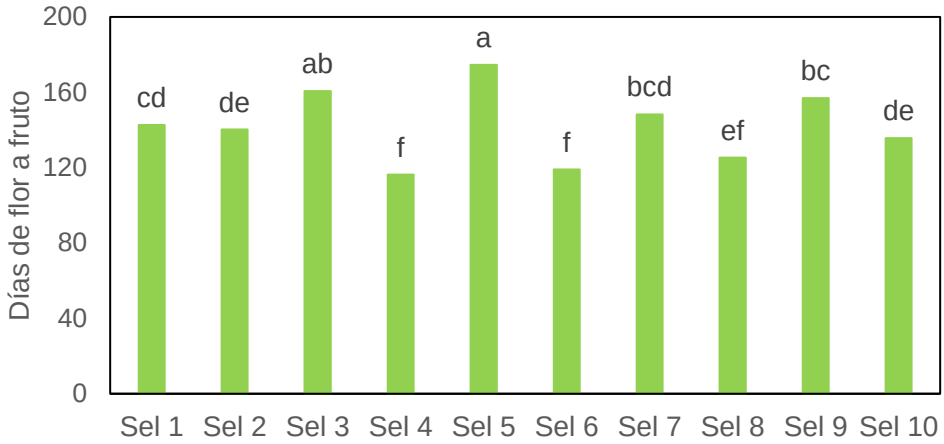


Figura 3. Días de flor a fruto en selecciones de duraznero en Aguascalientes. Medias con letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Desde el punto de vista fisiológico y agronómico, la separación entre floración y madurez es importante porque permite identificar estrategias fenológicas contrastantes. Las Selecciones 4 y 6 alcanzaron la madurez relativamente rápido, pero por mecanismos temporales distintos; la primera selección combinó floración temprana con un periodo de desarrollo corto, mientras que la segunda presentó floración tardía y desarrollo igualmente corto. El comportamiento de la Selección 6 es una ventaja extraordinaria que se puede aprovechar para escapar el daño de bajas temperaturas en primavera, pero si atrasar la cosecha de fruto a principios del verano.

Conclusiones

Se detectó amplia variación en las tres variables fenológicas evaluadas, la mayor amplitud se observó en la fecha de madurez, seguida por el periodo de desarrollo del fruto.

La Selección 4 presentó la floración y la madurez más temprana, mientras que la Selección 5 mostró el periodo flor a fruto más largo y la madurez más tardía. La selección 6 evidenció que una floración tardía no implica necesariamente una madurez tardía, debido a su periodo de desarrollo relativamente corto.

La evaluación conjunta de días a floración, días a madurez y días de flor a fruto permite una caracterización más precisa de precocidad de las selecciones que el uso aislado de una sóla variable.

Referencias

Elsadr, H., Sherif, S., Banks, T., Somers, D., & Jayasankar, S. (2019). Refining the genomic region containing a major locus controlling fruit maturity in peach. Scientific Reports, 9, 7522. https://doi.org/10.1038/s41598-019-44042-4

Fan, S., Bielenberg, D. G., Zhebentyayeva, T. N., Reighard, G. L., Okie, W. R., Holland, D., & Abbott, A. G. (2010). Mapping quantitative trait loci associated with chilling requirement, heat requirement and bloom date in peach (*Prunus persica*). New Phytologist, 185(4), 917–930. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03119.x

García-Ávila, A., Calderón-Zavala, G., Espíndola-Barquera, M. de la C., López-Jiménez, A., Santacruz-Varela, A., & Alia-Tejacal, I. (2026). Diversidad productiva y calidad de fruto de cultivares de durazno y nectarina. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 17(5), e4103.

Gutiérrez-Acosta, F., Padilla-Ramírez, J. S., & Reyes-Muro, L. (2008). Fenología, producción y características de fruto de selecciones de durazno (Prunus persica L. Batsch.) Ana en Aguascalientes. Revista Chapingo. Serie Horticultura, 14(1), 23–32.

Luedeling, E., et al. (2023). Impact of chill and heat exposures under diverse climatic conditions on peach and nectarine flowering phenology. Plants, 12.

Medina, G. G., Maciel, P. L. H., Ruiz, C. J. A., Serrano, A. V., & Silva, S. M. M. (2006). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Aguascalientes (periodo 1961-2003) (Libro técnico núm. 2). INIFAP; Campo Experimental Pabellón; Fundación Produce Aguascalientes; SAGARPA.

Osuna-Ceja, E. S., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, J. S., Rosales-Serna, R., Martínez-Gamiño, M. A., Acosta-Gallegos, J. a., & Figueroa-Sandoval, B. (2013). Rendimiento de genotipos de frijol con diferentes métodos de siembra y riego-sequía en Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *4*(2), 209–221.

Rawandoozi, Z. J., Hartmann, T. P., Carpenedo, S., Gasic, K., Linge, C. da S., Cai, L., Van de Weg, E., & Byrne, D. H. (2021). Mapping and characterization QTLs for phenological traits in seven pedigree-connected peach families. BMC Genomics, 22, 187. https://doi.org/10.1186/s12864-021-07483-8.

GOBERNANZA Y GESTIÓN SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS NATURALES EN LA COMARCA LAGUNERA: ANÁLISIS MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARCO LÓGICO

Fátima del Rocío Reyes-Camarillo[1*], Karla Q. Ramirez-Uranga[1], Luis Gerardo Yáñez-Chávez[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo 35230, México. *Autor de correspondencia: FatimaReyesCA@gmail.com

Introducción

La Comarca Lagunera (CL), ubicada en el sureste del Desierto Chihuahuense y en la cuenca baja de la Región Hidrológica 36, comprende municipios de Durango y Coahuila (Barrios-Avalos y Franquesa-Sánchez 2024). En esta región semiárida, la demanda de agua para las actividades agrícolas y ganaderas ha contribuido a la extracción intensiva del acuífero Principal-Región Lagunera. Dorjderem et al. (2020) documentaron descensos del nivel del agua subterránea de hasta 200 m y concentraciones de arsénico superiores a la recomendación internacional para agua de consumo en 80 % de los sitios muestreados.

A esta problemática hídrica se suman la presencia de arsénico y flúor en suelos superficiales, la contaminación por partículas y plomo documentada en Torreón y los retos de conservación de la flora vascular regional (Sariñana-Ruiz et al., 2017; Soto-Jiménez et al., 2026; González-Zamora y Pérez-Morales, 2018). La gobernanza de los recursos naturales comprende la interacción entre actores gubernamentales y no gubernamentales para atender problemas relacionados con el acceso, uso y conservación de estos recursos (Altomonte y Sánchez, 2016).

La metodología de Marco Lógico (ML) permite organizar un problema, sus causas y efectos, y formular objetivos y estrategias de intervención (Aldunate y Córdoba, 2011). Por ello, el objetivo de este estudio fue diagnosticar la problemática de gestión de los recursos hídricos (RH), el aire atmosférico (AA), los recursos edáficos (RE) y los recursos bióticos (RB) en Torreón, Gómez Palacio y Lerdo, y proponer estrategias para su gestión sustentable mediante árboles de problemas, árboles de objetivos y una matriz de marco lógico.

Materiales y métodos

El área de estudio se limitó a tres municipios de la Comarca Lagunera: Torreón, Coahuila, y Gómez Palacio y Lerdo, Durango. Se seleccionaron por ser los municipios de mayor población de la región y porque sus territorios comprenden zonas urbanas, periurbanas y rurales (Dorjderem et al., 2020). Para representar el área de estudio se utilizaron capas cartográficas de CONAGUA (2016), INEGI (2023) y SNIB-CONABIO (2023), procesadas en ArcMap 10.8 (Figura 1).

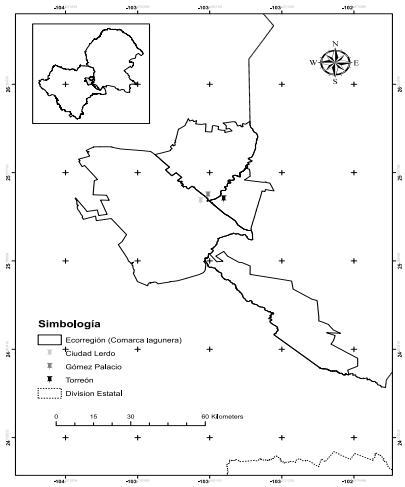


Figura 1. Localización de los municipios de Torreón, Gómez Palacio y Lerdo en la Comarca Lagunera, México. Elaboración propia con base en CONAGUA (2016), INEGI (2023) y SNIB-CONABIO (2023).

El diagnóstico fue de tipo exploratorio-descriptivo con base en la metodología de Marco Lógico (Aldunate y Córdoba, 2011), aplicada en tres fases para los componentes RH, AA, RE y RB. Fase 1. Árbol de problemas: la problemática de cada componente se determinó mediante la revisión de estudios científicos sobre los tres municipios del área de estudio y, cuando la información local era insuficiente, sobre la Comarca Lagunera. Se consultaron investigaciones sobre el abatimiento y la contaminación del agua (Dorjderem et al., 2020; Torres-Martínez et al., 2021), el depósito atmosférico de partículas y plomo (Soto-Jiménez et al., 2026), la presencia de arsénico y flúor en suelos (Sariñana-Ruiz et al., 2017) y la conservación de la flora vascular (González-Zamora y Pérez-Morales, 2018).

A partir de la información recopilada se identificó el problema principal de cada componente, sus causas directas e indirectas y sus efectos. Fase 2. Árbol de objetivos: se transformaron los problemas en situaciones positivas a alcanzar, planteando objetivos centrales y soluciones por componente. Fase 3. Matriz de marco lógico: se integraron estructuras jerárquicas de Fin, Propósito, Objetivos y Actividades con indicadores verificables, metas y medios de verificación, siguiendo los criterios del sistema ZOPP (por sus siglas en alemán).

Resultados y discusión

El árbol de problemas permitió organizar las problemáticas ambientales identificadas en los municipios de Torreón, Gómez Palacio y Lerdo según sus posibles causas y efectos (Cuadro 1). En el componente RH se identificó la escasez de agua, relacionada con la extracción intensiva del acuífero; estudios previos también han documentado el abatimiento del nivel freático y el deterioro de la calidad del agua en la Comarca Lagunera (Dorjderem et al., 2020; Torres-Martínez et al., 2021). En RE se incluyeron la degradación y la contaminación del suelo, esta última consistente con la presencia de arsénico y flúor documentada en sitios de la región (Sariñana-Ruiz et al., 2017). Para RB se identificaron la pérdida de arbolado y el desplazamiento de fauna asociados con cambios en el uso del suelo; la importancia de conservar la flora vascular regional ha sido señalada por González-Zamora y Pérez-Morales (2018). Finalmente, para AA se identificó la contaminación atmosférica; en Torreón se ha documentado el depósito de partículas y plomo en el entorno urbano (Soto-Jiménez et al., 2026). Estas relaciones constituyen el diagnóstico organizado mediante el marco lógico; el presente estudio no midió directamente la magnitud de cada problema ni comprobó todas las relaciones causales propuestas.

Cuadro 1. Problemas, causas y efectos identificados para los componentes ambientales en Torreón, Gómez Palacio y Lerdo.

Componente	Problema	Causas	Efecto 1	Efecto 2
Recursos hídricos	Escasez de agua	Sobreexplotación de las cuencas	Desabasto de agua	Manifestaciones y disturbios
Recursos edáficos	Degradación del suelo	Cambio de uso de suelo	Pérdida de fertilidad	Abandono de tierras de cultivo
	Contaminación del suelo	Mala regulación ambiental	Mayor cantidad de basura	Riesgo a enfermedades gastrointestinales
			Contaminación de lodos y desechos tóxicos	Flora y fauna urbana afectada
Recursos bióticos	Perdida de arbolado urbano	Crecimiento de la ciudad	Perdida de sombra y hábitat para especies urbanas	Disminución de fauna en la región por perdida de hábitat, especialmente aves
	Desplazamiento de fauna	Cambio de uso de suelo	Especies amenazadas o en peligro	Desequilibrio ambiental
		Especies exóticas introducidas	Especies nativas amenazadas o en peligro	Pérdida de biodiversidad
Aire atmosférico	Contaminación ambiental	Industria	Afectación en la salud de los habitantes de la zona	Saturación del servicio médico publico

A partir de los problemas del Cuadro 1 se construyeron los objetivos centrales y las posibles soluciones para cada componente (Cuadro 2). Las propuestas se orientaron a mejorar la gestión hídrica, disminuir la degradación del suelo, conservar el arbolado y otros recursos bióticos, y reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos. Entre las acciones planteadas se encuentran la elaboración de un balance hídrico, el diseño de medidas de restauración, la educación ambiental y el seguimiento de la calidad del aire. Estas acciones representan alternativas de intervención, cuya viabilidad y eficacia deberán evaluarse antes de su implementación.

Cuadro 2. Objetivos centrales y posibles soluciones para los componentes ambientales en Torreón, Gómez Palacio y Lerdo.

Componente	Objetivo Central	Solución 1.	Solución 1.1.	Solución 1.2.
Recursos hídricos	Mejorar la gestión hídrica	Realizar un balance hídrico	Proponer un plan de manejo	
Recursos edáficos	Disminuir la degradación del suelo	Realizar un estudio de impacto a nivel regional	Realizar un plan de restauración	Proponer al sector agrícola un manejo sustentable.
Recursos bióticos	Reducir la tala de árboles y desmonte	Impartir educación ambiental	Desarrollar una guía de árboles de la región	Reubicación de especies
Aire atmosférico	Reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos.	Proponer el establecimiento de filtros en industrias	Mitigación ambiental	Informar por redes sociales y otros medios la calidad del aire

La matriz de marco lógico integra los fines, propósitos, objetivos y actividades derivados de los árboles anteriores, junto con indicadores, metas y posibles medios de verificación (Cuadro 3). Su función es ordenar las acciones propuestas y establecer cómo podría darse seguimiento a su ejecución. Las metas incluidas en la matriz son propuestas, por lo que no deben interpretarse como resultados alcanzados ni como reducciones ya comprobadas de los problemas ambientales.

Cuadro 3. Matriz de marco lógico propuesta para la gestión de los componentes ambientales en Torreón, Gómez Palacio y Lerdo.

Estructura	Objetivos	Nombre del indicador	Meta	Medios de verificación
Fin	Establecer un plan de manejo para el recurso hídrico; gestión con enfoque sustentable del cambio de uso de suelo; reubicación de especies bióticas y plan de mitigación para reducir la contaminación ambiental.			
Propósito (RH)	Mejorar la gestión hídrica	Gestión del agua	Mayor disponibilidad de agua en la región	Reportes mensuales por CONAGUA
Objetivos	Realizar un balance hídrico	Identificar principales factores del manejo inadecuado	Programa y capacitación para cuidado del agua para empresarios y agricultores.	Informes de resultados
Actividades	Proponer un plan de manejo	Problemas totales en fugas y sobreexplotación	Arreglar tuberías y tecnificar sistemas de riego	Reportes mensuales
Propósito (RE)	Disminuir la degradación del suelo	Referente de la superficie total degrada	Disminuir la superficie degradada	Monitoreo con SIG y con informes CONAFOR y SADER
Objetivos	Realizar un estudio de impacto a nivel regional	Evaluación total del impacto ambiental	Disminuir el nivel de impacto en la región (1%-2%	Evaluación del impacto ambiental
Actividades	Realizar un plan de restauración	Superficie restaurada	Aumentar la superficie restaurada (0.5%-1% del total anual)	Monitoreo por SIG
	Proponer al sector agrícola un manejo sustentable	Capacitación a agricultores y empresarios	Aumentar el manejo sustentable en la región	Informes por agricultores
Propósito (RB)	Reducir la tala de árboles y desmonte	Número de árboles talados en la región	Disminuir la cantidad de árboles sanos talados (20%-30%)	Reportes de Medio ambiente municipal
Objetivos	Impartir educación ambiental	Cursos y talleres de educación ambiental	Impartición de cursos y/o talleres en todos los sectores educativos y empresariales.	Reportes de medio ambiente municipal
Actividades	Desarrollar una guía de árboles de la región	Identificación de especies nativas e introducidas	Disminuir la tala de árboles en la región (25%-50%)	Reportes Medio ambiente y CONAFOR
	Reubicación de especies	Especies reubicadas en áreas de cambio de uso de suelo con presencia de especies silvestres	Aumentar las poblaciones de especies en riesgo o peligro de extinción	Informes anuales de SEMARNAT y CONABIO
Propósito (AA)	Reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos.	Contaminantes emitidos y severidad	Disminuir las emisiones (20%-35%)	Informes de Calidad del aire: Programa Proaire, monitoreo del aire en sitios web libres
Objetivos	Proponer el establecimiento de filtros en industrias	Empresas con filtros calidad y proporción de reducción de contaminación.	Aumentar la cantidad de empresas con filtros (10%-30%)	Informes mensuales medio ambiente municipal y monitoreo de aire en sitios web libres.
Actividades	Mitigación ambiental	Proporción poblacional con problemas relacionados con contaminación ambiental	Disminuir el número de personas con afecciones relacionadas a la contaminación ambiental	Informes del sector salud
	Informar por redes sociales y otros medios la calidad del aire	Reportes de calidad de aire diarios	Aumentar la difusión en medios de comunicación de radio, tv y redes sobre la calidad del aire.	Encuestas en redes sociales

Conclusiones

La metodología de marco lógico permitió organizar los problemas de gestión de los recursos hídricos, el aire atmosférico, los recursos edáficos y los recursos bióticos en Torreón, Gómez Palacio y Lerdo. Los árboles de problemas y objetivos facilitaron la identificación de posibles causas, efectos y alternativas de intervención, mientras que la matriz de marco lógico integró acciones, indicadores y medios de verificación para orientar la toma de decisiones ambientales.

Por su población e importancia económica, los problemas ambientales de estos municipios requieren atención coordinada de las autoridades y los sectores involucrados. Las estrategias propuestas constituyen un punto de partida para una gestión más sustentable; antes de aplicarlas será necesario establecer líneas de base, definir metas verificables y evaluar su viabilidad. Su implementación y seguimiento permitirán valorar si contribuyen a mejorar las condiciones ambientales y el bienestar de la población a largo plazo.

Referencias

Aldunate, E., & Córdoba, J. (2011). Formulación de programas con la metodología de marco lógico. *CEPAL, Serie Manuales 68*. https://www.cepal.org/es/publicaciones/5507-formulacion-programas-la-metodologia-marco-logico

Altomonte, H., & Sánchez, R. (2016). *Hacia una nueva gobernanza de los recursos naturales en América Latina y el Caribe*. CEPAL. https://www.cepal.org/es/publicaciones/40157-nueva-gobernanza-recursos-naturales-america-latina-caribe

Barrios-Avalos, J. J., & Franquesa-Sánchez, J. (2024). Hydrological and urban analysis of territories under high water stress: Nazas and Aguanaval rivers, Mexico. *Land, 13*(7), 1074. https://doi.org/10.3390/land13071074

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2016). *Estadísticas del agua en México, edición 2016*. https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM2016.pdf

Dorjderem, B., Torres-Martínez, J. A., & Mahlknecht, J. (2020). Intensive long-term pumping in the Principal-Lagunera Region aquifer (Mexico) causing heavy impact on groundwater quality. *Energy Reports, 6*, 862–867. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.11.020

Esri. (2020). *ArcGIS Desktop* (version 10.8) [Software]. https://support.esri.com/en-us/products/arcmap/life-cycle

González-Zamora, A., & Pérez-Morales, R. (2018). The endemism of the vascular flora of Mexico present in Comarca Lagunera, an agricultural region in the Chihuahuan Desert. En *Endemic Species*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.82709

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). *Uso del suelo y vegetación, serie VII* [Conjunto de datos geográficos]. https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/

Sariñana-Ruiz, Y. A., Vazquez-Arenas, J., Sosa-Rodríguez, F. S., Labastida, I., Armienta, M. A., Aragón-Piña, A., Escobedo-Bretado, M. A., González-Valdez, L. S., Ponce-Peña, P., Ramírez-Aldaba, H., & Lara, R. H. (2017). Assessment of arsenic and fluorine in surface soil to determine environmental and health risk factors in the Comarca Lagunera, Mexico. *Chemosphere, 178*, 391–401. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.032

Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB-CONABIO). (2023). *Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México* [Datos geográficos]. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://www.snib.mx/

Soto-Jiménez, M. F., Zhao, S., Jaffer, E., & Jocobi-Aguilar, C. L. (2026). Atmospheric dry and lead deposition in an arid Mexican city: Legacy of smelting and leaded gasoline. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 90*, 16. https://doi.org/10.1007/s00244-026-01184-7

Torres-Martínez, J. A., Mora, A., Mahlknecht, J., Daesslé, L. W., Cervantes-Avilés, P., & Ledesma-Ruiz, R. (2021). Estimation of nitrate pollution sources and transformations in groundwater of an intensive livestock-agricultural area (Comarca Lagunera), combining major ions, stable isotopes and MixSIAR model. *Environmental Pollution, 269*, 115445. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115445

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE RECURSOS FLORISTICOS DE INTERES APICOLA EN EL RANCHO EL CARMEN

Miguel Ángel Mata-Espinosa[1]*, José Eduardo Hernández-García[1], Luz Elena Escobedo-Pérez[1], Luis Gerardo Yañez-Chávez[1], David Hernández-Sánchez[2], Mauricio Velázquez-Martínez[3], Gonzalo Hernández-Ibarra[1].

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas; km 40 Carretera Gómez Palacio, Dgo.-Cd. Juárez, Chih.; CP 35230. Bermejillo, Mapimí, Durango, México.[2]Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Edo. México. CP 56230.[3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental San Luis, km 14.5 Carretera San Luis Potosí-Matehuala. Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. CP 78430. *Autor de correspondencia: mata@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Estudios recientes indican que en el estado de Durango ha habido una reducción del inventario de colmenas, las causas son multifactoriales, pero se ha comprobado que una de las causas principales es el uso de agroquímicos en la agricultura que son tóxicos para las abejas; también se ha estudiado que el clima extremo causa afectación y mortandad de abejas; esta pérdida de abejas afecta directamente la seguridad alimentaria. Aunado a estos efectos ambientales y antropogénicos, la brevedad de las floraciones naturales tiene como consecuencia directa que haya una actividad polinizadora crítica, limitando esta función ambiental ampliamente. Ante este escenario, una alternativa de solución es gestionar el uso de abejas mediante la movilización de colmenas que ofrecen servicios de polinización, lo cual compensa en cierta medida la baja diversidad y cantidad de polinizadores silvestres (IPBES, 2016).

Los estudios hechos por Balvino-Olvera et al. (2024), indican que en ambientes con vegetación nativa y cultivos convencionales da como resultado la presencia de colonias más sanas; y por otro lado el clima extremo y la falta de floración reducen el servicio de polinización. También se sabe que un ambiente con recursos florísticos diversos influye directamente en el tamaño y estado nutricional de la colonia y trae consigo una mejora en la eficiencia de la polinización. En este sentido es trascendental conocer los periodos de floración de los recursos florísticos a nivel local y regional en las zonas áridas. Por lo anterior el objetivo de la presente investigación es determinar los periodos de disponibilidad espacial y temporal de recursos florísticos de interés apícola y la inclusión de un cultivo forrajero que sustente el flujo de néctar y polen en la época invernal en el Rancho El Carmen, localidad de Bermejillo, Mapimí, Durango.

Materiales y métodos

Lugar del estudio. El estudio se realizó en el rancho “El Carmen”, perteneciente a la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo en Bermejillo, Durango, México. La región se ubica entre las coordenadas geográficas 25° 53’ 54.02’’ N y -103° 35’ 59.7’ O y una altitud media de 1,100 m. El área presenta una superficie plana donde se localiza el área agrícola, la cual tiene un clima seco desértico. El clima es tipo árido caliente desértico, seco, con régimen de lluvias en verano e inviernos fríos, clasificado como BW (h) HW (e). La precipitación pluvial media anual de 258 mm y la evaporación media anual de 2,000 mm, la temperatura media anual de 21 °C con máxima de 33.7 °C y mínima 7.5 °C (García, 1973). La vegetación natural corresponde a matorral micrófilo y presencia de mezquites y huizaches asociados en manchones.

Establecimiento del experimento. El estudio se llevó a cabo en el área circundante al apiario que se encuentra localizado en la posta zootecnia del rancho El Carmen. El área de estudio fue definida considerando un radio de forrajeo (pecoreo) de la abeja de 3 km, lo cual corresponde a una superficie de 28.27 km^2. Aunque las abejas melíferas pueden pecorear áreas vastas alrededor del nido, hasta 10 km si los recursos son escasos, ellas prefieren pecorear de 1- 2 km de distancia de sus nidos. Se ha observado qua a mayor distancia entre el nido (colmena) y el cultivo, se observa un número menor de abejas pecoreando (Farina et al., 2023). Para el monitoreo de las inflorescencias del cultivo de canola, se estableció una superficie de 1,667 m^2 el 27 de noviembre del 2025 usando 7.0 kg de semilla comercial por hectárea, se fertilizo con MAP y sulfato de amonio. Se realizó un riego de aniego y se aplicaron tres riegos de auxilio. Se monitoreo la fenología del cultivo en 9 parcelas de 4m^2 y se registró el desarrollo de la floración diariamente para registrar el inicio, mayor abundancia y senescencia de las flores.

Análisis espacial y temporal de la vegetación de importancia apícola. Se delimitó el área de estudio mediante la aplicación de Google Earth® considerando un área de pecoreo de aproximadamente 28 km^2, que corresponde a un círculo con un radio de 3 km. Luego con el uso de las cartas de uso de suelo y vegetación de INEGI se identificó el tipo de vegetación predominante; posteriormente se hicieron recorridos mediante transectos a pie para identificar la flora de interés apícola predominante. Una vez identificada se procedió a realizar un monitoreo continuo de las inflorescencias para registrar el inicio, la mayor abundancia y el termino de las inflorescencias. En el cultivo de canola, se monitoreo el desarrollo fenológico del cultivo y de floración para registrar el inicio, mayor abundancia y senescencia de las flores.

Resultados y discusión

Con el uso de las cartas de suelo y vegetación de INEGI se identificó que la vegetación presente es de matorral micrófilo en la mayor superficie y en menor superficie vegetación herbácea anual y perenne, presencia de mezquites y huizaches asociados en manchones, así como áreas de cultivo. El recurso florístico a nivel local más importante es la inflorescencia de mezquite (*Neltuma* sp.). Se eligieron 16 árboles ubicados en varios sitios representativos del área de muestreo. Se determinó la fecha de inicio y fin de la presencia de inflorescencias mediante observación directa. Se eligió una rama de cada árbol y se dio seguimiento al desarrollo fenológico de las inflorescencias mediante observación visual directa. Se realizaron conteos cada tercer día, del número de inflorescencias abiertas en cada rama y se registró la presencia o ausencia de abejas pecoreando. Con esta información, se determinó la fecha de inicio y fin de la presencia de flores, así como el momento (pico) en que hay una disponibilidad mayor de este recurso (Figura 1). En consecuencia, se identificó la disponibilidad temporal y espacial de flores para el forrajeo de las abejas que servirá como referencia para elaborar un calendario que complemente los planes de manejo para las abejas.

La Figura 1 muestra la variación en el número de inflorescencias de mezquite observadas a lo largo del tiempo, desde el 14 de marzo hasta el 13 de abril. Durante este periodo de floración se identifican 5 etapas. Fase 1, inicio del 14 al 20 de marzo, hay pocas inflorescencias (5-10) y aumenta hasta casi 670-70. La fase 2, de crecimiento, del 20 al 30 de marzo, hay incremento marcado a partir del 20, algunas ramas registran entre 200 y 300 inflorescencias. La tendencia sigue en aumento hasta llegara a su punto máximo. En la etapa 3, denominada pico de floración, se presenta alrededor del 30 de marzo. Tuvo promedios de 160 a 170 inflorescencias por árbol y algunos superaron las 250-300 inflorescencias. Este periodo representa la máxima producción floral de mezquite. La cuarta etapa se refiere a la fase de decrecimiento y corresponde al periodo del 1-7 de abril.

Las inflorescencias disminuyen rápidamente y el promedio cae de 160 a 20 inflorescencias, esto indica un marchitamiento de las flores e inicio de la formación de frutos. La etapa 5 es el fin de la floración y se presentó del 9 al 13 de abril. Valores casi nulos para el numero de inflorescencia y la línea de tendencia (promedio) se aproxima a cero, indicando el término del periodo principal de floración.

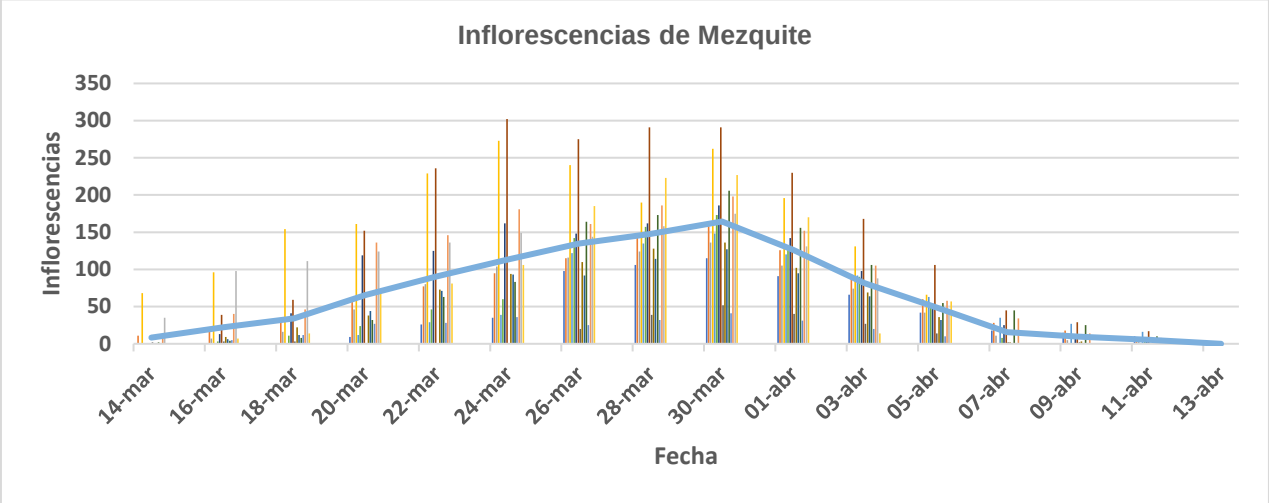


Figura 1. Distribución y abundancia de inflorescencias de mezquite.

En general, la presencia de inflorescencias de mezquite muestra una curva unimodal, es decir, un solo pico importante; la duración efectiva de la floración fue de aproximadamente 3 semanas, siendo el periodo del 24 al 31 de marzo cuando se presentó la mayor disponibilidad de inflorescencias.

En la Figura 2 se muestra la dinámica de floración del cultivo de canola entre el 15 de febrero y el 15 de marzo del 2026; en la gráfica se pueden identificar 3 etapas de la floración. En la etapa 1 la mayoría de las plantas están entrando en la fase reproductiva. Hay una cantidad baja de flores (menos de 10) del día 15 al 20 de febrero.

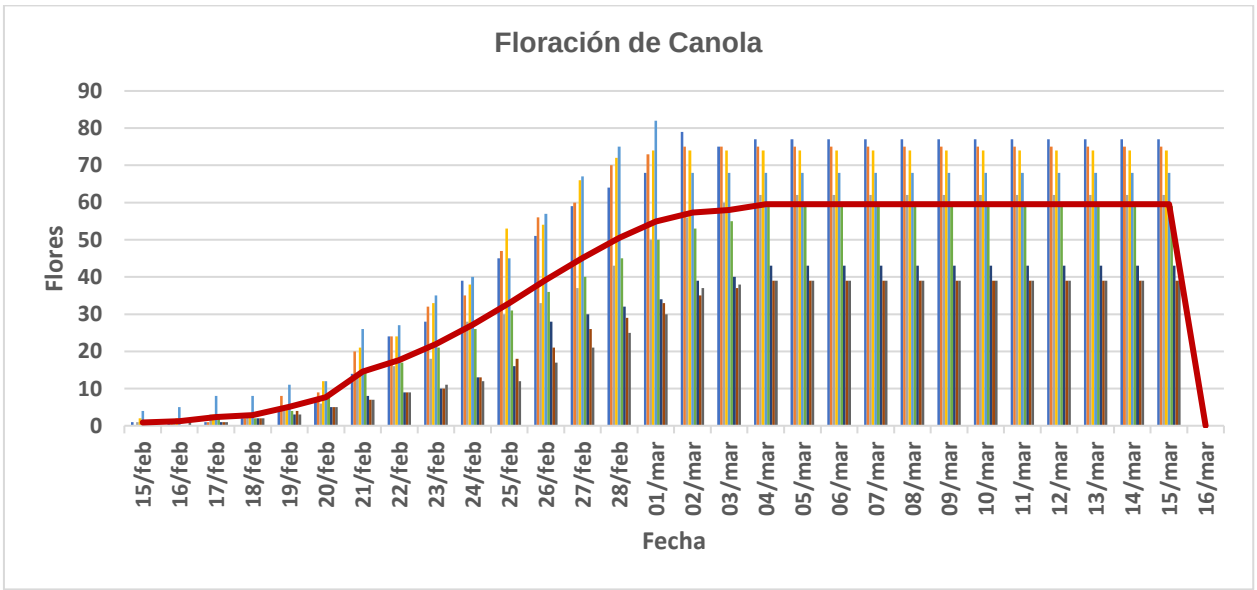


Figura 2. Distribución y abundancia de flores de canola.

Para la etapa 2 se identifica un aumento acelerado de la floración, lo cual ocurre del 21 de febrero al 1 de marzo. Algunas parcelas registran entre 60 y 80 flores. Esta etapa corresponde al período máximo de emisión de flores. La etapa 3 corresponde a la floración máxima, lo cual ocurre del 1 al 4 de marzo, aquí se observan los registros más altos de flores, algunas parcelas alcanzan aproximadamente 80 flores. Se alcanza el pico de floración del cultivo; este es el momento de mayor potencial para la polinización por las abejas y la posterior formación de frutos (silícuas). La etapa 4 corresponde a la formación de una meseta o estabilización. La mayoría de las flores ya han emergido, la producción de flores es mínima y el cultivo entra en una fase más estable donde ocurre fecundación y desarrollo de frutos.

Con relación a la actividad apícola, durante la floración plena (inicio y a mediados de marzo), las colonias dispondrán de néctar y polen abundante favoreciendo un incremento en la postura de la reina, mayor producción de cría y la consecuente acumulación de reservas de miel y polen. Con relación al momento óptimo para la polinización, se identifica que la actividad máxima de pecoreo de las abejas coincide aproximadamente entre el 1 y 15 de marzo, cuando existe la mayor densidad floral; por lo anterior, se recomienda instalar las colmenas entre 7 y 10 días antes de la etapa de floración plena (finales de febrero) para que las colonias alcancen su máxima fuerza durante el pico floral. Para la productividad del cultivo, la presencia de abejas durante el periodo de máxima floración puede contribuir a una mayor transferencia de polen, mejor “cuajado” de silicuas, un incremento en el número y peso de semillas, así como un mayor rendimiento del cultivo. En general, el cultivo de canola presenta una ventana de floración intensa concentrada entre finales de febrero y mediados de marzo, periodo que representa una excelente oportunidad para la apicultura comercial y de polinización. Las colonias de abejas deben de ingresar al cultivo poco antes del inicio de floración plena para maximizar la recolección de néctar y polen, favorecer el desarrollo de la colonia y la producción de miel, así como potenciar el servicio de polinización del cultivo.

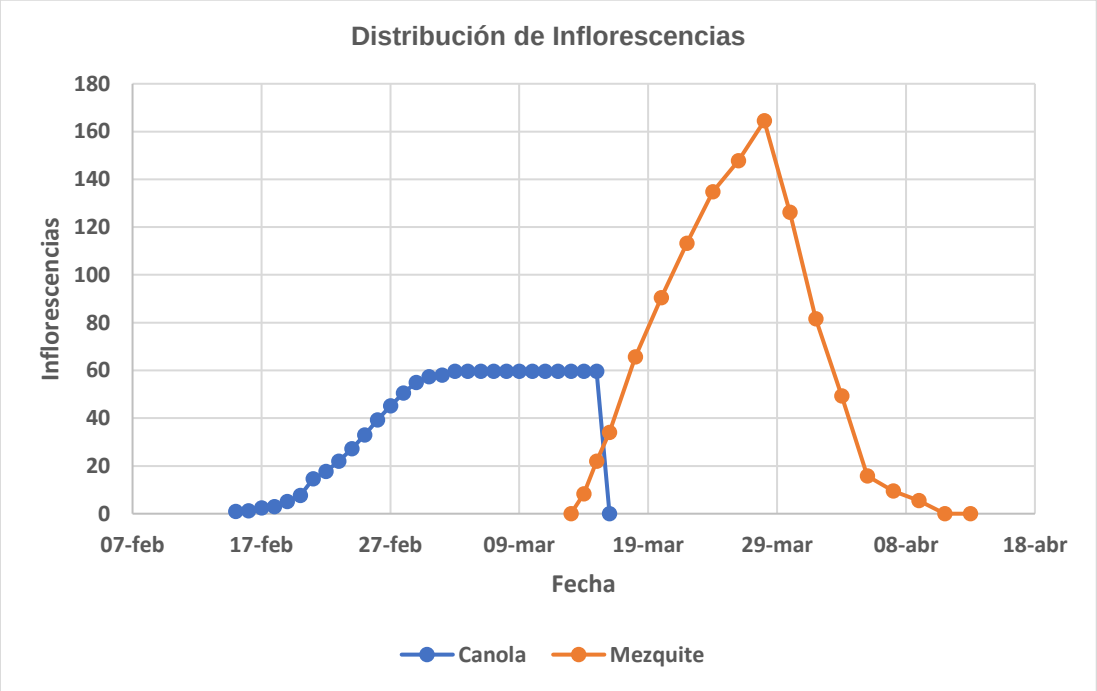


Figura 3.-Distribución y abundancia de flores de canola e inflorescencias de mezquite.

Los resultados en la Figura 3 muestran una sucesión fenológica entre la canola y mezquite. La canola presentó una floración temprana, alcanzando un máximo cercano a 60 inflorescencias a principios de marzo, mientras que el mezquite inició su floración posteriormente y alcanzó un pico mucho mayor, de aproximadamente 165 inflorescencias a finales de marzo. Este traslape ligero entre ambas floraciones favorece la disponibilidad continua de recursos florales para insectos polinizadores durante la transición entre especies. Estos resultados son relevantes ya que indican una fuente continua de néctar y polen desde mediados de febrero hasta principios de abril.

Conclusiones

La distribución temporal de las inflorescencias indica una sucesión fenológica favorable para la actividad apícola. La canola aportó recursos florales desde mediados de febrero hasta mediados de marzo, lo cual promueve el crecimiento poblacional de las colonias. Posteriormente, el mezquite presentó una floración más intensa, alcanzando el máximo número de inflorescencias a finales de marzo, lo que constituye la fuente principal de néctar para la producción de miel.

El traslape breve entre la floración de ambas especies contribuye a una disponibilidad continua de recursos, favoreciendo la nutrición y productividad de las colonias de abejas. Este comportamiento fenológico respalda la hipótesis de que la canola puede funcionar como recurso estratégico para el fortalecimiento de las colonias antes del flujo de néctar proveniente del mezquite, aumentando potencialmente la producción de miel en los apiarios instalados cerca de ambos recursos florales.

En general, el periodo de disponibilidad de recursos florales para el pecoreo de *Apis mellifera* en el cultivo de canola fue de un mes (15 de febrero al 15 de marzo), con un periodo máximo de disponibilidad de flores del 1 al 15 de marzo. Para el mezquite fue durante un periodo del 14 de marzo al 14 de abril (un mes) con un pico máximo del 24 al 31 de marzo. Se logro establecer una sucesión fenológica entre canola y mezquite con lo cual se obtuvo un traslape ligero entre estas especies favoreciendo el flujo continuo de néctar y polen durante un periodo de dos meses (15 de febrero al 15 de abril). Para lograr esta propuesta, y obtener este traslape, se recomienda establecer el cultivo de canola el día 27 de noviembre.

Referencias

Balvino-Olvera, F. J., Olivares-Pinto, U., González-Rodríguez, A., Aguilar-Aguilar, M. J., Ruiz-Guzmán, G., Lobo-Segura, J., Cortés-Flores, J., Cristobal-Pérez, E. J., Martén-Rodríguez, S., Patiño-Conde, V., & Quesada, M. (2024). Effects of floral resources on honey bee populations in Mexico: Using dietary metabarcoding to examine landscape quality in agroecosystems. Ecology and Evolution. https://doi.org/10.1002/ece3.11456.

Farina, W. M., Arenas, A., Estravis-Barcala, M., & Palottini, F. 2023. Targeted crop pollination by training honeybees: Advances and perspectives. *Frontiers in bee science*. https://doi.org/10.3389/frbee.2023.1253157

García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática Köppen (para adaptarlo a las condiciones climáticas de la República Mexicana)*. Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.igg.unam.mx/geoigg/biblioteca/archivos/memoria/20190917100949.pdf

Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES). (2016). *Resumen para los responsables de la formulación de políticas del informe de evaluación de la Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los ecosistemas sobre polinizadores, polinización y producción de alimentos* (S. G. Potts, V. L. Emperatriz-Fonseca, H. T. Ngo, J. C. Biesmeijer, T. D. Breeze, L. V. Dicks, L. A. Garibaldi, R. Hill, J. Settele, A. J. Vanberge, M. A. Aizen, S. A. Cunningham, C. Eardley, B. M. Freitas, N. Gallai, P. G. Kevan, A. Kovács-Hostyánsky, P. K. Kwapong, J. Li, D. J. Martins, G. Nates-Parra, J. S. Pettis, R. Rader y B. F. Viana, Eds.), pp. 1-28. IPBES.

POTENCIAL GERMINATIVO DE *Bursera fagaroides* (Kunth) Engl. DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE DURANGO

José Leonardo García-Rodríguez[1], José Ángel Sigala-Rodríguez[1]*, Homero Sarmiento-López[1], José Carlos Monárrez-González[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle del Guadiana, Ctra. Durango - El Mezquital km 4.5, C.P. 34170. Durango, México. *Autor de correspondencia: sigala.jose@inifap.gob.mx

Introducción

México cuenta con una alta diversidad de especies del género *Bursera*, que se distribuyen en diferentes ecosistemas, desde los tropicales hasta los secos o semisecos. Además de su importancia ecológica, estas especies son relevantes en el ámbito socioeconómico por sus diversos usos, como los medicinales, artesanales e incluso religiosos (Barrales-Alcalá y Bonfil, 2024). Sin embargo, en muchas regiones, el aprovechamiento indiscriminado de las especies de *Bursera* ha provocado la reducción y la fragmentación de sus poblaciones naturales. Por lo tanto, es importante realizar esfuerzos para su propagación y restablecimiento en sitios donde han perdido la capacidad de regeneración natural.

La especie *Bursera fagaroides* (Kunth) Engl. se distribuye ampliamente en México debido a su baja especificidad ambiental (Hernández-Pérez et al., 2011). Aunque esta especie se encuentra comúnmente en los ecosistemas de selva baja caducifolia, también se ha reportado con frecuencia en regiones áridas y semiáridas, donde predomina el matorral xerófilo (Cerda-Lemus, 2010). En el estado de Durango se le encuentra tanto en ecosistemas de selva baja caducifolia de la Sierra Madre Occidental como en el matorral xerófilo hacia el interior de la entidad (González-Elizondo et al., 2012). No obstante, el estudio de la ecología de las poblaciones de *B. fagaroides* en esta región ha sido escaso. En particular, se desconoce su potencial reproductivo y de propagación. Estudios en poblaciones del centro del país reportan un bajo potencial germinativo de *B. fagaroides* (Bonfil-Sanders et al., 2008; Núñez-Cruz et al., 2018; Barrios, 2021), lo cual, en muchos casos, puede atribuirse a la endogamia, especialmente en poblaciones pequeñas afectadas por la fragmentación; sin embargo, en las poblaciones del norte esto aún no se ha determinado. En este sentido, el objetivo del estudio fue estimar los principales parámetros de germinación de las semillas de *B. fagaroides* procedentes de la región en las inmediaciones de la cabecera Municipal de Mezquital en el estado de Durango.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el laboratorio de usos múltiples del Campo Experimental Valle del Guadiana del INIFAP. Se utilizaron semillas de *B. fagaroides* recolectadas en las inmediaciones del Municipio de Mezquital, Durango en las coordenadas 23.47° N y 104.37° O en mayo de 2026. La recolección de frutos se realizó en 15 árboles identificados por presentar características superiores. De cada árbol se seleccionaron frutos maduros a punto de abrir o abiertos, con la semilla expuesta. De cada árbol se recolectaron al menos 200 frutos y se depositaron en bolsas de papel para su transporte al laboratorio. Una vez en el laboratorio, los frutos se secaron a temperatura ambiente sobre papel estraza durante 20 días y, después, se retiró el exocarpio por fricción y se extrajo la semilla. Finalmente, las semillas se limpiaron y se almacenaron a 4 °C en recipientes de vidrio hasta su uso.

La prueba de germinación de las semillas se llevó a cabo en julio de 2026. Para esto, se seleccionaron cuatro submuestras de 100 semillas cada una. Las semillas se colocaron sobre papel absorbente y se envolvieron en papel estraza, previamente humedecidos y se colocaron dentro de bolsas de plástico en oscuridad en una germinadora a 26 °C durante 30 días. En este período, se contabilizó diariamente el número de semillas germinadas por submuestra. Los datos de germinación diaria se utilizaron para estimar los parámetros germinativos de las semillas: porcentaje de germinación, tiempo para alcanzar el 50% de la germinación (T_{50}), tiempo y velocidad de germinación, germinación media diaria, valor pico, valor germinativo, coeficientes de uniformidad y sincronía de la germinación. Este análisis se realizó con la función *germination.indices* del paquete de R 'germinationmetrics' (Aravind et al., 2023). La estimación se realizó para cada muestra y se aplicó una estadística descriptiva a sus valores.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de los principales parámetros germinativos de las semillas de *Bursera fagaroides* estudiadas. Las semillas presentaron una germinación relativamente alta (>75 %), en comparación con los estudios previos en el centro del país, donde se han reportado porcentajes de germinación inferiores al 10 %, debido a la alta proporción de semillas inviables o vanas (Bonfil-Sanders et al., 2008; Barrios, 2021).

Cuadro 1. Parámetros germinativos de las semillas de *Bursera fagaroides* (Kunth) Engl. procedentes de Mezquital, Dgo.

Parámetro	Media	Desv. Est.	Min	Max
Germinación (%)	75.3	8.1	66.0	83.0
T_{50} (días)	11.0	1.3	10.0	12.9
Tiempo de germinación (días)	12.6	1.1	11.7	14.2
Velocidad de germinación (% día^{-1})	6.7	1.2	5.7	7.8
Germinación media diaria	2.5	0.3	2.2	2.8
Valor pico	4.7	0.7	3.5	5.0
Valor germinativo	11.0	2.7	8.9	13.5
Coeficiente de uniformidad	0.06	0.01	0.05	0.07
Sincronía de la germinación	0.16	0.02	0.14	0.19

En cuanto a la dinámica de germinación, se observó un período de germinación del día 7 al 17 después de iniciada la prueba, con un tiempo medio de germinación de 12 días (Figura 1). Estos valores son similares a los de otras especies de *Bursera* (Bonfil-Sanders et al., 2008). La velocidad media de germinación fue de 6.7% al día (Cuadro 1), con un máximo de 10.8% alcanzado el día 10 (Figura 1). Por otra parte, de acuerdo con los valores de uniformidad y sincronía, puede decirse que las semillas estudiadas presentan una heterogeneidad relativa en la germinación. En especies con algún tipo de latencia, estos parámetros pueden mejorarse mediante tratamientos pregerminativos. Sin embargo, en este caso, las semillas de *Bursera fagaroides* no recibieron ningún tratamiento pregerminativo. Los estudios previos muestran que esta especie tiene semillas con testas permeables, lo que permite una rápida imbibición; por lo tanto, los autores sugieren que los tratamientos pregerminativos de inmersión no influyen en la germinación (Bonfil-Sanders et al., 2008; Núñez-Cruz et al., 2018). Investigaciones futuras podrían enfocarse en estudiar la fisiología de las semillas de esta especie, a fin de indagar si presentan algún otro tipo de latencia que limita su potencial germinativo. Asimismo, en este estudio se analizó el potencial germinativo de *Bursera fagaroides* en condiciones de laboratorio a temperatura constante, por lo que se requiere realizar pruebas de germinación en condiciones de vivero.

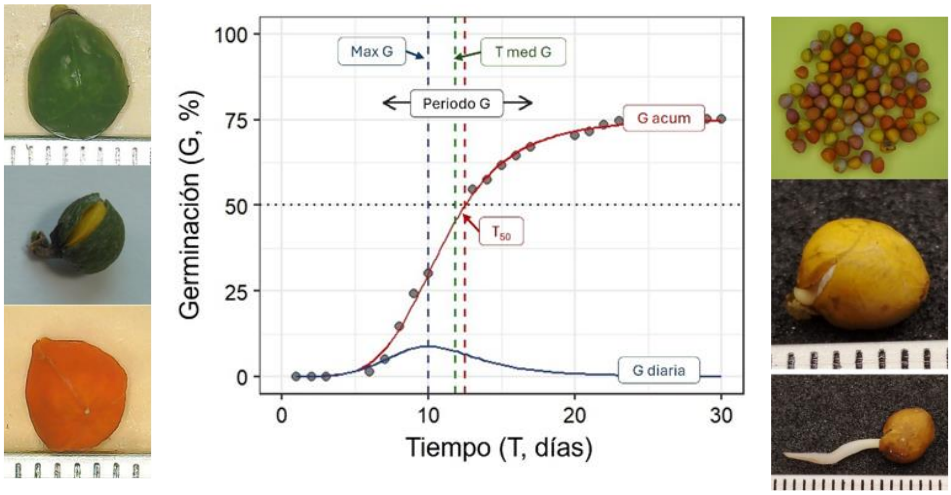


Figura 1. Frutos y semillas de *Bursera fagaroides* (Kunth) Engl. procedentes de Mezquital, Dgo., y dinámica de la germinación (gráfica central). Los puntos representan los valores observados de germinación (G) acumulada y la línea roja continua representa los valores predichos. La línea azul continua representa la germinación diaria estimada y la línea azul discontinua indica el día (T) en el que se presentó la máxima tasa de germinación. Las líneas discontinuas rojas y verdes representan el día en que se alcanzó el 50% de germinación (T_{50}) y el tiempo medio de germinación, respectivamente.

Conclusiones

Las semillas de *Bursera fagaroides* de la región semiárida del estado de Durango presentan un alto potencial germinativo, por lo que su germoplasma puede utilizarse para su propagación en vivero con fines de restauración. El presente estudio constituye un primer acercamiento para comprender la ecología reproductiva de poblaciones de *B. fagaroides* en el norte de México.

Agradecimientos

Se agradece a Cynthia B. Falcón Gómez, Jaime A. Ibarra González, Dayra Y. Cardiel Vitela y Venessa Reyes Hernández por su apoyo en la toma de datos de germinación, UBBJG-Cuencamé.

Referencias

Aravind, J., Vimala Devi, S., Radhamani, J., Jacob, S. R., and Srinivasan K (2023). Germinationmetrics: Seed Germination Indices and Curve Fitting. R package version 0.1.8.

Barrales-Alcalá, B., & Bonfil, C. (2024). Análisis del conocimiento actual de la ecología, evolución y manejo del género Bursera (Burseraceae) en México. Acta Botánica Mexicana, (131).

Barrios P., J. A. (2021). Germinación de semillas de tres especies de *Bursera* sobre suelo nativo y un sustrato de vivero de forma in situ y ex situ. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Diversidad y Conservación. Universidad Autónoma de Morelos. 61 p.

Bonfil-Sanders, C., Cajero-Lázaro, I., y Evans, R. Y. (2008). Germinación de semillas de seis especies de *Bursera* del centro de México. Agrociencia, 42(7), 827-834.

Cerda-Lemus, M. E. D. L. (2011). La familia Burseraceae en el estado de Aguascalientes, México. Acta botánica mexicana, (94), 1-25.

González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., & López-Enríquez, I. L. (2012). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: Una síntesis. Acta Botánica Mexicana, (100), 351-403.

Hernández-Pérez, E., González-Espinosa, M., Trejo, I., & Bonfil, C. (2011). Distribución del género Bursera en el estado de Morelos, México y su relación con el clima. Revista Mexicana de Biodiversidad, 82(3), 964-976.

Núñez-Cruz A, Meave JA, Bonfil C. (2018). Reproductive phenology and seed germination in eight tree species from a seasonally dry tropical forest of Morelos, Mexico: implications for community-oriented restoration and conservation. Tropical Conservation Science 11: 1-14.

CARACTERIZACIÓN DE ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS EN GENOTIPOS DE MORA CON POTENCIAL PRODUCTIVO

María del Rosario Jacobo-Salcedo, Luis Ángel González-Espíndola, Erika Nava Reyna, José Alberto Urrieta Velázquez*, Hilario Macias Rodríguez

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Zona Industrial km 6.5 Canal Sacramento, CP. 35140. Gómez Palacio, Durango, México. *Autor de correspondencia: urrieta.jose@inifap.gob.mx

Introducción

Las especies del género *Rubus* presentan una amplia diversidad morfológica y una importante adaptación a diferentes condiciones ambientales, lo que ha favorecido su presencia tanto en sistemas cultivados como un poblaciones silvestres. Esta variabilidad representa una fuente potencial de materiales con caracteristicas agronomicas y de calidad de interes. En así que los atributos como la longitud, el ancho y el volumen del fruto constituyen descriptores útiles para la caracterización y diferenciación de genotipos (Zia-ul-haq et al., 2014). Las moras han demostrado una dominante adaptabilidad en diferentes condiciones climáticas y edáficas. Para esta especie se ha reportado resistencia a condiciones de estrés abiótico como la baja fertilidad del suelo o clima riguroso, y se desarrolla fácilmente en hábitats silvestres (Can et al., 2021). Debido a esta característica, esta fruta, se cultiva de forma natural en gran diversidad de ecosistemas. Estudios previos muestran que la acumulación de compuestos activos en *Morus spp*. está influenciada por factores ambientales como la temperatura y condiciones ambientales (Yang et al., 2023; Yang et al., 2021). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue caracterizar morfológicamente los genotipos de mora negra y mora blanca identificados con potencial productivo y determinar la variabilidad existente entre los materiales como base para su identificación y selección.

Materiales y metodos

Los frutos de mora fueron recolectados en las localidades indicadas en el Cuadro 1, ubicadas en la Comarca Lagunera. Los sitios de colecta fueron georreferenciados para su posterior ubicación y caracterización. De estos materiales se recolectaron material vegetativo para su propagación.

Cuadro 1. Identificación y descripción de ecotipos de Moras evaluados.

Identificación	Ubicación	Descripción
Nazas-Morada	Nazas, Durango	Moras-Moradas
Perla	Nazas, Durango	Moras-Moradas
Emilio Carranza	Emilio Carranza, Durango	Moras-Moradas
Feria Morada	Gómez Palacio, Durango	Moras-Moradas
Nazas Blanca	Nazas, Durango	Moras -Blancas
Noria-Negra	Gómez Palacio, Durango	Moras -Negras

Medición de longitud de frutos de mora. La longitud de los frutos se evaluó tomando el origen del pedúnculo hacia el extremo más largo, haciendo uso de un vernier automático. La longitud se determinó en milímetros (mm).

Medición del ancho de frutos de mora. El ancho de los frutos se evaluó considerando la medición lateral del fruto, haciendo uso de un vernier automático. El ancho se determinará en milímetros (mm).

Medición del volumen de los frutos de mora. El volumen de los frutos de mora se determinó mediante el método de desplazamiento de agua. Se colocó un volumen conocido de agua en una bureta graduada y se registró el volumen inicial (V_1). Posteriormente, cada fruto se sumergió completamente y se registró el volumen final (V_2). El volumen del fruto (V) se calculó mediante la ecuación $\mathbf{V = V_2 - V_1}$ y se expresó en cm^3. Para minimizar errores de medición, se evitó la presencia de burbujas de aire adheridas a la superficie del fruto durante la determinación.

Analisis estadistico. Los resultados obtenidos se analizaron mediante una prueba de normalidad, posteriormente se desarrollo un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de Tukey para determinar las diferencias estadisticas.

Resultados y discusión

La longitud de los frutos mostró diferencias significativas entre los ecotipos de mora (F=992.57, g.L.=7, *p* = 0.0001). Negra-Noria presentó la mayor longitud, con una media de 32.8 mm, mientras que Blanca-Nazas registró la menor longitud, con alrededor de 22.65 mm. Los valores de las medias indicaron que el ecotipo Negra-Noria presentó frutos significativamente más largos que el resto de los materiales evaluados. Estos resultados ilustran la variabilidad entre los ecotipos en la evaluación de la longitud del fruto.

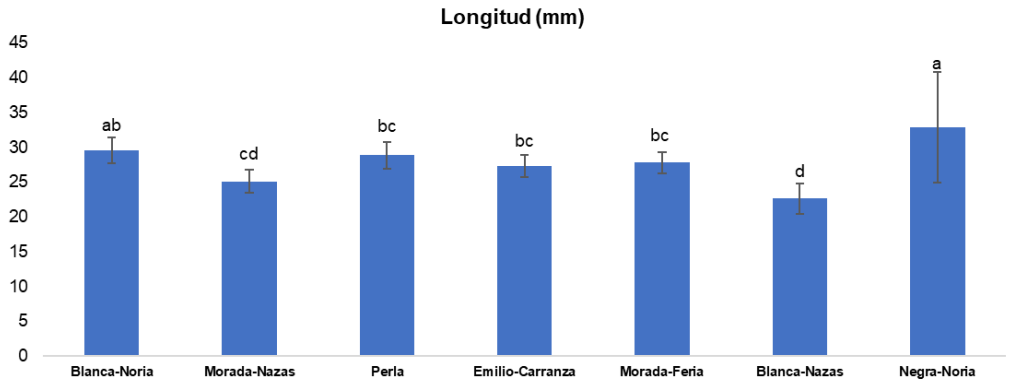


Figura 1. Longitud de frutos de ecotipos de mora evaluados en la región Lagunera. Los valores representan la media ± desviación estándar (DE). Letras diferentes indican diferencias significativas entre ecotipos según la prueba de Tukey (p ≤ 0.05).

Los valores obtenidos en los ecotipos de la región Lagunera se encuentran dentro del intervalo descrito para diferentes materiales de *Rubus*. En materiales silvestres mexicanos se han registrado longitudes de 17 a 27 mm, mientras que la variedad comercial Tupy alcanzó valores superiores, de aproximadamente 46 mm; asimismo, otros estudios con cultivares comerciales han reportado longitudes cercanas a 22–28 mm (Rubio-Ochoa et al., 2019). En este contexto, la longitud observada en los ecotipos evaluados, particularmente en Negra-Noria, evidencia un comportamiento morfológico comparable con materiales de mayor tamaño reportados para el género. Así mismo, estudios reportados con *Rubus* han mostrado que caracteres relacionados con el tamaño del fruto presentan un componente genético relativamente estable, aunque pueden existir interacciones entre genotipo y ambiente (Willman et al., 2022).

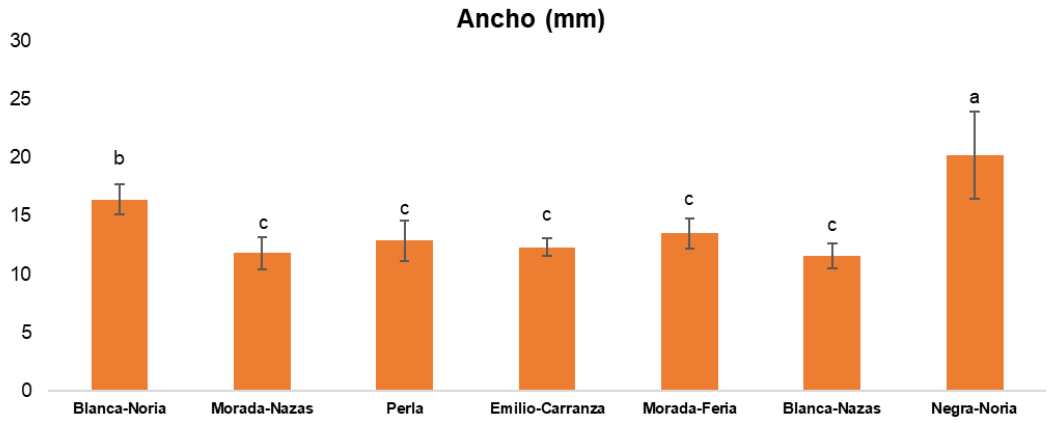


Figura 2. Ancho de frutos de ecotipos de mora evaluados en la región Lagunera. Los valores representan la media ± desviación estándar (DE). Letras diferentes indican diferencias significativas entre ecotipos según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

El ancho de los frutos presentó diferencias entre los ecotipos evaluados (F=911.93, g.L.=7, p=0.0001). Negra-Noria presentó el mayor ancho, con 20.193 mm, mientras que los valores más bajos correspondieron a Morada-Nazas, Perla, Emilio-Carranza, Morada-Feria y Blanca-Nazas, cuyos frutos se ubicaron en el rango de 11.6 y 13.5 mm. Los grupos generados a partir de la prueba de medias (Tukey), estadística mostró que Negra-Noria constituyó el único grupo superior, lo que estos resultados evidencian es una diferenciación fenotípica entre los materiales para el ancho del fruto. En una evaluación reciente de nueve genotipos silvestres de zarzamora, se encontraron diferencias significativas en longitud y ancho del fruto, atribuidas a la diversidad existente entre los genotipos evaluados (Dogan et al., 2025). Sin embargo, la expresión del ancho del fruto no responde exclusivamente al componente genético. En poblaciones de *Rubus* se ha documentado que los caracteres relacionados con el tamaño del fruto pueden presentar interacción genotipo × ambiente, aunque algunos componentes del tamaño muestran un control genético relativamente estable entre ambientes (Teixeira De Oliveira et al., 2021).

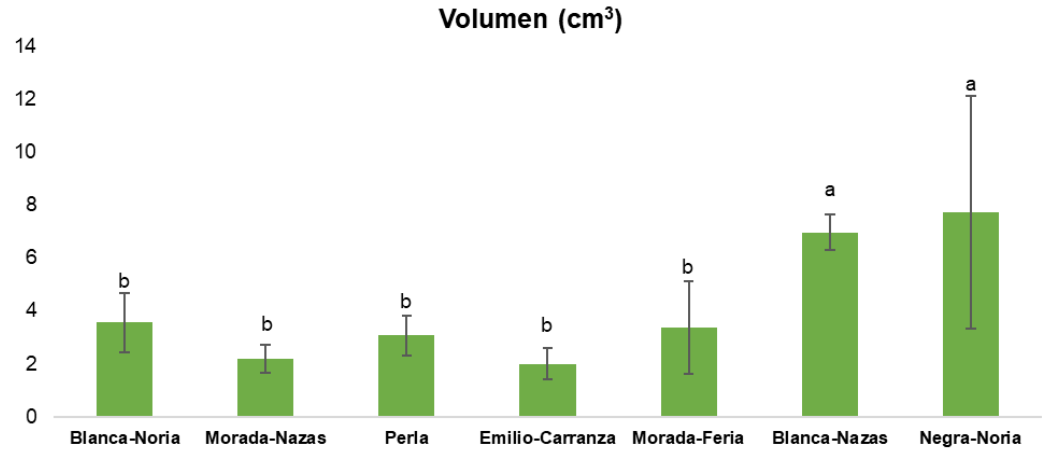


Figura 3. Volumen de frutos de ecotipos de mora evaluados en la región Lagunera. Los valores representan la media ± desviación estándar (DE). Letras diferentes indican diferencias significativas entre ecotipos según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

El volumen de los frutos mostró una diferenciación clara entre los ecotipos evaluados en este estudio (F=89.140, g.L.=7, p=0.001). Blanca-Nazas y Negra-Noria conformaron el grupo estadístico superior (a), mientras que los cinco ecotipos restantes se ubicaron en un segundo grupo (b). Por tanto, ambos materiales presentaron un volumen estadísticamente mayor, sin diferencias significativas entre ellos. Este comportamiento es particularmente interesante porque no reproduce exactamente el patrón observado para longitud y ancho de frutos. El ecotipo Negra-Noria mantiene un comportamiento consistente como material de frutos grandes; sin embargo, Blanca-Nazas, que presentó los menores valores de longitud y ancho, mostró un volumen elevado. Por ello, el volumen está aportando información adicional a las dimensiones lineales y no debe interpretarse simplemente como una repetición de estas variables. Estudios similares muestra que la magnitud del volumen puede variar ampliamente entre genotipos y condiciones de cultivo. En el estudio de Willman et al., (2022), los volúmenes registrados estuvieron aproximadamente entre 4.0 y 5.9 cm^3, sin diferencias significativas entre genotipos, a pesar de la variación numérica observada.

Conclusiones

En conjunto, estos antecedentes respaldan que el volumen puede funcionar como un descriptor complementario de la variación morfológica, particularmente cuando se analiza conjuntamente con longitud, ancho y peso. Sin embargo, la respuesta observada en los ecotipos de la región Lagunera muestra que estas variables no necesariamente presentan una correspondencia lineal perfecta, por lo que su análisis conjunto resulta más informativo que la interpretación aislada de cada carácter.

Referencias

Can, A., Kazankaya, A., Orman, E., Gundogdu, M., Ercisli, S., & Choudhary, R. (2021). Sustainable Mulberry (Morus nigra L., Morus alba L. and Morus rubra L.) Production in Eastern Turkey. *Sustainability*, *13*(13507), 1–13.

Dogan, H., Aglar, E., Ozturk, B., Tekin, O., Alan, D., & Sumbul, A. (2025). Pomological and Biochemical Properties of Blackberry (Rubus fruticocus) Genotypes. *Food Science &Nutrition*, *13*(e70591), 1–13. https://doi.org/10.1002/fsn3.70591

Rubio-Ochoa, E., Pérez-Sánchez, R. E., Ávila-Val, T. C., Gómez Leyva, J. F., & García-Saucedo, P. A. (2019). Propiedades fisicoquímicas de frutos silvestres de Rubus con potencial nutracéutico y alimenticio. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *23*, 291–301.

Teixeira De Oliveira, J., Alves de Oliveira, R., Andrade Silva, P., & Eduardo Teodoro, P. (2021). Contribution to the Selection of Blackberry Through Fruit Physical Variables. *HortScience*, *56*(9), 1003–1004.

Willman, M. R., Bushakra, J. M., Bassil, N., Finn, C. E., Dossett, M., Perkins-veazie, P., Bradish, C. M., Fernandez, G. E., Weber, C. A., Scheerens, J. C., Dunlap, L., & Fresnedo-ram, J. (2022). Analysis of a Multi-Environment Trail for Black Raspberry (Rubus occidentalis L.) Quality Traits. *Genes*, *13*(418), 1–21.

Yang, L., Zhao, J., Fan, S., Liao, J., Chen, Y., & Wang, Y. (2023). Effect of Frost on the Different Metabolites of Two Mulberry (Morus nigra L. and Morus alba L.) leaves. *Molecules*, *28*(4718), 1–15.

Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, *7*(3), 1–36. https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050

Zia-ul-haq, M., Riaz, M., Feo, V. De, Jaafar, H. Z. E., & Moga, M. (2014). Rubus Fruticosus L.: Constituents, Biological Activities and Health Related Uses. *Molecules*, *19*, 10998–11029. https://doi.org/10.3390/molecules190810998

RESPUESTA CLIMÁTICA DEL CRECIMIENTO RADIAL DE *Pinus arizonica* VAR. STORMIAE EN UN BOSQUE CON DECAIMIENTO EN GALEANA, NUEVO LEÓN

Vicenta Constante-García*[1], José Villanueva-Díaz[1], Erika Nava-Reyna[1], Alberto Urrieta-Velázquez[1], Artemio Carrillo-Parra[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. CENID-RASPA. Canal Sacramento Km. 6.5, Gómez Palacio, Durango. [2] Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera (ISIMA), Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Boulevard del Guadiana 501, Ciudad Universitaria. *Autor de correspondencia: constante.garcia@inifap.gob.mx

Introducción

Los bosques son ecosistemas susceptibles a los eventos climáticos extremos, y la sequía es el factor que más afecta su balance de carbono (Granier et al., 2007; Reichstein et al., 2007). Las temperaturas globales han aumentado desde 1850 y desde la década de 1950 hay un registro claro de eventos extremos (Allen et al., 2021), por lo que se espera que los eventos que afectan la mortalidad de árboles se incrementen, ya que temperaturas más altas favorecen el estrés hídrico (Allen et al., 2010; Berry et al., 2014). Numerosos estudios asocian la muerte de árboles con sequías (Allen et al., 2015; Anderegg et al., 2016), y se estima que se requieren aproximadamente 500 moléculas de agua por cada molécula de CO_2 fijada (Taiz y Zeiger, 2002), por lo que la falta de agua altera de manera importante el metabolismo y el crecimiento.

Bajo estrés hídrico, el cierre de estomas reduce la transpiración, pero limita la fijación de carbono, lo que puede conducir a inanición por agotamiento de reservas (Irvine et al., 1998; Scheidegger et al., 2000; Bréda et al., 2006). La sequía también afecta la funcionalidad hidráulica al provocar embolismo, considerado una de las principales causas de mortalidad arbórea (Brodribb y Cochard, 2009), y la muerte del arbolado se acelera por agentes bióticos que afectan principalmente a árboles debilitados (Raffa et al., 2008; Bentz et al., 2010). Los anillos de crecimiento registran esta sensibilidad, por lo que la dendrocronología permite relacionar el crecimiento con el clima a largo plazo (Fonti et al., 2010; Olano et al., 2014; Puchi et al., 2021).

El *Pinus arizonica* se distribuye en Chihuahua, Durango, Nuevo León y Tamaulipas (Estrada-Castillón et al., 2014) y es clave en los bosques templados del norte de México (Morales-Nieto et al., 2021). Presenta una señal climática predominante en sus crecimientos (Pérez-Evangelista, 2018), por lo que es susceptible a la variabilidad climática. En el norte de México ocurren sequías severas cada 50 a 60 años (Constante-García et al., 2009; Cerano-Paredes et al., 2011; Stahle et al., 2016; Villanueva-Díaz et al., 2021), que detonan plagas forestales y alta mortandad de arbolado (Pichardo-Segura et al., 2017; Cervantes-Martínez et al., 2019). Para Nuevo León, las proyecciones a 2050 sugieren un calentamiento moderado a severo con desecación severa (Ruiz-Corral et al., 2017), y la CONAFOR (2022) ha reportado solicitudes de saneamiento por mortalidad que incluyen al pino blanco, especie catalogada como amenazada. En el área de estudio la especie crece sobre suelos yesosos, con baja productividad de materia orgánica y pobreza de nutrientes (Canul-Tun, 2005; Torres-Alba, 2020).

El objetivo de este trabajo fue evaluar, mediante una función de respuesta, la relación entre el crecimiento radial de *P. arizonica* var. stormiae y la precipitación y las temperaturas máxima y mínima, e identificar si la señal climática es consistente con un proceso de decaimiento asociado a sequía.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el municipio de Galeana, Nuevo León, donde el clima es semiseco y semicálido según la clasificación de Köppen modificada por García (1973), con lluvias en verano y una estación interestival seca. La precipitación media anual es de 629 mm; la temperatura media anual es de 17 °C, con enero como el mes más frío (12 °C) y junio a agosto como los más cálidos (20 a 21 °C); las heladas pueden ocurrir de diciembre a marzo. En el sitio predomina la especie *P. arizoncia*, con arbolado que presenta defoliación, decoloración del follaje y muerte regresiva de ramas. El muestreo fue de tipo selectivo donde se colectaron núcleos de crecimiento a 1.30 m de altura en arbolado vivos y muertos (n = 25 árboles; 36 series fechadas). Las muestras se procesaron con técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1996); los anillos se midieron con Measure J2X y la calidad del fechado se verificó con COFECHA (Holmes, 1983). Las series de ancho de anillo total se estandarizaron ajustando a cada serie cruda la curva o recta que describía su tendencia de crecimiento, según el procedimiento habitual del programa ARSTAN, con el paquete dplR (Bunn, 2008) en R, y se promediaron en una cronología estándar. La cronología abarca el periodo 1870-2024, con una intercorrelación entre series de 0.691; el EPS superó el umbral de 0.85 desde aproximadamente 1875 y se mantuvo por encima de 0.95 en casi todo el periodo de análisis. Para el análisis climático se utilizaron series mensuales de precipitación total (Pp), temperatura máxima (TMax) y temperatura mínima (TMin) de 1941 a 2023, obtenidas como el promedio regional de seis estaciones climáticas cercanas al área de estudio. Con esta información se estimó también, el Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración (SPEI) a escala de 12 meses (Vicente-Serrano et al., 2010), que incorpora el efecto de la temperatura sobre la sequía. Análisis clima-crecimiento. Finalmente, se aplicó un análisis de función de respuesta bootstrap con la función dcc del paquete treeclim (Zang y Biondi, 2015) en R (método "response"), para el periodo 1942-2023 y una ventana de 18 meses, de julio del año previo a diciembre del año en curso. La significancia de los coeficientes se evaluó con $\alpha = 0.05$ mediante remuestreo bootstrap.

Resultados y discusión

La precipitación mostró coeficientes de respuesta positivos en la mayor parte de la ventana analizada, de agosto del año previo a agosto del año en curso, con valores entre aproximadamente 0.05 y 0.26 (Figura 1). Fueron significativos los coeficientes de octubre del año previo, enero y mayo, con valores de 0.17 a 0.26 (Figura 1). De septiembre a diciembre del año en curso los coeficientes fueron cercanos a cero o ligeramente negativos.

La temperatura máxima presentó un único coeficiente significativo, negativo (aprox. -0.20), en enero; el resto de los meses mostró coeficientes cercanos a cero. La temperatura mínima no mostró coeficientes significativos en ningún mes, con valores entre -0.17 (marzo) y 0.10 (julio del año previo).

Acorde al análisis de clima en el área la precipitación disminuyó por debajo de su media desde mediados de la década de 1990 hasta principios de la de 2000, con mínimos hacia 1998 (Figura 2). En ese lapso la temperatura máxima aumentó por encima de su media y la temperatura mínima descendió por debajo de ella. El SPEI de 12 meses indicó condiciones de sequía continuas en ese periodo de 1995-2003 y 1995-2005, con su valor más bajo hacia 1999-2000, seguidas de episodios secos menores alrededor de 2011-2013.

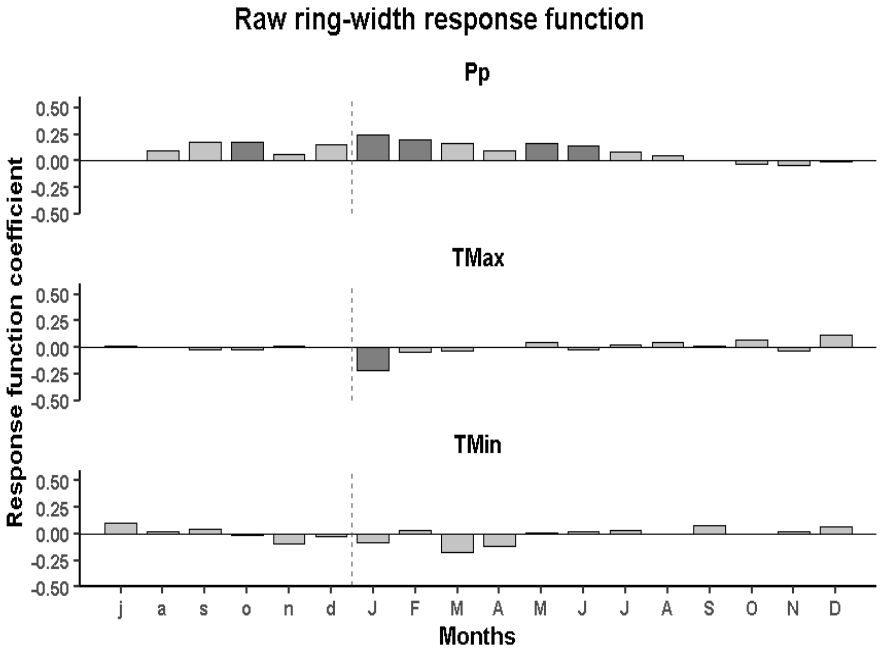


Figura 1. Coeficientes de la función de respuesta entre el ancho de anillo total de *P. arizonica* var. stormiae y la precipitación (Pp), temperatura máxima (TMax) y temperatura mínima (TMin) mensuales, 1942-2023. Se muestran los meses de julio a diciembre del año previo (minúsculas) y de enero a diciembre del año en curso (mayúsculas). Las barras en gris oscuro indican coeficientes significativos (α = 0.05) y las de gris claro, no significativos. La línea punteada separa el año previo del año en curso.

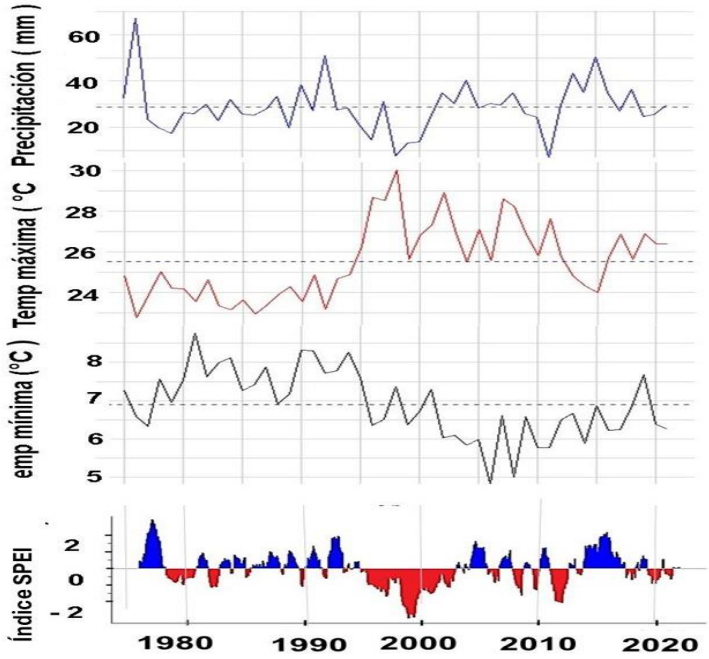


Figura 2. Promedios de precipitación (mm), temperatura máxima (°C) y temperatura mínima (°C), y SPEI de 12 meses. La línea punteada indica la media del periodo; en el SPEI, las barras rojas señalan sequía y las azules, condiciones húmedas.

Los resultados evidencian una señal climática consistente con limitación hídrica del crecimiento radial. Los coeficientes positivos y significativos de la precipitación antecedente (octubre del año previo y enero) indican una asociación directa entre la disponibilidad de agua previa a la temporada de crecimiento y la formación de xilema, y los de mayo revelan además el peso de la humedad al inicio de la temporada. Esto es esperable en un clima semiseco con 629 mm anuales y una estación interestival seca, y concuerda con que el efecto de la temperatura sobre el crecimiento arbóreo es generalmente positivo solo cuando no hay limitación de agua (Boisvenue y Running, 2006).

El coeficiente negativo de la temperatura máxima en enero es congruente con un proceso de estrés térmico-hídrico: temperaturas más altas incrementan el déficit de presión de vapor, favorecen el cierre estomático y reducen la conductancia hidráulica (Irvine et al., 1998; Brodribb y Cochard, 2009). Al tratarse de un mes de invierno, este mecanismo debe tomarse como hipótesis: podría reflejar mayor demanda evaporativa y menor recarga de humedad del suelo en la temporada previa al crecimiento. La temperatura mínima no mostró coeficientes significativos, lo que sugiere un papel secundario en la modulación del crecimiento radial bajo este diseño analítico.

El SPEI, que integra la demanda evaporativa, muestra que la sequía de mediados de la década de 1990 a principios de la de 2000 combinó menor precipitación con temperaturas máximas elevadas, una condición coherente con la dependencia hídrica y el efecto negativo de la temperatura máxima detectados en la función de respuesta. Como el proceso de decaimiento puede desarrollarse desde 1 hasta 100 años (Puchi et al., 2021), es plausible que ese periodo haya predispuesto al arbolado, aunque los datos disponibles no permiten fijar el momento de inicio del decaimiento.

Estos hallazgos son consistentes con el patrón descrito para eventos de decaimiento forestal asociados a sequía en el noreste de México, donde la combinación de déficit de precipitación antecedente y temperaturas elevadas actúa como mecanismo predisponente de mortalidad (Allen et al., 2010; Anderegg et al., 2016). Un crecimiento tan dependiente del agua disponible implica que las sequías recurrentes de la región (Constante-García et al., 2009; Villanueva-Díaz et al., 2021) pueden comprometer el balance de carbono y la funcionalidad hidráulica de los árboles (Scheidegger et al., 2000; Bréda et al., 2006), y que el arbolado debilitado quede expuesto a agentes bióticos (Raffa et al., 2008; Bentz et al., 2010). Los suelos yesosos, pobres en materia orgánica y nutrientes (Canul-Tun, 2005; Torres-Alba, 2020), podrían agravar esta vulnerabilidad, y las proyecciones de mayor desecación para Nuevo León (Ruiz-Corral et al., 2017) sugieren que el riesgo aumentará.

No obstante, dado el carácter correlacional del análisis, los resultados constituyen evidencia de sensibilidad climática del crecimiento y no una confirmación causal del proceso de mortalidad masiva observado, cuya comprobación requeriría integrar variables fisiológicas y edáficas adicionales.

Conclusión

El crecimiento radial de *P. arizonica* var. stormiae en Galeana, Nuevo León, está asociado principalmente con la precipitación antecedente y de inicio de temporada, y en menor medida con la temperatura máxima invernal, mientras que la temperatura mínima no mostró efecto detectable. Esta sensibilidad hídrica es consistente con un decaimiento detonado por sequía, aunque su confirmación requiere análisis complementarios.

Agradecimientos y fuente financiera

Los resultados son parte del proyecto fiscal, CENID-RASPA, INIFAP. “Estudio Dendroanatómico e Isotópico del Decaimiento y Mortalidad por Sequía en *Pinus arizonica* en el Sureste de Nuevo León”.

Referencias

Allen, S. K., Barros, V., Burton, I., Campbell-Lendrum, D., Cardona, O.-D., Cutter, S. L., Dube, O. P., Ebi, K. L., Field, C. B., Handmer, J. W., Lal, P. N., Lavell, A., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., McBean, G. A., Mechler, R., Mitchell, T., Nicholls, N., O'Brien, K. L., … Wilbanks, T. J. (2021). Summary for Policymakers. In C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, & Q. Dahe (Eds.), In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, (Vol. 9781107025, pp. 3–22). Cambridge University Press. https://doi.org/:10.1017/9781009157896.001

Alvarado-Rosales, D., Saavedra-Romero, L. de, & Almaraz-Sanchez, A. (2008). First report of Phytophthora cinnamomi Rands. associated with oak (Quercus spp.) in Tecoanapa, Guerrero, Mexico. Agrociencia, 42(5), 565–572.

Anderegg, W. R. L., Klein, T., Bartlett, M., Sack, L., Pellegrini, A. F. A., Choat, B., & Jansen, S. (2016). Meta-analysis reveals that hydraulic traits explain cross-species patterns of drought-induced tree mortality across the globe. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 113(18), 5024–5029. https://doi.org/10.1073/pnas.1525678113

Blackman, C. J., Brodribb, T. J., & Jordan, G. J. (2012). Leaf hydraulic vulnerability influences species' bioclimatic limits in a diverse group of woody angiosperms. Oecologia, 168(1), 1–10. https://doi.org/10.1007/s00442-011-2064-3

Blackman, C. J., Gleason, S. M., Chang, Y., Cook, A. M., Laws, C., & Westoby, M. (2014). Leaf hydraulic vulnerability to drought is linked to site water availability across a broad range of species and climates. Annals of Botany, 114(3), 435–440. https://doi.org/10.1093/aob/mcu131

Brodribb, T. J., & Cochard, H. (2009). Hydraulic failure defines the recovery and point of death in water-stressed conifers. Plant Physiology, 149(1), 575–584. https://doi.org/10.1104/pp.108.129783

Carlquist, S. (1977). Ecological Factors in Wood Evolution: a Floristic Approach. American Journal of Botany, 64(7), 887–896. https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1977.tb11932.x

Chen, L., Huang, J. G., Stadt, K. J., Comeau, P. G., Zhai, L., Dawson, A., & Alam, S. A. (2017). Drought explains variation in the radial growth of white spruce in western Canada. Agricultural and Forest Meteorology, 233, 133–142. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.11.012

Clinton, B. D., Boring, L. R., & Swank, W. T. (1993). Canopy Gap Characteristics and Drought Influences in Oak Forests of the Coweeta Basin. Ecology, 74(5), 1551–1558. https://doi.org/10.2307/1940082

Cochard, H. (2006). Cavitation in trees. Comptes Rendus Physique, 7(9–10), 1018–1026. https://doi.org/10.1016/j.crhy.2006.10.012

De la Paz-Pérez, O. C., & Dávalos-Sotelo, R. (2008). Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de Quercus (encinos) de México. Madera y Bosques, 14(3), 43–80. https://doi.org/10.21829/myb.2008.1431206

Franke, B., & Quenneville, P. (2011). Numerical Modeling of the Failure Behavior of Dowel Connections in Wood. Journal of Engineering Mechanics, 137(3), 186–195. https://doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0000217

Gärtner, H., & Schweingruber, F. (2013). Microscopic Preparation Techniques for Plant Stem Analysis. In IAWA Journal (Vol. 34, Issue 4.). https://www.researchgate.net/publication/253341899_Microscopic_Preparation_Techniques_for_Plant_Stem_Analysis

Hacke, U. G., & Sperry, J. S. (2001). Functional and ecological xylem anatomy. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 4(2), 97–115. https://doi.org/10.1078/1433-8319-00017

IAWA. (1989). IAWA List of Microscopic Features for Hardwood Identification. International Association of Wood Anatomists (IAWA). IAWA Bull., 10(3), 219–332. https://www.iawa-website.org/uploads/soft/Abstracts/IAWA list of microscopic features for hardwood identification.pdf

INEGI. (1986). Síntesis geográfica del estado de Nuevo León. Secretaría de Programación y Presupuesto. http://w2.siap.sagarpa.gob.mx/mapoteca/mapas/1728-OYB-7212-A.jpg

Leon, W. (2019). Ecoanatomía xilemática de 24 especies de malvaceae en venezuela. 29(2), 41–71.

Lindorf, H. (1994). Eco·Anatomical Wood Features of Species From a Very Dry Tropical Forest. IAWA Journal., 15(4), 361–376.

Moreno-Rico, O., Velásquez-Valle, R., Sánchez-Martínez, G., Siqueiros-Delgado, M. E., Cerda-Lemus, M. de La, & Díaz-Moreno, R. (2010). Diagnóstico fitopatológico de las principales enfermedades en diversas

especies de encinos y su distribución en la Sierra Fría de Aguascalientes, México. Polibotánica, 0(29), 165–189.

Ogaya, R., Liu, D., Barbeta, A., & Peñuelas, J. (2020). Stem Mortality and Forest Dieback in a 20-Years Experimental Drought in a Mediterranean Holm Oak Forest. Frontiers in Forests and Global Change, 2. https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00089

Pacheco, A., Camarero, J. J., & Carrer, M. (2016). Linking wood anatomy and xylogenesis allows pinpointing of climate and drought influences on growth of coexisting conifers in continental Mediterranean climate. Tree Physiology, 36(4), 502–512. https://doi.org/10.1093/treephys/tpv125

Poorter, L., McDonald, I., Alarcón, A., Fichtler, E., Licona, J. C., Peña-Claros, M., Sterck, F., Villegas, Z., & Sass-Klaassen, U. (2010). The importance of wood traits and hydraulic conductance for the performance and life history strategies of 42 rainforest tree species. New Phytologist, 185(2), 481–492. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03092.x

Rockwell, F. E., Wheeler, J. K., & Holbrook, N. M. (2014). Cavitation and Its Discontents: Opportunities for Resolving Current Controversies. Plant Physiology, 164(4), 1649–1660. https://doi.org/10.1104/pp.113.233817

Salinas-Rodríguez, M. M., Estrada-castillón, E., & Villareal Quintanilla, J. Á. (2013). Flora And Phytogeography of The Cañon de Iturbide, Nuevo Leon, Mexico. Journal of the Botanical Research Institute of Texas, 7(2), 803–819.

Tainter, F. H., O'Brien, J. G., Hernández, A., Orozco, F., & Rebolledo, O. (2000). Phytophthora cinnamomi as a cause of oak mortality in the state of Colima, Mexico. Plant Disease, 84(4), 394–398. https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.4.394

Thomas, F. M., Blank, R., & Hartmann, G. (2002). Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. Forest Pathology, 32(4–5), 277–307. https://doi.org/10.1046/j.1439-0329.2002.00291.x

Tyree, M. T., & Zimmermann, M. H. (2002). Tyree y Zimmermann 2002 Xylem Structure and the Ascent of Sap (2nd edn).

Vázquez-Silva, L., Tamarit-Urias, J. C., & Quintanar-Olguín, J. (2004). Caracterización de la declinación de bosques de encinos en "Sierra de Lobos", Mexico. Polibotánica, 17, 1–14.

Wan, J. Z., Wang, C. J., Qu, H., Liu, R., & Zhang, Z. X. (2018). Vulnerability of forest vegetation to anthropogenic climate change in China. Science of the Total Environment, 621, 1633–1641. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.065

Wilkins, A. P., & Papassotiriou, S. (1989). Wood anatomical variation of Acacia melanoxylon in relation to latitude. IAWA Bull. n.S., 10(2), 201–207.

Zhang, S.-Y., Baas, P., & Zandee, M. (1992). Wood Structure of the Rosaceae in Relation to Ecology, Habit and Phenology. IAWA Journal, 13(3), 307–349. https://doi.org/10.1163/22941932-90001284

ÍNDICES DE CALIDAD DEL SUELO PARA CUANTIFICAR LA RECUPERACIÓN EDÁFICA EN PLANTACIONES DE *Pinus greggii*

Erika Nava-Reyna[1*], Erickson Basave-Villalobos[2], José Angel Sigala-Rodríguez[3], María del Rosario Jacobo-Salcedo[1], Ignacio Sánchez-Cohen[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias CENID-RASPA, Km. 6.5 margen derecha, Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Dgo., México; [2] INIFAP-CIRPAS, C.E. Iguala, Guerreo, México; [3]INIFAP-CIRNOC, Campo Experimental Valle del Guadiana, Durango, Dgo., México. *Autor para correspondencia: nava.erika@inifap.gob.mx

Introducción

Las prácticas agrícolas intensivas han provocado una pérdida de la salud del suelo, impulsadas por factores como el laboreo excesivo, la deforestación, los cambios de uso de suelo y el mal manejo de las tierras agrícolas, los cuales disminuyen su fertilidad y capacidad productiva a largo plazo. El establecimiento de plantaciones forestales en suelos agrícolas degradados acelera substancialmente su recuperación funcional multidimensional (Bieluczyk et al., 2023). Mas aún, la reforestación con especies nativas puede ayudar a la restauración del suelo de manera natural en comparación a una especie exótica (Qian et al., 2024). No obstante, el seguimiento del progreso en la restauración, usualmente a través de métricas fisicoquímicas aisladas, proporcionan una representación incompleta y frecuentemente errónea de la recuperación funcional (Chen et al., 2025).

La integración de múltiples variables en un índice de calidad de suelo (SQI, del inglés soil quality index) adaptado localmente ayuda a resolver contradicciones entre parámetros y refleja las condiciones ecológicas propias de cada sitio (Bieluczyk et al., 2023; Qian et al., 2024). Estos índices compuestos permiten evaluar de forma cuantitativa la multifuncionalidad del ecosistema, distinguiendo la auténtica recuperación del suelo de los cambios temporales en la producción agrícola(Bieluczyk et al., 2023). Asimismo, los modelos de SQI ajustan sus criterios de puntuación a factores regionales concretos, como la escasez de nitrógeno en áreas semiáridas o la alta compactación en arcillas tropicales alteradas (Bieluczyk et al., 2023; Qian et al., 2024). Mediante el uso de herramientas multivariadas, estos índices ponderados conectan las propiedades físicas, biológicas y de la vegetación para identificar con precisión los principales obstáculos en los procesos de restauración (Chen et al., 2025; Li et al., 2024). Por lo anterior, el presente proyecto tuvo como objetivo generar un índice de calidad de suelo para evaluar la recuperación de suelos marginales en el norte semiárido de México.

Materiales y métodos

Descripción del sitio de estudio y muestreo. La zona de estudio se localiza en Canatlán, Durango (24°47’20.1’’ N, 104°57’13.0’’ O). Se evaluaron dos parcelas contiguas con pasado agrícola en común: una convertida en 2015 a una plantación comercial de *Pinus greggii* (1,258 árboles/ha) para restaurar suelos marginales y la otra mantenida con cultivo de frijol de temporal. El área se ubica en una planicie aluvial con suelos Feozems y Vertisoles (textura migajón-arcillo-arenosa) y un clima templado semiárido de verano, con una temperatura media anual de 15.8 °C y una precipitación promedio de 535.8 mm. Para cada tratamiento, se recolectaron al azar cuatro submuestras de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm con el fin de obtener una muestra compuesta representativa.

Análisis de las propiedades el suelo. Se evaluaron diversos parámetros físicoquímicos y biológicos del suelo. El carbono y el nitrógeno totales (CT y NT) se cuantificaron mediante un analizador elemental (TOC-L, Shimadzu), en tanto que la materia orgánica del suelo (MOS) se determinó por digestión húmeda y el carbono lábil por oxidación por permanganato de sodio (Blair et al., 1995) . El pH y la conductividad eléctrica (CE) del suelo se registraron en soluciones 1:2 y 1:2.5 (p/v), respectivamente, empleando un medidor multiparamétrico. La cuantificación del fósforo disponible, capacidad de intercambio catiónico (CIC), las bases intercambiables (Mg, K y Ca), hierro, nitratos ($N\text{-}NO_3$), aluminio (Al), punto de marchitez permanente (PMP), el punto de saturación (PS) y la capacidad de campo (CC) se analizaron de acuerdo a la norma oficial mexicana (SEMARNAT, 2002).

Generación del índice de calidad. El procesamiento estadístico se llevó a cabo en RStudio con un nivel de confianza del 95%. Se verificó la normalidad univariada mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas, aplicando transformaciones matemáticas a las variables que no cumplieron con estos supuestos. Para la construcción del Conjunto de Datos Mínimos (MDS) de los SQI, se corroboró primero la normalidad multivariada con la prueba de Mardia; posteriormente, se empleó una matriz de correlación de Pearson y un Análisis de Componentes Principales (PCA con eigenvalores superiores a 1.0). Finalmente, la puntuación del SQI se calculó transformando lineal y no linealmente los indicadores seleccionados, mediante funciones de tipo "más es mejor" y "menos es mejor", de acuerdo con los criterios estandarizados por Raiesi y Salek-Gilani (2020).

Resultados y discusión

Los resultados de los análisis de suelo se encuentran en el cuadro 1. De los 19 indicadores de suelo analizados, once mostraron diferencia significativa entre las zonas de estudio ($P<0.05$), los cuales integraron la base de datos total para el análisis de componentes principales.

Cuadro 1. Indicadores de calidad del suelo del área de la plantación forestal con *Pinus greggii* y la parcela agrícola.

Indicador	Plantación	Agrícola	P
pH	5.95	5.78	0.970
CE, dS m^{-1}	62.17	48.50	**0.018**
CL	28.99	29.02	**0.016**
MOS, g kg^{-1} suelo	39.46	27.28	**0.017**
CIC, me $100g^{-1}$	7.32	5.49	**0.022**
PS, %	37.00	35.60	**0.018**
CC, %	19.63	18.83	0.890
PMP, %	11.70	11.20	**0.018**
DA, g cm^3	1.41	1.32	**0.020**
P_dis, ppm	7.17	14.20	0.568
K, me $100g^{-1}$	318.33	346.33	0.206
Ca, me $100g^{-1}$	1250.00	1125.00	0.396
Mg, me $100g^{-1}$	123.00	121.67	0.119
Al, me $100g^{-1}$	0.94	0.94	**0.022**
N_NO3, ppm	3.35	10.29	**0.031**
CT, g kg^{-1} suelo	11.17	12.57	**0.017**
NT, g kg^{-1} suelo	2.97	3.87	0.975
C:N	3.77	3.25	0.475
RBS, mg CO_2 g^{-1} suelo	0.282	0.222	**0.019**

* Valores de media de los indicadores de calidad de suelo evaluados. Las letras diferentes indican diferencia estadística determinados por la prueba de t-student.

Cuadro 2. Tipo de curvas de puntuación, parámetros de ecuaciones lineales y no lineales, y ponderaciones calculadas para los indicadores en el MDS.

Indicador	Curva de puntuación	No lineal		Lineal		Peso
		Media (Xm)	Pendiente (b)	Xmax	Xmin	
CE	Menos es mejor	0.147	2.5		0.11	0.39
CL	Más es mejor	29.00	-2.5	19.16		0.39
MOS	Más es mejor	33.37	-2.5	39.46		0.61
CIC	Más es mejor	6.40	-2.5	7.55		0.61
PMP	Más es mejor	11.45	-2.5	12.3		0.39
DA	Menos es mejor	1.37	2.5		1.23	0.61
Al	Menos es mejor	0.94	2.5		0.60	0.39
$N\text{-}NO_3$	Menos es mejor	6.82	2.5		3.09	0.61
RBS	Más es mejor	0.25	-2.5	0.28		0.61

El rango de los valores de los SQI entre los tratamientos fue de 0.245, 0.210, 1.207 y 0.301 para los índices SQI-LA, SQI-NLA, SQI-LWA y SQI-NLWA, respectivamente (Figura 1). Los resultados demostraron un mayor valor y menor coeficiente de variación de los índices no lineales en relación con los lineales, mostrando mayor sensibilidad al estado de la zona de estudio. Además, los índices de calidad de suelo aditivos ponderados fueron mayores que en los aditivos, lo que los hace más sensibles.

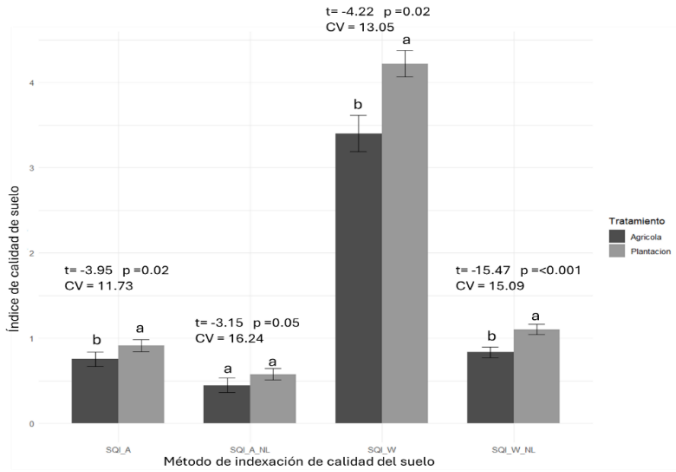


Figura 1. Comparación de los índices de calidad de suelo generados en la plantación forestal y el área agrícola. Los valores con diferentes letras son diferentes estadísticamente a P<0.05. Las barras representan el error estándar. Los valores de t y P son resultado de la prueba de t-student y CV es el coeficiente de variación.

La correlación de Pearson reveló relaciones significativas entre todos los índices (Figura 2), lo que respalda su eficacia y precisión para representar el funcionamiento del sistema y medir el efecto de la reforestación sobre la calidad de suelos marginales(Yu et al., 2018), aunque con diferencias en la sensibilidad analítica. Los índices SQI_A, SQI_W y SQI_W_NL demostraron ser estadísticamente sensibles para diferenciar ambos sistemas, registrando valores superiores en la zona restaurada con la plantación de *Pinus greggii*, lo que refleja eficazmente el proceso de recuperación del suelo.

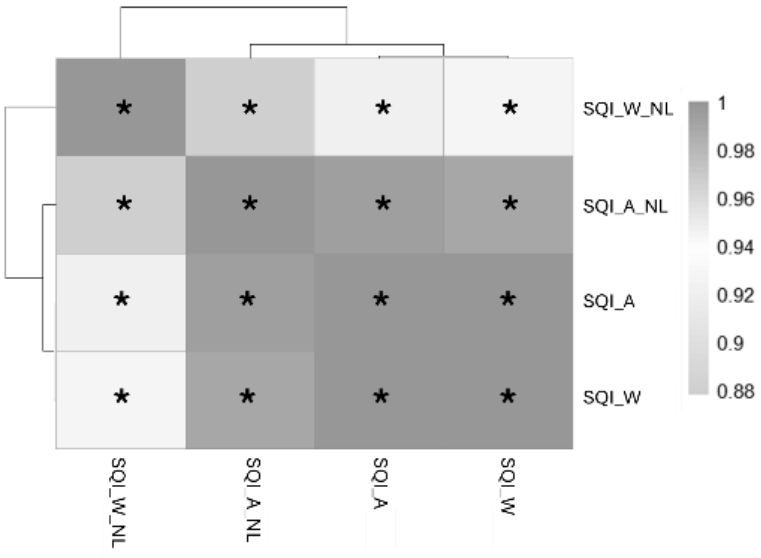


Figura 2. Matriz de correlación de los cuatro SQI generados.

Finalmente, el índice ponderado no lineal (SQI_W_NL) presentó la mayor capacidad discriminante entre los tratamientos ($t = -15.47$, $p < 0.001$), lo que sugiere que la ponderación de las variables y el uso de funciones de puntuación no lineales maximizan la precisión para evaluar los cambios en la calidad del suelo.

Los resultados de este estudio concuerdan con la literatura previa, que respalda el papel fundamental de la forestación en la recuperación de ecosistemas degradados. La restauración de la vegetación mediante plantaciones forestales mejora de manera significativa el índice de calidad del suelo (SQI) frente a tierras de cultivo o terrenos degradados. Por ejemplo, en plantaciones de *Pinus tabuliformis* en la Meseta de Loess, se han registrado incrementos en el SQI de entre un 31 % y un 52 % en comparación con las condiciones previas a la restauración (Li et al., 2024). Asimismo, en diversos contextos ambientales como los paisajes kársticos, el tipo de vegetación llega a explicar hasta el 46 % de la variación del SQI, demostrando que tanto los bosques artificiales como la restauración natural potencian de forma importante la calidad edáfica en contraste con el uso agrícola continuo (Zhang et al., 2019) De este modo, el uso de índices de calidad del suelo derivados de conjuntos mínimos de datos se consolida como una herramienta robusta y eficaz para evidenciar y cuantificar los beneficios ecológicos de las plantaciones forestales en el suelo (Uthappa et al., 2024; Wang et al., 2023).

Conclusiones

Los índices de calidad del suelo desarrollados permitieron evaluar de manera integral el proceso de restauración en suelos agrícolas marginales mediante la plantación forestal de *Pinus greggii*. De esta forma, se estas herramientas mostraron ser eficaces para cuantificar la recuperación edáfica, destacando el índice ponderado lineal como el más sensible para discriminar estadísticamente entre ambos sistemas de manejo.

Referencias

Allek, A., Viany Prieto, P., Korys, K. A., Rodrigues, A. F., Latawiec, A. E., & Crouzeilles, R. (2023). How does forest restoration affect the recovery of soil quality? A global meta-analysis for tropical and temperate regions. *Restoration Ecology*, *31*(3). https://doi.org/10.1111/rec.13747

Bieluczyk, W., Merloti, L. F., Cherubin, M. R., Mendes, L. W., Bendassolli, J. A., Rodrigues, R. R., Camargo, P. B. de, van der Putten, W. H., & Tsai, S. M. (2023). Forest restoration rehabilitates soil multifunctionality in riparian zones of sugarcane production landscapes. *Science of The Total Environment*, *888*, 164175. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164175

Blair, G. J., Lefroy, R. D., & Lisle, L. (1995). Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, *46*(7), 1459–1466. https://doi.org/10.1071/AR9951459

Chen, Y., Zhang, F., Cao, J., Liu, T., & Zhang, Y. (2025). Responses of Soil Quality and Microbial Community Composition to Vegetation Restoration in Tropical Coastal Forests. *Biology*, *14*(9), 1120. https://doi.org/10.3390/biology14091120

Korneeva, E. A. (2021). Economic Evaluation of Ecological Restoration of Degraded Lands through Protective Afforestation in the South of the Russian Plain. *Forests*, *12*(10), 1317. https://doi.org/10.3390/f12101317

Li, J., Qiang, F., Ai, N., Liu, C., Liu, G., Zou, M., Ren, Q., & Liu, M. (2024). Soil Quality Evaluation and Analysis of Driving Factors of Pinus tabuliformis in Loess Hilly Areas. *Forests*, *15*(9), 1603. https://doi.org/10.3390/f15091603

Olsen, S. R. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate* (1st ed., Vol. 1). U.S. Deptartment of Agriculture.

Qian, J., Ji, C., Yang, J., Zhao, H., Wang, Y., Fu, L., & Liu, Q. (2024). The advantage of afforestation using native tree species to enhance soil quality in degraded forest ecosystems. *Scientific Reports*, *14*(1), 20022. https://doi.org/10.1038/s41598-024-71162-3

Raiesi, F., & Salek-Gilani, S. (2020). Development of a soil quality index for characterizing effects of land-use changes on degradation and ecological restoration of rangeland soils in a semi-arid ecosystem. *Land Degradation & Development*, *31*(12), 1533–1544. https://doi.org/10.1002/LDR.3553

SEMARNAT. (2002). *NOM-021-RECNAT-2000*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf

Uthappa, A. R., Devakumar, A. S., Das, B., Mahajan, G. R., Chavan, S. B., Jinger, D., Jha, P. K., Kumar, P., Kokila, A., Krishnamurthy, R., Mounesh, N. V., Dhanush, C., Ali, I., Eldin, S. M., Al-Ashkar, I., Elshikh, M. S., & Fahad, S. (2024). Comparative analysis of soil quality indexing techniques for various tree based land use systems in semi-arid India. *Frontiers in Forests and Global Change*, *6*. https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1322660

Wang, L., Guo, J., Liu, X., Li, K., Ma, L., Tian, Y., Wang, J., Zhang, Q., Tian, Y., Li, C., & Lu, M. (2023). Assessment of soil quality in an arid and barren mountainous of Shandong province, China. *Scientific Reports*, *13*(1), 19966. https://doi.org/10.1038/s41598-023-46136-6

Yu, P., Liu, S., Zhang, L., Li, Q., & Zhou, D. (2018). Selecting the minimum data set and quantitative soil quality indexing of alkaline soils under different land uses in northeastern China. *Science of The Total Environment*, *616–617*, 564–571. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.301

Zhang, Y., Xu, X., Li, Z., Liu, M., Xu, C., Zhang, R., & Luo, W. (2019). Effects of vegetation restoration on soil quality in degraded karst landscapes of southwest China. *Science of The Total Environment*, *650*, 2657–2665. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.372

EFECTO DE LA EXPOSICIÓN DE LADERAS Y LA POSICIÓN TOPOGRÁFICA EN EL CARBONO ACTIVO DEL SUELO EN ECOSISTEMAS FORESTALES DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL

Juan Fernando García Elias[1], Erika Nava-Reyna[2*], José Ángel Sigala-Rodríguez[3], María del Rosario Jacobo-Salcedo[1], Erickson Basave-Villalobos[4]

[1]Universidad Politécnica de Gómez Palacio, Gómez Palacio, Dgo; [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias CENID-RASPA, Gómez Palacio, Dgo., México; [3]INIFAP-CIRNOC, Campo Experimental Valle del Guadiana, Durango, Dgo., México [4]INIFAP-CIRPAS, C.E. Iguala, Guerreo, México. *Autor para correspondencia: nava.erika@inifap.gob.mx

Introducción

Los ecosistemas forestales y de montaña desempeñan un papel fundamental en la regulación de los procesos biogeoquímicos, el ciclo de nutrientes y la dinámica del carbono, donde la hojarasca constituye la principal vía de entrada de materia orgánica al suelo. En los bosques templados de pino-encino, la composición de la cubierta vegetal modifica de manera sustancial las propiedades físico-químicas del mantillo (Xiao et al., 2022). Por un lado, los residuos de especies del género Pinus suelen caracterizarse por un mayor contenido de compuestos estructurales y una tasa de descomposición lenta; por otro lado, los aportes de especies del género Quercus tienden a presentar concentraciones más elevadas de nitrógeno y una menor proporción de compuestos recalcitrantes. Aunado a esto, las condiciones hídricas de las laderas varían considerablemente en función de su orientación (umbrías frente a solanas), debido a que la incidencia de la radiación solar modifica el microclima al incrementar la temperatura del suelo y acelerar la evapotranspiración, lo que reduce la disponibilidad de humedad tanto para la vegetación como para los microorganismos (Staszel et al., 2021). En este contexto, el carbono lábil, o carbono activo, representa una fracción del carbono orgánico del suelo altamente sensible a las modificaciones ambientales. A diferencia del carbono orgánico total, que agrupa fracciones estables con tiempos de residencia prolongados, el carbono lábil refleja con mayor precisión la materia orgánica disponible para la asimilación y transformación microbiana. Esta característica lo convierte en un indicador de respuesta rápida y confiable ante cambios en el microclima y el manejo del suelo. Por consiguiente, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la exposición de laderas y la posición topográfica sobre las fracciones lábiles del carbono orgánico en ecosistemas forestales de la Sierra Madre Occidental.

Materiales y métodos

Sitio de estudio y toma de muestra. El estudio se realizó en la Sierra de Durango, donde se seleccionaron cuatro sitios con variaciones en la exposición y posición topográfica (Cuadro 1).

Determinación de fracciones de carbono. El carbono total (CT) de las muestras de suelo se cuantificó directamente mediante un analizador elemental (LECO). En cuanto al carbono lábil, este se midió a través del método de oxidación con permanganato de potasio propuesto por (Blair et al., 1995), registrando la absorbancia a 565 nm.

Análisis estadístico. La normalidad de los registros se comprobó mediante la prueba de Shapiro-Wilk (con un intervalo de confianza del 95 %), mientras que la homocedasticidad se evaluó con la prueba de Levene. Las variables que no cumplieron con la normalidad requerida se ajustaron mediante una transformación logarítmica de base 10. Finalmente, las diferencias entre grupos se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía al 95 % de confianza, utilizando el programa especializado IBM SPSS Statistics v25.

Cuadro 1. Descripción de los sitios de estudio.

Sitio	Latitud	Longitud	Elevación (m)	Orientación	Pendiente (%)	Descripción
S1	24.11792	-105.55440	2480	Noreste	43	Bosque mixto pino-encino (*Pinus durangenis, P. engelmanni y Quercus sideroxyla*), suelo moderadamente profundo con una capa gruesa y continua de hojarasca
S2	24.11300	-105.55885	2548	Sureste	36	Bosque mixto de *P. lumholtzi* y *Q. rugosa*, suelo delgado "calichoso", con afloramiento de rocas
S3	24.11870	-105.56285	2534	Noreste	8	Meseta, bosque predominantemente de pino (*P. durangensis*, en menor medida *Quercus*), suelo profundo, presencia de especies herbáceas bajo dosel
S4	24.11873	-105.55981	2485	Norte	65	Sitio en una cañada, de mayor humedad relativa. Bosque de pino-encino (*P. durangensis* y *Q. syderoxyla*). Se encuentra *P. strobiformis* como indicadora de condiciones húmedas. Suelo somero, pero alta materia orgánica, con capa de hojarasca. Presencia de madera muerta en descomposición

Resultados y discusión

Los resultados demostraron diferencia significativa en la cantidad de carbono activo dependiendo de las condiciones medioambientales y la vegetación en los diferentes sitios de estudio ($F=43.018$, $p=<0.001$), donde los sitios 1 y 4 presentaron los mayores niveles de carbono lábil, en comparación a los sitios 2 y 3 (Figura 1).

Estudios previos han demostrado la eficiencia de especies de pinos forestales para favorecer el almacenamiento de carbono lábil (Pan et al., 2011). Asimismo, la hojarasca puede alterar la dinámica del suelo como la acumulación y producción de materia orgánica ya que transfiere la vegetación y nutrientes al suelo por actividad microbiana, lo que a su vez favorece la acumulación de diferentes fracciones de carbono (Rivera Vázquez et al., 2013). El sitio 1 es un bosque mixto pino-encino con suelo moderadamente profundo y una capa gruesa y continua de hojarasca, mientras que el sitio 4 está en una cañada, con mayor humedad relativa, alta materia orgánica, hojarasca y madera muerta en descomposición. De acuerdo con investigaciones previas, esas condiciones sde topografía húmeda, orientación menos expuesta, mayor cobertura de mantillo y mayor aporte vegetal están ligadas a su vez con una mayor concentración de carbono activo (Wang et al., 2021; Xiao et al., 2022).

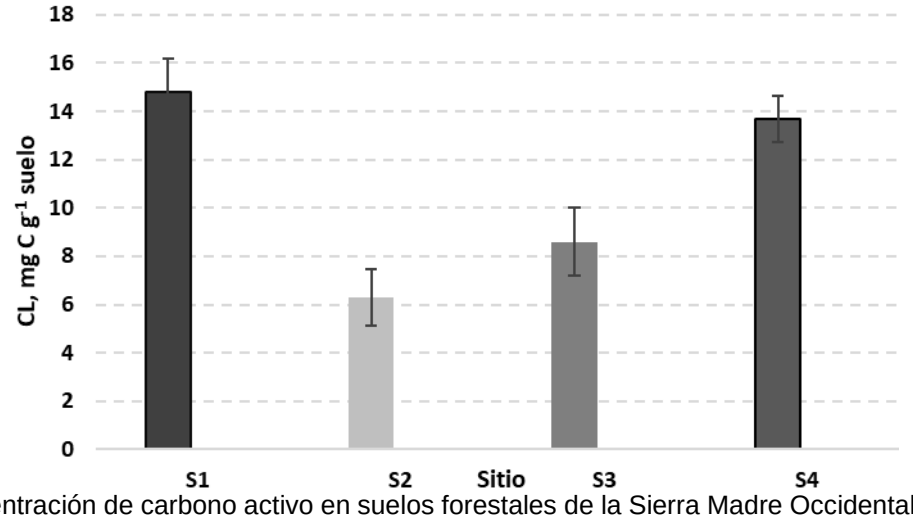


Figura 1. Concentración de carbono activo en suelos forestales de la Sierra Madre Occidental bajo diferentes condiciones topográficas y medioambientales.

Los resultados muestran como la orientación y la posición topográfica modifican el microclima del suelo. En montaña, las laderas norte, noreste o semi-sombreadas suelen mantener menor temperatura y más humedad, y eso favorece mayor SOC y fracciones lábiles que en exposiciones más cálidas como sureste o sur (Che et al., 2021; Staszel et al., 2021) , como en el sitio 2. Además, en el caso del sitio 2 que tiene un afloramiento de rocas (roca madre expuesta), esta condición suele provocar puntos calientes que afecta a la humedad del suelo, plantas, raíces, etc. (Li et al., 2025). El carbono lábil, también llamado carbono activo, es una fracción de la materia orgánica fácil de degradar por los microorganismos y los escases de humedad afecta directamente en la movilidad de los microorganismos, la respiración y la actividad microbiana (Bian et al., 2022). Mas aún, la temperatura y la radiación solar directa hacia los suelos boscosos tienden a acelerar la mineralización del carbono activo haciendo que se consuma con mayor velocidad si no hay un aporte vegetativo (Enescu et al., 2022).

Por su parte, en el sitio 3 se encontró un suelo profundo, lo que pudo influir en su menor acumulación de carbono activo en el suelo superficial derivado posiblemente a la lixiviación. En cambio, en suelos más someros (S1 y S4), el carbono lábil no tiene forma para distribuirse y se acumula en superficie, dando concentraciones superficiales más altas (Erich et al., 2012). Asi, S3 muestra que un suelo profundo y una pendiente baja no necesariamente producen más carbono activo si faltan los factores que más lo impulsan a corto plazo, como humedad, mantillo abundante y entradas orgánicas fácilmente descomponibles (Sharma et al., 2022).

Conclusiones

El presente estudio confirmó que la exposición de ladera y la posición topográfica ejercen un efecto significativo sobre las fracciones lábiles del carbono orgánico en los bosques de la Sierra Madre Occidental. Sin embargo, se tiene que tener en cuenta otros factores igualmente determinantes, como la humedad del suelo, la cantidad y calidad de la materia orgánica (hojarasca), la presencia de afloramientos rocosos y la profundidad del suelo y de la toma de muestra, lo que indican que la variación espacial del carbono activo en la sierra estuvo más relacionada con la interacción entre orientación, humedad, profundidad del suelo y aporte de residuos vegetales que con un solo factor ambiental considerado de manera aislada.

Agradecimientos

El presente estudio fue financiado por el proyecto tecnológico del INIFAP titulado “Diagnóstico Integral de Fertilidad y Salinidad de Suelos para la Producción Sustentable Agrícola en México”.

Referencias

Bian, H., Li, C., Zhu, J., Xu, L., Li, M., Zheng, S., & He, N. (2022). Soil Moisture Affects the Rapid Response of Microbes to Labile Organic C Addition. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *10*. https://doi.org/10.3389/fevo.2022.857185

Blair, G. J., Lefroy, R. D., & Lisle, L. (1995). Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, *46*(7), 1459–1466. https://doi.org/10.1071/AR9951459

Che, M., Gong, Y., Xu, M., Kang, C., Lv, C., He, S., & Zheng, J. (2021). Effects of elevation and slope aspect on the distribution of the soil organic carbon associated with Al and Fe mineral phases in alpine shrub–meadow soil. *Science of The Total Environment*, *753*, 141933. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141933

Enescu, R., Dincă, L., Vasile, D., & Vlad, R. (2022). Does the Slope Aspect Influence the Soil Organic Matter Concentration in Forest Soils? *Forests*, *13*(9), 1472. https://doi.org/10.3390/f13091472

Erich, M. S., Plante, A. F., Fernández, J. M., Mallory, E. B., & Ohno, T. (2012). Effects of Profile Depth and Management on the Composition of Labile and Total Soil Organic Matter. *Soil Science Society of America Journal*, *76*(2), 408–419. https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0273

Li, J., Chen, S., Long, X., Hu, P., Xiao, D., Zhang, W., Moldovan, O. T., Zhao, J., & Wang, K. (2025). Linking rock outcrop size and distance to soil multifunctionality in mountain ecosystems. *Functional Ecology*, *39*(5), 1288–1301. https://doi.org/10.1111/1365-2435.70034

Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., & Hayes, D. (2011). A Large and Persistent Carbon Sink in the World’s Forests. *Science*, *333*(6045), 988–993. https://doi.org/10.1126/science.1201609

Rivera Vázquez, R., Soto Pinto, L., Núñez Colín, C. A., De Jung, B., Graciela Hernández Rivera, M., & B Ordóñez Díaz, J. A. (2013). Producción y tasa de descomposición de hojarasca en Acahuales de selva caducifolia en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *4*(20), 20–30. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322013000600003&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Sharma, S., Singh, P., Chauhan, S., & Choudhary, O. P. (2022). Landscape position and slope aspects impacts on soil organic carbon pool and biological indicators of a fragile ecosystem in high-altitude cold arid region. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *22*(2), 2612–2632. https://doi.org/10.1007/s42729-022-00831-x

Staszel, K., Błońska, E., & Lasota, J. (2021). Slope aspect and altitude effect on selected soil organic matter characteristics in Beskid Mountains forest soils. *Folia Forestalia Polonica*, *63*(3), 214–224. https://doi.org/10.2478/ffp-2021-0022

Wang, B., Liu, D., Yang, J., Zhu, Z., Darboux, F., Jiao, J., & An, S. (2021). Effects of forest floor characteristics on soil labile carbon as varied by topography and vegetation type in the Chinese Loess Plateau. *CATENA*, *196*, 104825. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104825

Xiao, Y., Huang, Z., Ling, Y., Cai, S., Zeng, B., Liang, S., & Wang, X. (2022). Effects of Forest Vegetation Restoration on Soil Organic Carbon and Its Labile Fractions in the Danxia Landform of China. *Sustainability*, *14*(19), 12283. https://doi.org/10.3390/su141912283

FUNCIÓN DE RESPUESTA CLIMÁTICA DE UN RODAL DE *Pinus teocote* Schiede EN ARTEAGA, COAHUILA: UNA EVALUACIÓN PRELIMINAR

Adin H. Velázquez-Pérez[1], José Villanueva-Díaz*[2], Fatima Reyes-Camarillo[1], Leticia Jiménez-Hernández[3], Marino García-Guzmán[4], Citlali Cabral-Alemán[2], José Manuel Zúñiga-Vásquez[2]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas - Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Gómez Palacio-Ciudad Juárez, Bermejillo, C.P. 35230. [2]Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, km.6.5 Margen Derecha del Canal Sacramento, Gómez Palacio, Durango. México C.P. 35140. [3]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315 Saltillo, Coahuila. [4]CINVESTAV, Saltillo. Avenida Industrial Metalúrgica #1062, Parque Industrial Saltillo-Ramos Arizpe, C.P. 25900. *Autor de correspondencia: villanueva.jose@inifap.gob.mx

Introducción

Los árboles registran en sus anillos de crecimiento las variaciones ambientales, lo que proporciona series anuales que permiten evaluar la sensibilidad del crecimiento radial frente a factores climáticos (Fritts, 1974; Cook & Kairiukstis, 1990). Las técnicas dendrocronológicas permiten cuantificar las relaciones entre el crecimiento radial y variables como la temperatura, la precipitación y los índices climáticos globales, así como identificar los periodos del año en los que las condiciones ambientales favorecen o limitan el crecimiento (Babst et al., 2020; Rubio-Cuadrado et al., 2022). La relación entre el crecimiento radial y las condiciones climáticas puede evaluarse mediante funciones de respuesta y otros métodos dendroclimáticos, los cuales cuantifican la asociación entre las variaciones interanuales del crecimiento y diferentes variables ambientales (Fritts, 1976). Estos análisis permiten identificar la influencia de la temperatura, la precipitación y la disponibilidad de humedad durante el año, incluyendo condiciones climáticas previas a la formación del anillo de crecimiento (Rubio-Cuadrado et al., 2022; Camarero et al., 2022).

En México, *P. teocote* indica una respuesta sensible a la variabilidad hidroclimática. En la Sierra de San Antonio, Peña Nevada, Nuevo León, el crecimiento radial de esta especie presentó una relación positiva con la precipitación desde noviembre del año previo hasta mayo del año de crecimiento, mientras que la temperatura máxima mostró asociación negativa durante el mismo periodo (Gutiérrez-García & Ricker, 2019). Un segundo estudio en Nuevo León encontró que las condiciones húmedas y relativamente frías durante el invierno previo y en primavera favorecieron el crecimiento (Camareno et al., 2022). Lo anterior evidencia la influencia que ejercen las condiciones hídricas y de temperatura previo y al inicio de la estación de crecimiento en el grosor del anillo anual.

Aunque existen estudios que han demostrado la sensibilidad climática de *P. teocote*, la magnitud y temporalidad de esta respuesta pueden cambiar entre sitios o regiones debido a diferencias en elevación, disponibilidad hídrica, exposición, condiciones edáficas y características del bosque. Por ello, es importante evaluar la influencia de la precipitación, temperatura y los fenómenos atmosféricos de circulación global en el crecimiento radial de la especie. En este contexto, el objetivo de este estudio fue determinar la respuesta climática del crecimiento radial de *P. teocote* con técnicas dendrocronológicas e identificar las variables climáticas y los periodos estacionales que limitan o favorecen su crecimiento.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en un bosque del Ejido El Tunal, Arteaga, Coahuila (25.438559° norte y -100.649380° oeste), donde *Pinus teocote* se asocia con *Pinus greggii* en un rodal de 4 ha. El sitio se encuentra a una elevación de 2580 m.a.s.l con orientación norte y pendiente media del 40%. La temperatura máxima promedio anual es de 21.7 °C, la mínima promedio de 5.8 °C, y la precipitación media anual es de 400 mm, con un máximo de 585 mm y un mínimo de 182 mm (SMN-CNA, 2026). El muestreo dendrocronológico se realizó en 2024 y 2025. El total de árboles muestreados fue de 25 con tres núcleos de crecimiento por árbol (75 núcleos totales). Del total de núcleos, sólo 40 de ellos se lograron datar con técnicas dendrocronológicas convencionales (Stokes & Smiley, 1968; Holmes, 1983) en el Laboratorio Nacional de Dendrocronología del INIFAP CENID-RASPA.

La estandarización del ancho de anillo de crecimiento para eliminar tendencias biológicas se realizó con el modelo exponencial negativo (Cook, 1987). El análisis de la función de respuesta se realizó en la librería dplR del programa Rstudio (Bunn et al., 2026). Las variables climáticas utilizadas para el análisis de función de respuesta fueron la precipitación acumulada mensual, la temperatura máxima, media y mínima mensuales, de la estación climatológica de Saltillo de 1949 a 2024.

Resultados y discusión

La cronología integrada por 40 series de crecimiento cubrió el periodo 1818 – 2024 (207 años). Las series presentaron una intercorrelación entre series de 0.637 y una sensibilidad media de 0.564, la cual indica una señal común de crecimiento y una marcada variabilidad interanual. La correlación promedio entre las series (Rbar) fue de 0.472 (Cuadro 1), mientras que la Señal Expresada por la Población (EPS) superó el umbral de 0.85 a partir de 1855, lo que indica la presencia de una señal climática robusta a partir de ese año (Figura 1). La autocorrelación de primer orden fue baja (AC1 = 0.020), lo que indica una reducida influencia del año previo en el crecimiento del año actual (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estadísticos dendrocronológicos de *Pinus teocote* en Arteaga, Coahuila

Series	Periodo	Desv. Est.	Intercorrelación entre series	Sensibilidad Media	Rbar	EPS	AC1
40	1818-2024	0.468	0.637	0.564	0.472	0.973	0.020

Rbar = coeficiente de correlación entre series. EPS = señal expresada por la población. AC1 = autocorrelación de primer orden.

La figura 1 muestra la variabilidad interanual del crecimiento, expresada por el índice de ancho de anillo, la cual está relacionada con las variaciones ambientales previo y durante la formación del anillo de crecimiento. Además, se observa un cambio marcado en el índice a partir de 1960; lo cual sugiere que los árboles están detectando con mayor frecuencia cambios ambientales extremos (sequías, presencia de huracanes) y perturbaciones como incendios.

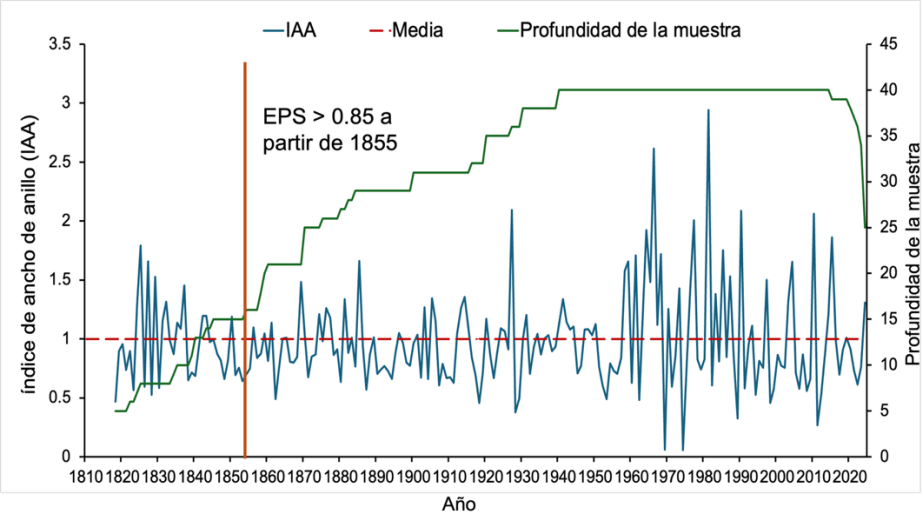


Figura 1. Índice de ancho de anillo de *Pinus teocote* en Arteaga, Coahuila.

Función de respuesta. El crecimiento radial de *P. teocote* se asoció positivamente ($p < 0.05$) con la precipitación estacional otoño-primavera; es decir, el crecimiento responde a la precipitación acumulada de octubre previo a mayo del año actual de formación del anillo de crecimiento (Figura 2). Además, la respuesta del crecimiento a temperatura máxima fue significativa y negativa de otoño a primavera (octubre previo a junio del año actual). El efecto negativo de las temperaturas máximas y mínimas podría estar relacionado con un incremento de la demanda evaporativa y del estrés hídrico y con la reducción de la actividad del cámbium durante los periodos previos y el año actual de formación del anillo.

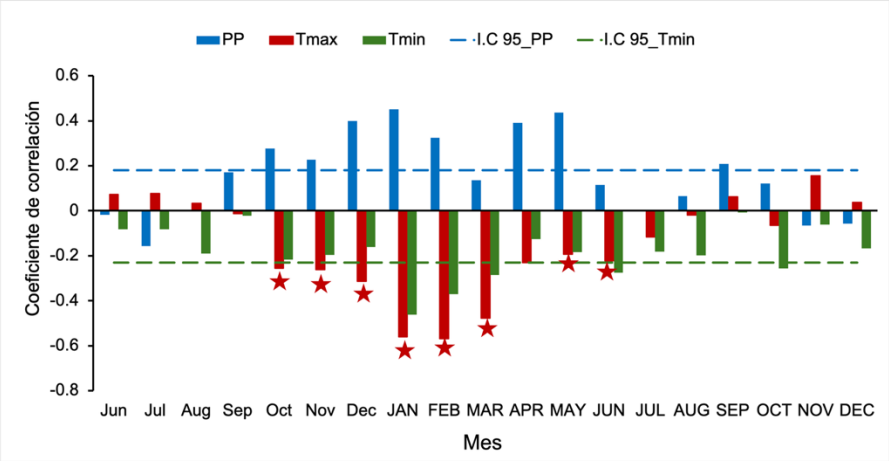


Figura 2. Función de respuesta del índice de ancho de anillo de *Pinus teocote* a variables climáticas: precipitación (barras azules), temperatura máxima (barras rojas) y temperatura mínima (barras verdes). Las estrellas rojas indican los meses en los que la temperatura máxima tuvo asociación significativa con el crecimiento y las barras azules que sobrepasan el límite de confianza (línea horizontal punteada en color azul) son significativas ($p < 0.05$).

Los resultados son consistentes con lo encontrado por Gutiérrez-García & Ricker (2019) y Camarero et al. (2022), en los cuales *P. teocote* responde a la precipitación de invierno-primavera; sin embargo, la magnitud y los periodos de respuesta pueden variar para otros sitios en función de las características ecológicas y climáticas del sitio.

Conclusiones

El efecto negativo de la temperatura máxima en las estaciones de invierno y primavera, aunado a la influencia positiva de la precipitación en el mismo período, sugiere que la intensidad de estas variables determina significativamente el crecimiento radial anual de la especie en el área de estudio.

Referencias

Babst, F., Bouriaud, O., Papadopoulos, A., Bodescu, A., Ernst, Y., Trouet, V., Szymczak, S., Bellassen, V., Carrer, M., & Ciais, P. (2020). Global assessment of relationships between climate and tree growth. *Global Change Biology, 26*(6), 3212–3224. https://doi.org/10.1111/gcb.1505

Bunn, A., Korpela, M., Biondi, F., Campelo, F., Klesse, S., Mérian, P., Qeadan, F., & Zang, C. (2026). *dplR: Dendrochronology Program Library in R* (Version 1.7.9) [Computer software]. CRAN. https://doi.org/10.32614/CRAN.package.dplR

Camarero, J.J., Pompa-García, M., Valeriano, C. (2022). Climate sensitivity of seasonal radial growth in young stands of Mexican conifers. *Int J Biometeorol* 66, 1711–1723. https://doi.org/10.1007/s00484-022-02312-3

Cook, E. R. (1987). The decomposition of tree - ring series for environmental studies Tree-Ring Bulletin47: 37-59.

Cook, E. R., & Kairiukstis, L. A. (Eds.). (1990). *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers.

Fritts, H. C. (1974). Relationships of ring widths in arid-site conifers to variations in monthly temperature and precipitation. *Ecological Monographs, 44*(4), 411–440.

Fritts, H.C. (1976). Tree rings and climate. Academic Press. London, New York.

Gutiérrez-García, G., & Ricker, M. (2019). Influencia del clima en el crecimiento radial en cuatro especies de coníferas en la Sierra de San Antonio Peña Nevada (Nuevo León, México). *Revista Mexicana de Biodiversidad, 90*, e902676. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2676

Holmes RL. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement, Tree-Ring Bulletin43: 69-7

Rubio-Cuadrado, Á., Camarero, J. J., & Bošeľa, M. (2022). Applying *climwin* to dendrochronology: A breakthrough in the analyses of tree responses to environmental variability. *Dendrochronologia, 71*, 125916. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125916

SMN-CNA (Servicio Meteorológico Nacional-Comisión Nacional del Agua). (2026). Información estadística climatológica. Recuperado: 18 de septiembre de 2026. Disponible en: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica.

Stokes MA, Smiley TL. 1968. An Introduction to Tree-Ring Dating. Chicago, Illinois: University of Chicago Press. 73 p.

USO DE ENSILADO DE MEZQUITE EN CABRAS BAJO PASTOREO: PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL CALOSTRO

Alejandra Cabrera-Rodríguez[1*], Luis Rene González-Mendoza[2], Jorge Alonso Maldonado-Jaquez[3], Saúl Santana-Espinoza[3], Juan Isidro Sánchez-Duarte[3]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Agroecología, División de Carreras Agronómicas. Torreón, Coahuila, México. [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Fitomejoramiento, División de Carreras Agronómicas. Torreón, Coahuila, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna[3]. *Autor de correspondencia: ale.cabrera@uaaan.edu.mx

Introducción

La caprinocultura bajo pastoreo constituye una actividad de relevancia social, productiva y agroecológica en las zonas áridas y semiáridas. Este sistema favorece el aprovechamiento de recursos locales, la adaptación de los animales a condiciones ambientales restrictivas y el sustento de pequeños productores (INIFAP, 2022). No obstante, durante la gestación el forraje puede ser insuficiente para cubrir los requerimientos nutricionales, por lo que la suplementación es necesaria en sistemas caprinos bajo pastoreo (Canto & Abecia, 2022). En este contexto, el empleo de insumos disponibles en el agroecosistema puede reducir la dependencia de alimentos comerciales y fortalecer la resiliencia de los sistemas pecuarios. Entre estos recursos, la vaina de mezquite destaca por su disponibilidad en ambientes áridos y por su valor nutrimental, características que sustentan su potencial como alternativa alimenticia para cabras gestantes bajo principios de sostenibilidad (Armijo-Nájera et al., 2019; Contreras-Villarreal et al., 2022). Sin embargo, es necesario generar evidencia sobre la respuesta productiva asociada con el uso de este recurso conservado como ensilado, particularmente en la producción y la calidad del calostro. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la suplementación con ensilado de vaina de mezquite sobre la producción y la calidad del calostro de cabras lecheras gestantes, con el propósito de determinar su viabilidad como alternativa alimenticia en sistemas caprinos agroecológicos.

Materiales y métodos

El área de estudio se localizó en el ejido Ignacio Zaragoza, Mpio. de Viesca, Coahuila, en el predio del caprinocultor Catarino González Aguilar, quien facilitó las instalaciones y los animales. Se utilizaron 18 cabras preñadas bajo pastoreo semi extensivo, distribuidas en tres tratamientos: 1) ensilado de vaina de mezquite (*VM*); 2) alimento integral compuesto por granos, minerales, heno de avena y heno de alfalfa (*AI*); y 3) grupo sin suplementación (*SS*). El VM se elaboró con 600 kg de vaina recolectada en campo, triturada, rehidratada con 30 % de agua con base en el peso seco, compactada en silos plásticos de 200 L y fermentada durante 30 días (Figura 1). Posteriormente, el suplemento se ofreció diariamente a las cabras al regresar del pastoreo (18:00 h). Las variables evaluadas a las 0 y 72 h después del parto (hdp) fueron: azúcares expresados en °Brix mediante refractómetro, densidad empleando un calostrómetro, composición de grasa, lactosa y proteína analizando a treves de un MilkoScope, y producción de calostro mediante báscula. Los datos se analizaron con ANOVA de una vía y comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) en INFOSTAT.



Figura 1. Elaboración de ensilado de vaina de mezquite como suplemento en cabras lecheras gestantes.

Resultados y discusión

Se presentaron diferencias significativas en el contenido de azúcares a las 72 hdp (p = 0.02). El tratamiento *SS* presentó el valor más alto (17.83 °Brix), mientras que el tratamiento *VM* registró el valor más bajo (15.33 °Brix). En contraste, los azúcares a las 0 hdp (p = 0.36), la densidad a las 0 hdp (p = 0.53) y a las 72 hdp (p = 0.44), así como la producción de calostro a las 0 hdp (p = 0.12) y a las 72 hdp (p = 0.86), no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. No obstante, el *VM* mostró los mayores valores numéricos de producción de calostro en ambos momentos de evaluación. La grasa presentó diferencias significativas a las 72 hdp (p = 0.05), con el valor más alto en el tratamiento con *AI* (10.6 %), seguido del *VM* (8.88 %) y del grupo SS (6.55 %). Por su parte, la lactosa no difirió significativamente entre tratamientos a las 0 hdp (p = 0.49) ni a las 72 hdp (p = 0.13). De manera similar, la proteína no mostró diferencias significativas a las 0 hdp (p = 0.49) ni a las 72 hdp (p = 0.12); sin embargo, el tratamiento *VM* presentó los valores numéricamente más altos de lactosa y proteína a las 72 hdp (5.85 % y 3.92 %, respectivamente). Estos resultados sugieren que la suplementación con *VM* no modificó de forma significativa la mayoría de los indicadores de calidad del calostro, aunque mostró una respuesta favorable en términos numéricos para la producción y algunos componentes químicos. Lo anterior coincide con Ángeles-Hernández et al. (2024), quienes señalan que una mayor disponibilidad y calidad del alimento puede favorecer el consumo de materia seca y la respuesta productiva. Asimismo, Galaviz Castillo et al. (2022) y Mejía-Haro et al. (2023) reportan efectos favorables del uso de mezquite en la alimentación de rumiantes. En el presente estudio, el efecto del *VM* fue más evidente en la producción numérica de calostro que en sus indicadores de calidad; por ello, su uso puede considerarse una alternativa local viable.

Conclusiones

La suplementación con ensilado de vaina de mezquite no afectó negativamente la producción ni la calidad general del calostro en cabras lecheras gestantes bajo pastoreo semi extensivo. Asimismo, mostró valores numéricamente favorables en producción de calostro, lactosa y proteína. Por tanto, el ensilado de vaina de mezquite representa una alternativa alimenticia local con potencial para sistemas caprinos de zonas áridas y para procesos de transición agroecológica. Sin embargo, se recomienda complementar su uso con estrategias que favorezcan los componentes asociados con la calidad inmunológica y energética del calostro.

Referencias

Ángeles-Hernandez, J. C., Santiago, E. del J. F., Cardoso-Gutiérrez, E., Valencia-Salazar, S. S., Rodríguez, O. E. del R., Paz, E. A., Ku-Vera, J. C., Kebreab, E., Benaouda, M., & Garduño García, Á. (2024). The Use of Mesquite Pods (Prosopis spp.) as an Alternative to Improve the Productive Performance and Methane Mitigation in Small Ruminants: A Meta-Analysis. Fermentation, 10(12), 1–16. https://doi.org/10.3390/fermentation10120625

Armijo-Nájera, M. G., Moreno Reséndez, A., Blanco Contreras, E., Borroel-García, V. J., & Reyes-Carrillo, J. L. (2019). Vaina de mezquite (Prosopis spp.) alimento para el ganado caprino en el semidesierto. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10(1), 113-122.

Canto, F., & Abecia, J. A. (2022). Manejo de calostro en ovinos. Facultad de Veterinaria de Zaragoza, 257, 26–27. https://www.researchgate.net/publication/365007996

Contreras-Villarreal, V., Martínez-Ruiz, D., Ángel-García, O., Flores-Salas, J., Ortega-Morales, N., Carrillo-Moreno, D., & Gaytán-Alemán, L. (2022). Complementación alimenticia con mezquite y naranja en cabras: efecto sobre el calostro, leche y cabritos. Abanico Veterinario, 12.

Galaviz Castillo, J. C., Rodríguez Rangel, F. A., Rendón Huerta, J. A., Álvarez Fuentes, G., Morales Rueda, J. Á., & García López, J. C. (2022). Efecto de una dieta con base en vaina de mezquite, maguey y nopal sobre la producción y calidad fisicoquímica de leche de cabras Saanen. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, 21(1), 1–11. https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2020.06.006

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2022). Producción caprina en terrenos extensivos. Gobierno de México.

Mejía-Haro, García-Sánchez A., Martinez-Mireles J., Aréchiga-Flores C., Silva-Ramos J., & Ramos-Dávila M. (2023). Efecto de vaina de mezquite (Prosopis laevigata, Fabales: Fabaceae) sobre fermentación ruminal y parámetros productivos en ovinos en engorda. Acta Agrícola y Pecuaria, 9, 1–9.

REGISTROS NOTABLES DE *Taxidea taxus* MEDIANTE FOTOTRAMPEO AL SURESTE DE MAPIMÍ, DURANGO

Mayela Rodríguez-González[1*], Luis Gerardo Yañez-Chávez[2], Mariela Bernal-Renteria[3], Gonzalo Hernández-Ibarra[2]

[1]Universidad Abierta y a Distancia de México (UnADM). CP 03330 Ciudad de México. [2]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Km. 40 Carretera Gómez Palacio - Chihuahua. CP. 35230 Bermejillo, Durango. [3]Egresada de la Ingeniería en Sistemas Pecuarios de la URUZA-UACh. *Autor de correspondencia: mayelarg92@gmail.com

Introducción

A nivel mundial se conocen 5488 especies de mamíferos, de las cuales 523 se han registrado para México, ubicando al país en el cuarto lugar a nivel mundial en diversidad de mamíferos (Alvarado y Magaña, 2017). La familia Mustelidae es el grupo más numeroso de carnívoros, con 64 especies de las cuales seis habitan en México (Rangel-Rojas et al., 2019). El tlalcoyote o tejón norteamericano (*Taxidea taxus*) se caracteriza por su morfología robusta y fuerte, y sus hábitos semifosoriales, nocturnos y solitarios, además de ser un depredador importante y creador de madrigueras en los ecosistemas donde se encuentra. Su distribución se localiza en la mayor parte de Norteamérica, se extiende desde los pastizales, hasta las zonas abiertas y semiáridas del centro de México (Gould y Harrison, 2017; Rangel-Rojas et al., 2019). Su distribución local depende de la presencia de roedores de hábitos subterráneos (tuzas, ratas, ratones, ardillas de tierra y perritos de la pradera). Este mustélido es raro en México y se considera una especie Amenazada de acuerdo con la NOM-059 (Gómez-Valenzuela et al., 2017; DOF 2010), debido a que sus registros son escasos y no se han realizado estimaciones poblacionales a lo largo de su distribución en México. En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue documentar la presencia de *T. taxus* al sureste del municipio de Mapimí, Durango mediante fototrampeo.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en la parte sureste del municipio de Mapimí, del estado de Durango, México. El clima del área es seco desértico, con régimen de lluvias en verano e invierno fresco. Con una precipitación promedio anual de 260 mm y temperatura media anual de 19 a 21 °C (SMN, 2020). Durante el periodo de julio 2025 a julio 2026 se efectuaron muestreos sistemáticos enfocados en registrar la presencia, abundancia y actividad de mamíferos medianos y grandes. Durante el estudio se establecieron seis estaciones de foto trampeo, cada una con una cámara trampa (iZEEKER IG220). Las cámaras fueron colocadas en áreas de matorral desértico micrófilo y pastizal natural abierto, a una altura de 40 cm sobre el nivel del suelo y una separación de 400 m entre ellas. Fueron programadas para mantenerse activas las 24 horas del día y tomar tres fotografías y un video corto (10 segundos) por evento para aumentar la probabilidad de registrar a la fauna silvestre presente. Posteriormente, los individuos fueron catalogados con el apoyo de guías para la identificación de mamíferos y la plataforma online iNaturalistMX, además se categorizó su residencia y riesgo según la NOM-059-SEMARNAT 2010 (DOF, 2010).

Resultados y discusión

Con un esfuerzo de muestreo de 395 días-cámara, se obtuvieron cuatro fotografías de tlalcoyote (Figura 1). Los dos primeros registros se obtuvieron en un ambiente dominado por matorral desértico micrófilo a una elevación de 1106 msnm (25°54'4.18"N, 103°35'27.19"O; 22 de abril de 2026 y 25 de abril de 2026); los individuos fueron fotografiados durante horas nocturnas, mostrando actividad propia de los hábitos semifosoriales de la especie.

El tercer registro tuvo lugar en un área adyacente a zonas de uso agrícola y cultivos de maíz, a una elevación de 1109 msnm (25°53'46.89"N, 103°35'39.85"O; 12 de mayo de 2026). Este hallazgo sugiere el aprovechamiento de los bordes entre parches de matorral nativo y áreas agrícolas, posiblemente atraído por el flujo o la presencia de roedores de surco y pequeñas presas. El cuarto registro, corresponde a un individuo adicional registrado en la franja de transición de matorral micrófilo y mezquital cercana al área de estudio, a 1124 msnm (25°52'34.10"N, 103°37'39.90"O; 22 de julio de 2026) (Figura 2).



Figura 1. Registros fotográficos de tlalcoyote al sureste de Mapimí, Durango.

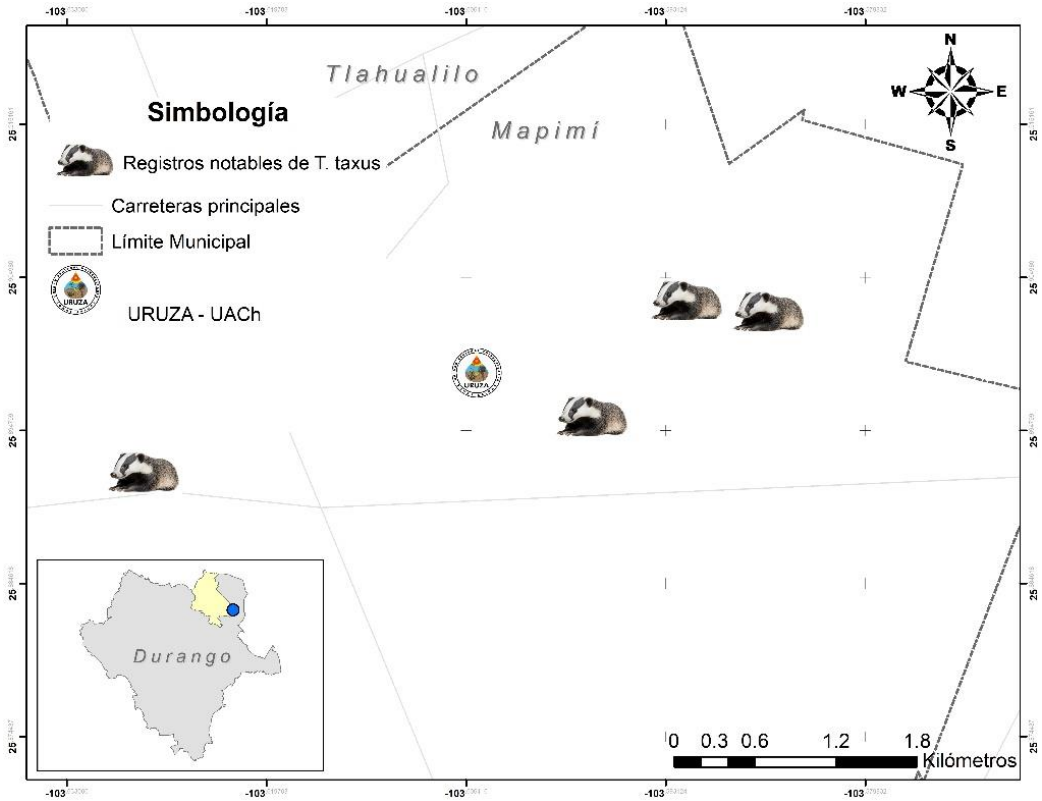


Figura 2. Registros de *T. taxus* al sureste del municipio de Mapimí, Durango.

Además del tlalcoyote, se logró registrar la presencia de presas potenciales como el conejo del desierto (*Sylvilagus audubonii*), la liebre cola negra (*Lepus californicus*) y el ardillón punteado (*Xerospermophilus spilosoma*).

Las características ecológicas y micro ambientales de los sitios de detección coinciden con lo reportado por la literatura científica, que asocia la presencia de *T. Taxus* con matorrales xerófilos, pastizales abiertos, mezquitales y bordes agrícolas con la alta disponibilidad de presas lagomorfas y pequeños mamíferos fosoriales (Troncoso-Aguilar et al., 2025; Rangel-Rojas et al., 2019; Duquette, 2008). Por lo tanto, la zona sureste del Municipio de Mapimí representa un área critica de distribución potencial, tránsito, alimentación y eventual reproducción para las poblaciones de *T. taxus*. A pesar de que a nivel internacional la Lista Roja de la IUCN ubica a la especie como de *Preocupación Menor* (*Least Concern*) aunque con una tendencia poblacional decreciente (IUCN, 2026), en el ámbito nacional la NOM-059-SEMARNAT-2010 la clasifica bajo la categoría de Amenazada (A) (DOF, 2010). Estos registros enriquecen sustancialmente el catálogo de mamíferos carnívoros reportados para el sureste de Mapimí, amplían la cobertura geográfica documentada para la especie en el estado de Durango y fundamentan la urgencia de establecer esquemas de monitoreo permanente a largo plazo en el Desierto Chihuahuense.

Conclusiones

Los registros fotográficos obtenidos confirman la presencia activa y la relevancia ecológica de *T. taxus* en la zona sureste del municipio de Mapimí, Durango. La documentación de estos ejemplares amplía el conocimiento sobre la distribución geográfica y los registros notables de mamíferos carnívoros en el estado de Durango. Dado que el tlalcoyote es una especie clasificada como Amenazada bajo la NOM-059-SEMARNAT-2010 y presenta poblaciones en declive a nivel global, los hallazgos destacan la necesidad de dar continuidad al monitoreo sistemático mediante foto trampeo y promover estrategias focalizadas para su conservación y la de su hábitat en la zona desértica.

Referencias

Alvarado A., C. y Magaña C., G. E. (2018). Revisión de la mastofauna del municipio de Guanajuato, Guanajuato, México. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, *4*, 1-6.

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019&print=true

Duquette, J. F. (2008). *Population ecology of badgers (Taxidea taxus) in Ohio* (Master's thesis, The Ohio State University).

Gómez-Valenzuela, C., Flores-Zamarripa, F. J., & Fernández, J. A. (2017). Nuevos registros para el mapache Procyon lotor (Carnivora: Procyonidae) y el tlalcoyote, *Taxidea taxus* (Carnivora: Mustelidae) en Chihuahua y Durango, México. *Acta zoológica mexicana*, *33*(2), 394-397.

Gould, M. J., & Harrison, R. L. (2018). A novel approach to estimating density of American badgers (*Taxidea taxus*) using automatic cameras at water sources in the Chihuahuan Desert. *Journal of Mammalogy*, *99*(1), 233-241.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática). (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/

International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2026). *The IUCN Red List of Threatened Species* (Version 2026-1). https://www.iucnredlist.org/

Rangel-Rojas, J. M. (2019). Primer registro del tlalcoyote (*Taxidea taxus*) en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, Guanajuato. *Nota científica*.

Servicio Meteorológico Nacional [SMN]. (2020). Normales climatológicas, periodo 1991-2020. Información Climatológica del estado de Durango. Conagua. Méx. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado

Troncoso-Aguilar, D. I., Rojas-Sánchez, J. V., & Flores-Martínez, J. J. (2025). Un excavador imparable y maestro de la supervivencia. *Therya Ixmana*, *4*(3), 157–159. https://doi.org/10.12933/therya_ixmana-25-715

GOBERNANZA, SOSTENIBILIDAD Y COMPETITIVIDAD DEL CAFÉ CHIAPANECO: IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS ESTRUCTURALES DESDE LA PERSPECTIVA DE ACTORES

María Jesica Zavala-Pineda[1], Gonzalo Abelino-Torres[2*], José Alfredo Medina-Meléndez[3], Juan Antonio Leos-Rodríguez [4]

[1] Posdoctorante SECIHTI-Universidad Autónoma de Chiapas. [2] Profesor-Investigador Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. [3] Profesor-Investigador Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Agronomía. [4] Profesor-Investigador Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Económico Administrativas.
* Autor de correspondencia: gabelino@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Chiapas es el principal Estado productor de café en México, se destaca por su elevada capacidad productiva, la fuerte organización cooperativa y una evidente orientación hacia la exportación (Folch y Planas, 2019). Sin embargo, persisten brechas institucionales, tecnológicas, productivas y comerciales que limitan la capacidad de los productores en la cadena de valor (Agostini, Bitencourt y Vieira, 2020).

Estas brechas no se explican por factores aislados, sino por la interacción entre actores, instituciones y marcos legales que configuran la cafeticultura como un sistema complejo (Preiser et al., 2018; Libert Amico et al., 2019), en el que las relaciones causales se encadenan a distintas escalas (Libert Amico et al., 2019) y producen efectos que no pueden atribuirse a un solo componente (Montoya y Toledo, 2020).

A la luz de la necesidad de un enfoque integral que aborde estas brechas persistentes, el objetivo de la investigación fue identificar y analizar, a partir de las percepciones de actores institucionales, sectoriales y organizativos de la cafeticultura en Chiapas, las principales problemáticas que afectan la gobernanza territorial del sector, con el fin de estructurar sus causas y efectos mediante el análisis del complejo causal de dos categorías: organización y vinculación.

Materiales y métodos

Las entrevistas se orientaron a identificar las principales problemáticas percibidas en torno a la producción, la organización, la comercialización y la vinculación institucional de la cafeticultura, así como las causas y efectos asociados a dichas problemáticas.

La selección de informantes fue intencional y respondió a su participación en distintos niveles de la estructura institucional y organizativa del sector cafetalero. Se consideraron dos representantes del Instituto del Café de Chiapas (INCAFECH), un actor del Sistema Producto Café en Chiapas y ocho productores de la Unión de Ejidos y Comunidades San Fernando (UESF) SPRL, esta última como referente del nivel organizativo-productivo.

Resultados y discusión

En las figuras siguientes se muestran los complejos causales.

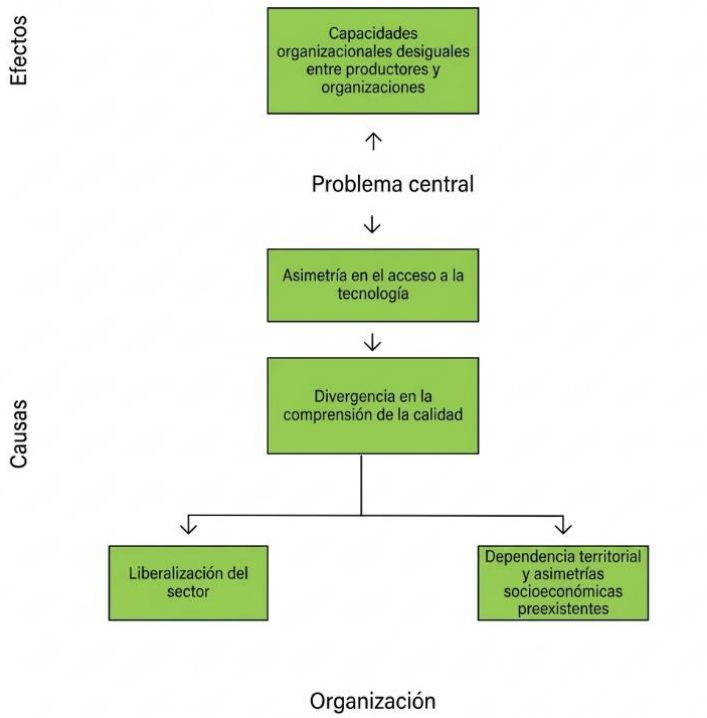


Figura 1. Complejo causal de las capacidades organizacionales desiguales entre productores y organizaciones de la cadena cafetalera de Chiapas.

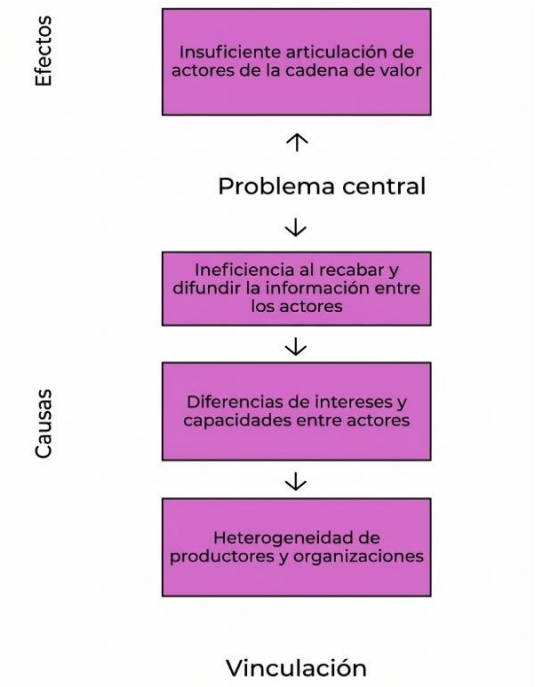


Figura 2. Complejo causal de las deficiencias en la articulación de actores de la cadena de valor cafetalera de Chiapas. Fuente: Elaboración propia (2026).

El efecto directo capacidades organizacionales desiguales entre productores y organizaciones fue identificado a partir de la información recabada durante las entrevistas. La existencia de capacidades organizacionales desiguales entre los productores individuales y las organizaciones cafetaleras constituye una barrera estructural fundamental que perpetúa la asimetría de poder y la desigualdad en la cadena de valor global del café. De acuerdo con Ramírez-Gómez et al. (2022) la evolución de la cadena de suministro ha favorecido a aquellas entidades capaces de internalizar funciones críticas como el acopio, la transformación y la comercialización internacional, dejando a los productores individuales en una posición de dependencia estructural.

Esta situación incluso puede derivar en conflictos: *existen tensiones entre cooperativas exportadoras y grupos con enfoque más social que no comercializan a gran escala, generando demandas y fricciones* (MC. Ángel Burgos Barreto, presidente del Sistema Producto Café en Chiapas). A partir del efecto identificado, es posible estructurar el complejo causal en tres niveles analíticos interrelacionados. En el primer nivel, se identifica como causa directa la asimetría en el acceso a la tecnología; en el segundo, se reconoce como causa indirecta la divergencia en la comprensión de la calidad; y, en el tercero, se distinguen dos causas estructurales: la liberalización del sector y la dependencia territorial, asociada a las asimetrías socioeconómicas preexistentes.

Los agricultores son los actores más vulnerables, ya que presentan simultáneamente la mayor sensibilidad y la menor capacidad de adaptación; esta situación deriva de su fuerte dependencia territorial y de las asimetrías socioeconómicas preexistentes frente a otros actores de la cadena de valor del café que no dependen tanto del territorio, por ejemplo, las empresas privadas (Morales et al., 2022).

Se demanda que INCAFECH diversifique programas para atender tanto productividad básica como innovación y consolidación en exportación (MC. Ángel Burgos Barreto, presidente del sistema Producto Café en Chiapas). En la Figura 2 se puede apreciar el esquema que corresponde al análisis del complejo causal de la categoría de análisis definida como *vinculación*, en la cual el efecto directo detectado fue *Insuficiente articulación de actores de la cadena de valor.*

Las entrevistas evidenciaron dificultades de coordinación en la cadena cafetalera de Chiapas. La literatura destaca el papel de las organizaciones en la gobernanza rural (Meza Palma et al., 2020) y las desigualdades en la cadena de valor (Samoggia & Fantini, 2023). Ante ello, el *Chiapas Coffee Summit 2026* busca fortalecer la vinculación comercial (Secretaría de Economía y del Trabajo de Chiapas, 2026). Su impacto deberá evaluarse considerando las diferencias productivas y de sostenibilidad de los cafeticultores chiapanecos (Jiménez-Ortega et al., 2022)

Respecto al sector académico y de investigación, el Sistema Producto Café en Chiapas reconoce que *la vinculación con centros de investigación es puntual y reactiva y el vínculo con universidades es débil y suele hacerse desde las organizaciones y no a través del Sistema* Producto Café (MC. Ángel Burgos Barreto, presidente del Sistema Producto Café en Chiapas). Esto muestra que la coordinación y vinculación continúan siendo una necesidad explícitamente atendida por la política sectorial.

A decir de Sánchez Juárez (2015), las dinámicas institucionales del aparato gubernamental han cambiado a tal grado que en la actualidad no existe una instancia específica a la cuál puedan recurrir los cafeticultores para dirigir sus demandas, a pesar de que están presentes el Sistema Producto Café (SPC) y la Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café (AMECAFE), ya que ambas instituciones tienen funciones sumamente reducidas.

Asimismo, se identificaron tres causas para el efecto percibido por los participantes en las entrevistas. Como causa estructural, el análisis parte de la heterogeneidad de productores y organizaciones presentes dentro de la cadena de café en Chiapas. Herrera Hernández y Zamora Lomelí (2025) identificaron 126,887 unidades de producción de café en el estado y señalan que Chiapas concentra alrededor de 55 % de las organizaciones cafetaleras de primer y segundo nivel de los principales estados productores analizados. Sin embargo, tener muchas organizaciones no significa que todas tengan el mismo nivel de consolidación, de hecho los autores identifican desde grupos que requieren intermediarios para comercializar hasta organizaciones consolidadas con equipos técnicos propios y acceso a mercados diferenciados. Esta situación hace difícil construir una agenda común para toda la cadena.

Uno de los actores señaló: *No existe un censo único y plenamente actualizado de cafeticultores…* Las organizaciones cuentan con más información directa sobre sus socios porque están en el mismo territorio y conocen la superficie de cada persona, en tanto que INCAFECH visita las localidades de forma más esporádica" (Ing. Raúl Álvarez Mendoza, analista e instructor de INCAFECH).

A pesar de ello las organizaciones también enfrentan desafíos en la recopilación de información. *El principal desafío transversal es la dificultad para recopilar datos precisos y sistemáticos desde la parcela, debido a barreras generacionales y tecnológicas, por ejemplo, tenemos productores de edad avanzada, no hay una cultura de registro y hay zonas sin conectividad* (Ing. Ronay Viza, productor y técnico de la UESF).

Conclusiones

la crisis de la cafeticultura chiapaneca no proviene de fallas aisladas, sino de la interacción sistémica entre la liberalización del sector, la dependencia territorial y las distintas visiones sobre la calidad. En este marco, la posibilidad de capturar mayor valor económico está directamente condicionada por el grado de consolidación organizacional, dejando a los actores con menores capacidades en seria desventaja para influir en las decisiones comerciales e institucionales. Ante esta realidad, las intervenciones públicas homogéneas fracasan y agudizan la brecha, al beneficiar en mayor medida a las organizaciones que ya poseen mejores condiciones para acceder a los programas. Por lo tanto, la gobernanza territorial debe transitar hacia esquemas diferenciados que reconozcan la diversidad real de los productores y fortalezcan sus capacidades locales de gestión, representación y comercialización.

Referencias

Agostini, M. R., Bitencourt, C. C., & Vieira, L. M. (2020). Social innovation in Mexican coffee production: filling 'institutional voids.' *International Review of Applied Economics*, *34*(5), 607–625. https://doi.org/10.1080/02692171.2019.1638351

Folch, A., & Planas, J. (2019). Cooperation, Fair Trade, and the Development of Organic Coffee Growing in Chiapas (1980–2015). *Sustainability*, *11*(2), 357. https://doi.org/10.3390/su11020357

Herrera Hernández, O. B., & Zamora Lomelí, C. B. (2025). Territorios cafetaleros en México. Claves para una tipología de productores. Revista de El Colegio de San Luis, 15(26), e1628. https://doi.org/10.21696/rcsl152620251628

Libert Amico, A., Ituarte-Lima, C., & Elmqvist, T. (2019). Learning from social–ecological crisis for legal resilience building: multi-scale dynamics in the coffee rust epidemic. *Sustainability Science*, *15*(2), 485–501. https://doi.org/10.1007/s11625-019-00703-x

Jiménez-Ortega, A. D., Aguilar Ibarra, A., Galeana-Pizaña, J. M., & Núñez, J. M. (2022). Changes over time matter: A cycle of participatory sustainability assessment of organic coffee in Chiapas, Mexico. Sustainability, 14(4), Article 2012. https://doi.org/10.3390/su14042012

Meza Palma, O., Díaz-Puente, J. M., & Yagüe, J. L. (2020). The role of coffee organizations as agents of rural governance: Evidence from western Honduras. Land, 9(11), Article 431. https://doi.org/10.3390/land9110431

Morales LV, Robiglio V, Baca M, Bunn C and Reyes M (2022) Planning for Adaptation: A System Approach to Understand the Value Chain's Role in Supporting Smallholder Coffee Farmers' Adaptive Capacity in Peru. Front. Clim. 4:788369. doi: 10.3389/fclim.2022.788369

Montoya, D., y Toledo, V. M. (2020). Historia de la caficultura en Chiapas (1880-2010). Apuntes de una evolución social y ambiental. *Sociedad y Ambiente*, *23*, 1–25. https://doi.org/10.31840/sya.vi23.2187

Preiser, R., Biggs, R., De Vos, A., & Folke, C. (2018). Social-ecological systems as complex adaptive systems: Organizing principles for advancing research methods and approaches. *Ecology and Society*, *23*(4), Article 46. https://doi.org/10.5751/ES-10558-230446

Ramírez-Gómez, C. J., Saes, M. S. M., Silva, V. L. dos S., & Souza Piao, R. (2022). The coffee value chain and its transition to sustainability in Brazil and Colombia from innovation system approach. International Journal of Agricultural Sustainability, 20(6), 1150–1165. https://doi.org/10.1080/14735903.2022.2065794

Samoggia, A., & Fantini, A. (2023). Revealing the governance dynamics of the coffee chain in Colombia: A state-of-the-art review. Sustainability, 15(18), Article 13646. https://doi.org/10.3390/su151813646

Sánchez Juárez, G. K. (2015). Los pequeños cafeticultores de Chiapas: Organización y resistencia frente al mercado (Colección Thesis, No. 4). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Centro de Estudios Superiores de México y Centroamérica.

Secretaría de Economía y del Trabajo de Chiapas. (2026, 28 de septiembre). SEyT impulsa posicionamiento y vinculación comercial del café chiapaneco con el Chiapas Coffee Summit 2026. https://economiaytrabajo.chiapas.gob.mx/noticias/seyt-impulsa-posicionamiento-y-vinculacion-comercial-del-cafe-chiapaneco-con-el-chiapas-coffee-summit-2026/

PROPUESTA DE MANEJO Y DIAGNÓSTICO ESPACIAL PRELIMINAR DEL HÁBITAT POTENCIAL DEL OCELOTE (Leopardus pardalis) EN LA CUENCA DEL RÍO LACANTÚN, CHIAPAS.

Ángel Yaretzi Mendez-Trujillo[1*], Gonzalo Hernández-Ibarra[1], Luis Gerardo Yáñez-Chávez[1]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Km 40 Ctra. Gómez Palacio - Chihuahua. CP. 35230. [*]Autor de correspondencia: al23207415@chapingo.mx

Introducción

El ocelote es el tercer felino más grande que habita en México. A pesar de que recientemente se ha publicado información acerca de la distribución de esta especie en el país, aún se desconocen muchos aspectos de su ecología básica en México (De la Torre et al., 2016). Debido a su extensa distribución geográfica que va desde el sur de Estados Unidos hasta el norte de Argentina, ocupa una gran diversidad de ecosistemas desde bosques tropicales hasta pastizales y matorrales (Sunquist y Sunquist, 2009).

De acuerdo con Aranda et al. (2015) entre los ambientes donde se le ha registrado destacan bosques tropicales húmedos, manglares, bosques tropicales y chaparrales semiáridos; sin embargo, también puede encontrarse en bosques templados de pino-encino y bosques mesófilos de montaña. Según Ramírez-Bravo et al. (2010), a pesar de su amplia distribución, existen regiones de México donde la presencia de esta especie ha sido poco documentada. Estudios recientes realizados en el estado de Puebla demostraron que el ocelote es más común de lo que se pensaba anteriormente. Mediante encuestas comunitarias y cámaras trampa se obtuvieron diez avistamientos distribuidos en diferentes regiones del estado, lo que evidenció la existencia de poblaciones tanto en el norte como en el sur de Puebla.

La Selva Lacandona es reconocida como uno de los centros de mayor diversidad biológica del continente americano. Aunque la Reserva de la Biosfera Montes Azules ocupa únicamente alrededor del 0.16 % del territorio nacional, alberga una proporción significativa de la biodiversidad de México. Se estima que contiene cerca del 20 % de la flora nacional, con aproximadamente 4,300 especies vegetales, además del 25 % de las especies de aves y el 27 % de los mamíferos registrados en el país (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2019). Debido a esta condición biogeográfica, la región alberga especies emblemáticas y de importancia para la conservación, entre ellas el jaguar (*Panthera onca*), el ocelote (*Leopardus pardalis*), el pecarí de labios blancos (*Tayassu pecari*), el tamandúa norteño (*Tamandua mexicana*) y el cocodrilo de Morelet (*Crocodylus moreletii*) (SEMARNAT, 2019).

A pesar de su importancia ecológica, la reserva enfrenta amenazas relacionadas con la deforestación, los incendios forestales, el cambio de uso de suelo y la fragmentación del hábitat. Estos factores pueden afectar la conectividad ecológica y la disponibilidad de recursos para numerosas especies silvestres, incluido el ocelote. Por ello, la Reserva de la Biosfera Montes Azules representa un sitio prioritario para proponer estrategias de manejo y conservación de L. pardalis en la Selva Lacandona (SEMARNAT, 2019). El objetivo de este trabajo fue elaborar una propuesta preliminar de manejo a partir de la identificación cartográfica del hábitat potencial, las amenazas generales y las acciones de protección prioritarias para la cuenca del río Lacantún. Se plantea un esquema de fototrampeo para verificar posteriormente en campo la presencia de la especie y evaluar sus patrones de actividad y las condiciones del hábitat. En esta etapa no se dispone de registros propios de fototrampeo ni de estimaciones poblacionales.

Materiales y métodos

El área de interés corresponde a la cuenca del río Lacantún, localizada dentro de la Reserva de la Biosfera Montes Azules, en la región de la Selva Lacandona, Chiapas. Esta zona constituye una de las áreas mejor conservadas del bosque tropical húmedo en México y representa un corredor biológico de gran importancia para la conservación de mamíferos medianos y grandes, incluyendo al ocelote, jaguar (*Panthera onca*) y puma (*Puma concolor*). La selección de esta área se fundamenta en la presencia documentada de poblaciones de ocelote, la disponibilidad de hábitat adecuado, la existencia de extensas áreas de selva alta perennifolia y su relevancia para la conectividad ecológica dentro del ecosistema de la Selva Lacandona (De la Torre et al., 2016).

Para elaborar el diagnóstico espacial preliminar se empleó el sistema de información geográfica QGIS, junto con imágenes satelitales y cartografía de CONABIO (2026) e INEGI (2026). La información permitió representar el área de interés y proponer ubicaciones de muestreo, sujetas a verificación de campo. Como referencia metodológica se consideró el monitoreo desarrollado por De la Torre et al. (2016) en la Selva Lacandona.

Se propone, de manera preliminar, una red de 30 estaciones de fototrampeo, cifra de planeación y no resultado de un cálculo formal de tamaño de muestra. Su ubicación cartográfica busca dar cobertura a diferentes sectores de la cuenca y considerar la accesibilidad, la continuidad de la vegetación y los posibles sitios de paso de fauna; la separación definitiva entre estaciones deberá establecerse con base en recorridos de reconocimiento, las características del terreno y el objetivo del monitoreo. Se prevé utilizar cámaras trampa con sensor de movimiento y captura de imágenes de alta resolución, operadas durante campañas de 60 a 90 días continuos por estación, con revisiones periódicas para verificar su funcionamiento. El número, la distribución y el esfuerzo efectivo de muestreo deberán ajustarse y documentarse antes de su aplicación.

Resultados y discusión

El análisis cartográfico preliminar permitió delimitar el área de interés y representar la distribución potencial reportada del ocelote a escala nacional y en Chiapas (Figura 1). El mapa constituye un producto de información espacial y no demuestra por sí mismo la presencia, densidad o actividad de la especie dentro de cada sector de la cuenca. En otros territorios de México, Ramírez-Bravo et al. (2010) documentaron registros que permiten discutir la importancia de la conectividad regional; sin embargo, esos registros no deben interpretarse como observaciones obtenidas en este estudio. Por ello, el diagnóstico sirve como punto de partida para orientar la verificación y el monitoreo futuro en el río Lacantún.

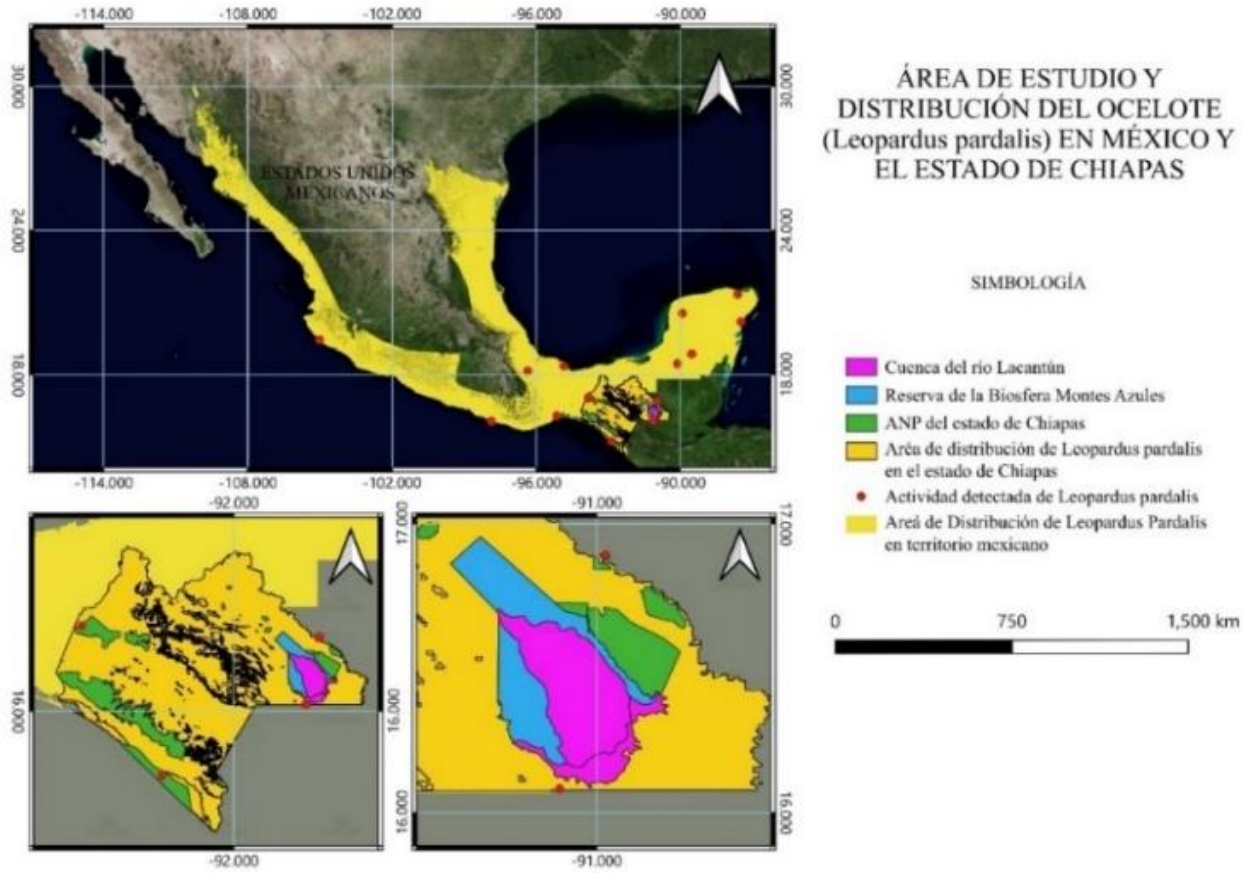


Figura 1. Diagnóstico espacial preliminar y distribución potencial de L. pardalis. Elaboración propia con base en información de CONABIO (2026) e INEGI (2026).

La Selva Lacandona constituye una región relevante para la conservación del ocelote en México (De la Torre et al., 2016). El fototrampeo es una técnica no invasiva útil para registrar fauna de hábitos discretos y nocturnos. Para la cuenca del río Lacantún se presenta una propuesta cartográfica de 30 estaciones (Figura 2).

Su número es preliminar y responde a un esquema inicial de cobertura territorial, no a una optimización estadística; las ubicaciones se plantearon para explorar distintos sectores del área de interés y deberán verificarse en campo en función del acceso, la cobertura vegetal y posibles rutas de desplazamiento.

La propuesta no equivale a estaciones instaladas ni a registros confirmados de ocelote. Una vez realizado el muestreo, podrán evaluarse la detección, la actividad y, si el diseño y los datos lo permiten, parámetros poblacionales.

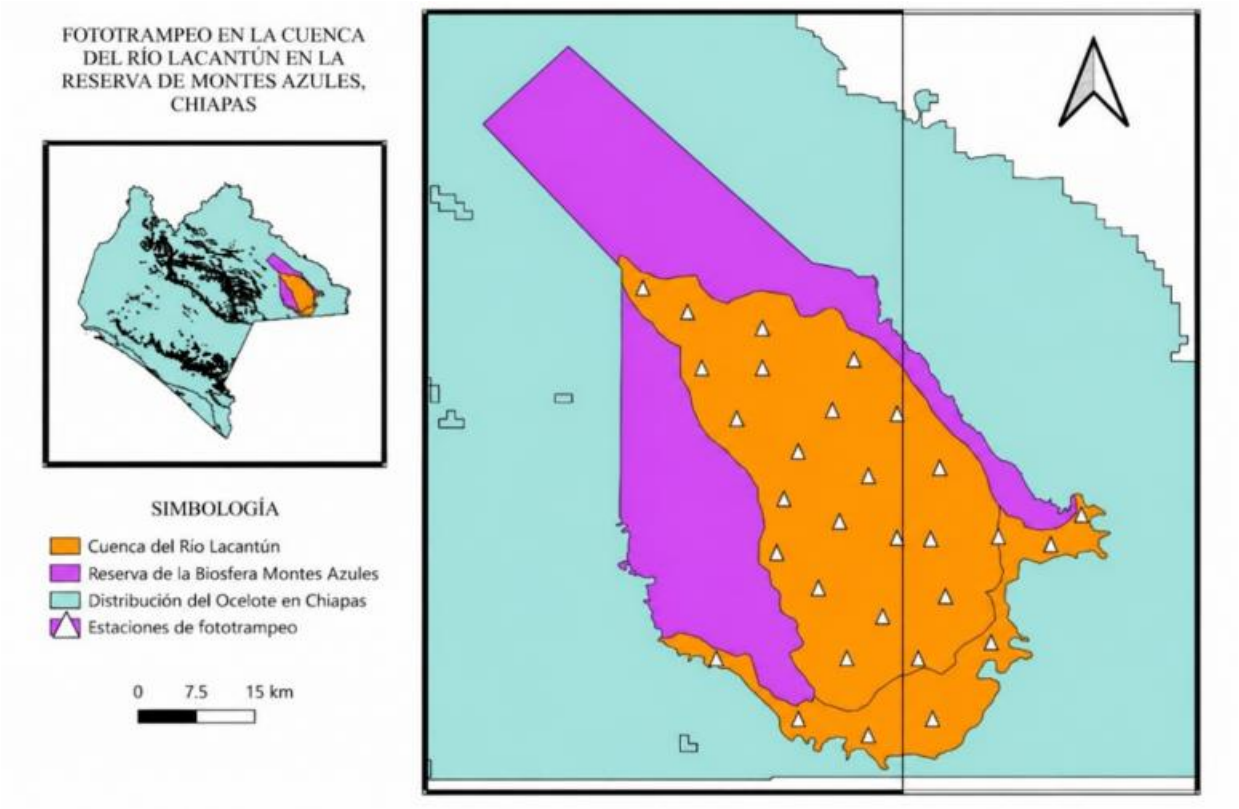


Figura 2. Distribución preliminar propuesta de estaciones de fototrampeo en la cuenca del río Lacantún, Reserva de la Biosfera Montes Azules, Chiapas. Ubicaciones sujetas a verificación en campo. Elaboración propia con base en CONABIO (2026) e INEGI (2026).

El plan de manejo propuesto se organiza en siete fases complementarias, desde el diagnóstico y el monitoreo inicial hasta la restauración, la participación comunitaria y la evaluación de resultados (Cuadro 1). Su secuencia responde a la necesidad de obtener primero información de referencia, aplicar posteriormente medidas de conservación y verificar su eficacia durante un horizonte aproximado de diez años. Las fases podrán ajustarse según la información que genere el trabajo de campo y los acuerdos con las comunidades e instituciones participantes.

Cuadro 1. Fases del Plan de Manejo para la Conservación del Ocelote (*L. pardalis*).

Fase	Descripción
I	*Diagnóstico y caracterización del área de estudio*
II	*Monitoreo poblacional mediante foto trampeo*
III	*Evaluación del hábitat y análisis de conectividad ecológica*
IV	*Participación comunitaria y educación ambiental*
V	*Conservación y restauración del hábitat*
VI	*Monitoreo sanitario y vigilancia biológica*
VII	*Evaluación poblacional y seguimiento del plan de manejo*

Las metas se distribuyen en tres horizontes temporales (Cuadro 2). A corto plazo (1–3 años), se priorizan el establecimiento del monitoreo, la identificación de amenazas, la educación ambiental y la línea base sanitaria. A mediano plazo (3–5 años), se propone restaurar corredores, reducir la pérdida de cobertura forestal, fortalecer las brigadas comunitarias y generar información continua. A largo plazo (5–10 años), se busca favorecer una población viable de ocelotes, consolidar la conectividad regional y ampliar la conservación efectiva. Estas metas representan compromisos propuestos, no resultados alcanzados. Su seguimiento requerirá definir para cada acción indicadores verificables, una línea de base, responsables y criterios de evaluación.

Cuadro 2. Metas del Plan de Manejo para la Conservación del Ocelote (*L. pardalis*).

Metas a corto plazo (1–3 años)	
1.	*Establecer un programa permanente de monitoreo poblacional*
2.	*Identificar áreas prioritarias de conservación y las amenazas presentes*
3.	*Implementar educación ambiental comunitaria*
4.	*Establecer una línea base sanitaria*
Metas a mediano plazo (3–5 años)	
5.	*Restaurar corredores biológicos prioritarios*
6.	*Reducir la pérdida de cobertura forestal*
7.	*Consolidar brigadas comunitarias de conservación*
8.	*Generar información científica continua*
Metas a largo plazo (5–10 años)	
9.	*Mantener una población viable de ocelotes*
10.	*Consolidar un corredor regional para felinos*
11.	*Incrementar la superficie bajo conservación efectiva*
12.	*Convertir a Montes Azules en un sitio modelo para la conservación del ocelote*

Conclusiones

La cuenca del río Lacantún, situada en el entorno de la Reserva de la Biosfera Montes Azules, constituye un área de interés para proponer acciones de conservación del ocelote (L. pardalis) y de conectividad ecológica en la Selva Lacandona. Como productos de esta etapa se presentan un diagnóstico cartográfico preliminar, un esquema propuesto de 30 estaciones de fototrampeo y un plan de manejo de siete fases con metas a corto (1–3 años), mediano (3–5 años) y largo plazo (5–10 años). Las acciones abarcan el monitoreo, la identificación de amenazas, la restauración de corredores y la participación comunitaria. No se obtuvieron registros propios de presencia, densidad ni actividad del ocelote, por lo que la propuesta requiere verificación en campo, ajuste del diseño de muestreo y seguimiento mediante indicadores antes de evaluar sus efectos sobre la conservación de la especie.

Referencias

Aranda, M., Botello, F., Martínez-Meyer, E., & Pineda, A. (2015). Primer registro de ocelote (Leopardus pardalis) en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala, Estado de México y Morelos, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *85*(4). https://doi.org/10.7550/rmb.43293

CONABIO. (10 de junio de 2026). Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Registros de ejemplares. https://www.snib.mx/

De la Torre, J. A., Arroyo-Gerala, P., & Torres-Knoop, L. (2016). Density and activity patterns of ocelots in the greater lacandona ecosystem. *Therya*, *7*(2), 257-269. https://doi.org/10.12933/therya-16-372

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática). (2026). Descarga de mapas digitales de la República Mexicana. https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/mg/

Ramírez-Bravo, O. E., Bravo-Carrete, E., Hernández-Santín, C., Schinkel-Brault, S., & Chris, K. (2010). Ocelot (Leopardus pardalis) distribution in the state of Puebla, Central Mexico. *Therya*, *1*(2), 111-120. https://doi.org/10.12933/therya-10-12

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). *Reserva de la Biosfera Montes Azules, Selva Lacandona, Chiapas. Gobierno de México.* https://www.gob.mx/semarnat/articulos/reserva-de-la-biosfera-montes-azules-selva-lancandona-chiapas?idiom=es

Sunquist, M. E., y F. C. Sunquist. 2009. *Family Felidae*. in Handbook of the mammals of the world, Vol. 1, Carnivores (Wilson, D. E., y R. A. Mittermeier, eds.). Lynx Edicions. Barcelona, España.

CALIDAD DE PLÁNTULA EN SEMILLAS DE *Echinocactus platyacanthus* LINK Y OTTO SOMETIDAS A TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS

Luis Gerardo Yáñez-Chávez[1*], Rigoberto Caballero-Godínez[1], Aurelio Pedroza-Sandoval[1], Sandra Patricia Maciel-Torres[1], Mayela Rodríguez-González[2]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Km. 40 Ctera. Gómez Palacio - Chihuahua. CP. 35230 Bermejillo, Durango. [2]Universidad Abierta y a Distancia de México – UnADM. CP 03330 CDMX. *Autor de correspondencia: yachgl@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Las cactáceas son un grupo de plantas con características biológicas y ecológicas particulares que las hacen vulnerables a diversos factores de perturbación naturales y humanos, además, poseen tasas bajas de crecimiento y a menudo sus ciclos de vida son largos (Álvarez et al., 2017). También, estas plantas se han convertido en un grupo sensible a la extinción (Jiménez-Sierra, 2011). La familia Cactaceae presenta su máxima diversidad e importancia en el territorio mexicano con alrededor de 670 especies (Rosas y Solorzano, 2024); no obstante, el empobrecimiento biológico de las comunidades desérticas y semidesérticas de México es causado por la extracción ilegal de ejemplares adultos completos (Jiménez-Sierra y Eguiarte, 2010).

En particular, *E. platyacanthus* es una cactácea endémica de México que también es conocida como biznaga tonel, biznaga dulce o acitrón (Korotkova et al., 2021; Hernández-López, 2005); está ampliamente distribuida en las zonas áridas del altiplano central (Jiménez-Sierra et al., 2011). Debido a que las poblaciones han disminuido, esta especie se encuentra catalogada en la categoría sujeta a protección especial (Pr) por la Norma Oficial Mexicana-059 (SEMARNAT, 2010). También, está reportada en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales en la categoría de “casi amenazada” (Hernández et al. 2017), por lo que se considera importante conservar su germoplasma mediante técnicas de propagación adecuadas.

La información sobre la calidad física y fisiológica de semillas de *E. platyacanthus* de diferentes regiones es escasa, por lo que es importante generar conocimiento sobre su calidad (Ruiz-Pérez et al., 2021); además, evaluar la viabilidad y el tamaño de plántula obtenida, sería información necesaria para planear su conservación y preservación en su hábitat o sobrevivencia por periodos largos en condiciones ambientales desfavorables o de almacenamiento (Manzo-Rodríguez et al. 2022). Por lo cual, el objetivo del estudio fue determinar el efecto de diferentes tratamientos pregerminativos sobre la calidad de plántula de *E. platyacanthus*.

Materiales y métodos

Colecta de semillas. Las semillas de *E. platyacanthus* correspondieron a frutos maduros adheridos a la planta y sin presentar dehiscencia, provenientes de plantas ubicadas en el Jardín Botánico E.N.A., actualmente registrado como Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) SEMARNAT-UMA-IN-0468-DGO, en las coordenadas 25° 51’ 35’ de latitud norte y 106° 28’ 12’ de longitud oeste y una elevación sobre el nivel del mar de 1120m. Se utilizaron frutos provenientes de dos colectas realizadas en 2024 y 2025. Las colectas de los frutos procedieron de la misma cantidad de plantas seleccionadas al azar (un fruto por planta). Las plantas madre tenían una altura de 40 a 90 cm, con un diámetro de 35 a 60 cm; y se caracterizaron por ser plantas adultas con indumento lanoso apical.

Desinfección de semillas. Se realizó un proceso de desinfección de 1200 semillas en una mezcla compuesta por 10% de hipoclorito de sodio (NaClO) al 10% durante diez minutos. Posteriormente, se enjuagaron con agua destilada para eliminar los residuos de suelo o materia orgánica.

Aplicación de tratamientos pregerminativos. Cada tratamiento tuvo diez semillas, las cuales fueron sembradas el 22 de mayo de 2025 y colocadas en círculos de papel absorbente en cajas Petri de plástico estériles. Para evitar el daño por hongos y bacterias, se humedecieron con una solución de fungicida (Captan) a una proporción de 3 g L^{-1} de agua, con un atomizador. Se aplicó agua en pequeñas cantidades con el atomizador, repitiendo esta operación según fuera necesario. Las cajas Petri se llevaron a una cámara de germinación para proporcionar 12 h de luz y 12 h de oscuridad. Se establecieron 6 tratamientos por cada año de recolección dando como resultado un arreglo factorial de 6 x 2 x 10; el diseño utilizado fue en bloques completamente al azar, cada caja Petri se consideró como una unidad experimental, con 10 repeticiones. Los tratamientos pregerminativos evaluados fueron seleccionados por su eficacia en el incremento del porcentaje de germinación y la calidad de plántula generada reportados por otros autores en especies de cactáceas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos pregerminativos para semillas de *E. platyacanthus*.

Tratamiento	Descripción
T1	Testigo (semillas sin tratamiento).
T2	Ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 10% por 10 minutos.
T3	Ácido giberélico comercial (2%) 2 ppm durante 40 minutos.
T4	Ácido giberélico comercial (2%) 500 ppm durante 40 minutos.
T5	Ácido giberélico puro (100%) 500 ppm durante 40 minutos.
T6	Inmersión en agua destilada a 60 °C durante 1 minuto.

Muestreo de variables. Se realizó un muestreo de todas las plántulas obtenidas a los 30 días después de la siembra. Las variables que se cuantificaron fueron longitud de la radícula, plúmula y plántula (con flexómetro en mm), evaluados a los 30 días después de la siembra.

Análisis de datos. Cada variable fue sometida a un análisis estadístico en el programa SAS (Statistical Analysis System, para Windows Versión 9.1). Se calculó la diferencia mínima significativa (DMS de Tukey, P≤0.05) para la comparación de medias.

Resultados y discusión

Respecto a la variable longitud de plántula, se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los tratamientos; las concentraciones de ácido giberélico (AG_3) comercial y puro a 500 ppm fueron superiores respecto al resto de tratamientos para las semillas colectadas en el 2025. En referencia a las semillas que se colectaron en el 2024, únicamente el tratamiento de AG_3 puro obtuvo las plántulas de mayor longitud (Cuadro 1).

Cuadro 1. Longitud de plántula de *E. platyacanthus,* en seis diferentes tratamientos.

Tratamiento	Longitud de Plántula (cm)	
	Semillas colectadas en 2025	Semillas colectadas en 2024
T1	0.74 b	0.56 b
T2	0.72 b	0.62 b
T3	0.76 b	0.57 b
T4	0.98 a	0.62 b
T5	0.98 a	0.68 a
T6	0.62 c	0.56 b

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Para la variable longitud de plúmula se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los tratamientos evaluados para el año de colecta de semillas del 2025, siendo superiores las concentraciones de AG_3 (Tratamiento 4 y 5). Respecto al año de colecta del 2024, no se registraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para esta variable en las fechas evaluadas (Figura 1). Igualmente, se observaron plúmulas de mayor longitud en el año 2025, independientemente el tratamiento utilizado.

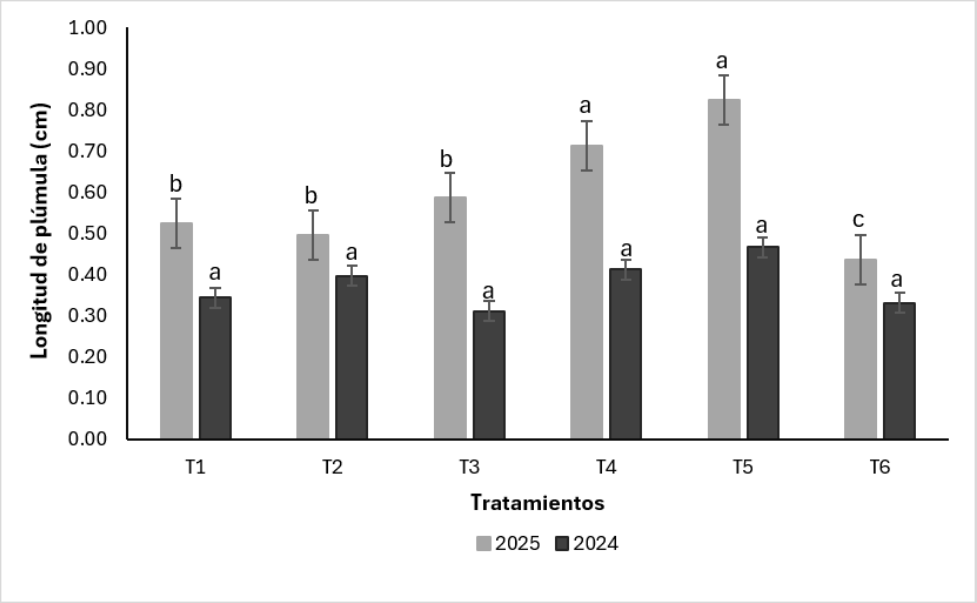


Figura 1. Longitud de plántula de *E. platyacanthus* en seis diferentes tratamientos y dos años de colecta. Barras con diferentes letras, son estadísticamente diferentes (p≤0.05).

Para la variable longitud de radícula se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los tratamientos evaluados para los dos años de colecta de semillas, siendo superior las concentraciones de AG_3 puro en el 2025 y el AG_3 comercial en bajas concentraciones (Figura 2).

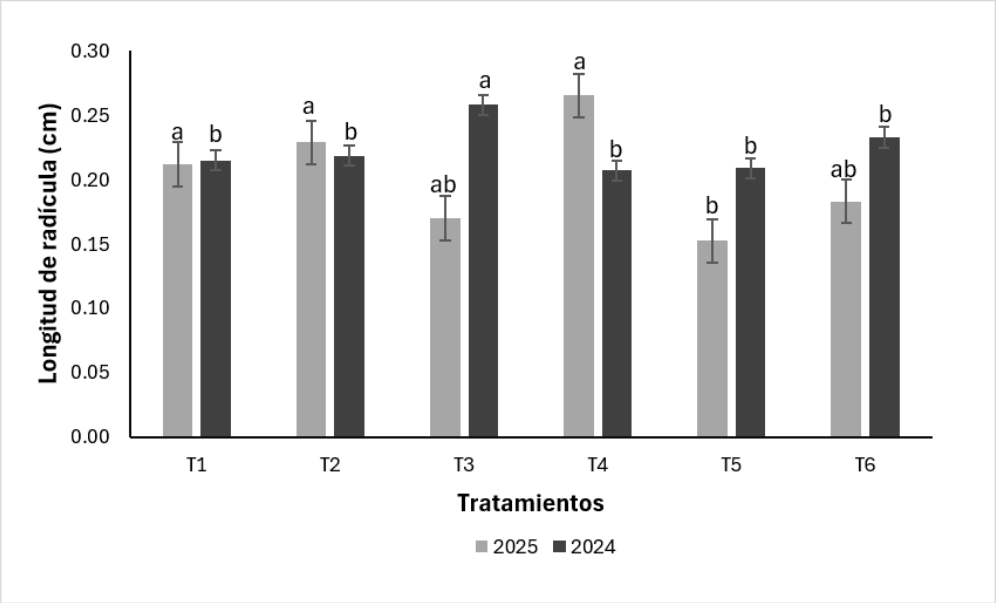


Figura 2. Longitud de radícula de *E. platyacanthus* en seis diferentes tratamientos y dos años de colecta. Barras con diferentes letras, son estadísticamente diferentes (p≤0.05).

En cuanto al uso de AG_3 estudios como el de Mascot (2020), demuestran que puede actuar como un promotor de la germinación en plantas de la familia Cactaceae bajo ciertas condiciones, pero sus efectos son variables según la especie y las concentraciones aplicadas, reflejando la necesidad de ajustar los tratamientos de acuerdo con los requerimientos de la especie; esto se ve reflejado en la efectividad de los tratamientos T3 (AG_3 2%; 2 ppm), T4 (AG_3 2%; 500ppm) y T5 (AG_3 100%; 500ppm). La longitud de plántula, radícula y plúmula, también fueron superiores utilizando el ácido giberélico independientemente de las dosis, confirmando a esta hormona como promotora para el crecimiento y la vitalidad en especies de cactáceas (Meléndez-Alfaro, 2023).

Otros autores como Medrano-Rojas et al. (2026), indican efectos positivos en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas para concentraciones altas de AG_3 para algunas especies de cactáceas, concluyendo que el ácido giberélico potencia de manera óptima la germinación y vitalidad de estas plantas.

Conclusiones

El tratamiento por escarificación química con el AG_3 fue el más efectivo para el desarrollo de plan tulas, radícula y plúmula de la especie. Sin embargo, en el año de colecta 2025 se consolidó los valores fueron superiores respecto al 2024. Estos resultados demuestran que la respuesta germinativa de *E. platyacanthus* varía entre años de colecta, es decir, mientras mayor sea el tiempo de colecta menor será el vigor y desarrollo de plantas.

Referencias

Álvarez, R., Godínez-Álvarez, H., Guzmán, U., & Dávila, P. (2017). Aspectos ecológicos de dos cactáceas mexicanas amenazadas: implicaciones para su conservación. *Botanical Sciences*, *75*, 7. https://doi.org/10.17129/botsci.1690

Hernández, H. M., Cházaro, M. & Gómez-Hinostrosa, C. (2017). *Echinocactus platyacanthus* (amendedversionof2013 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2017. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T152537A121477917.en

Hernández-López, M. A. (2005). *Evaluación del proceso de germinación de Echinocactus platyacanthus: una especie bajo protección especial, en el Valle del Mezquital, Hidalgo* (Tesis de licenciatura). Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.

Jiménez, S. C. (2011). Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria.* 12(1). pp 3-4.

Jiménez-Sierra, L. y Eguiarte, L. (2010). Cactus barril de caramelo (*Echinocactus platyacanthus* Link & Otto: un recurso vegetal tradicional en México sujeto a extracción y ramoneo incontrolados. *Economic Botany, 64*(2). pp 99-108. https://doi.org/10.1007/s12231-010-9119-y

Korotkova, N., Aquino, A., Arias, S., Eggli, U., Frank, A. F., Gómez-Hinostrosa, C., Guerrero, P. C., Hernández, H. M., Kohlbecker, A., Köhler, M., Luther, K., Majure, L. C., Müller, A., Metzing, D., Nyffeler, R., Sánchez, D., Schlumpberger, B. y Berendson, W. (2021). Cactaceae at Caryophyllales.org – a dynamic online species-level taxonomic backbone for the family. *Willdenowia,* 51(2), 251–270. https://doi.org/10.3372/wi.51.51208

Manzo-Rodríguez, S. M., González-Rosas, H., García De los Santos, G., Garcia-Moya,E., Espinosa-Hernández, V., Corona-Torres, T., & Robledo-Paz, A. (2022). Viabilidad y germinación de semillas de cuatro especies amenazadas de cactáceas. *Caldasia*, *44*(2), 209-220. https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n2.86192

Mascot, G. E. (2020). *Semillas de cactáceas: Factores internos y externos que influyen en su germinación* [Tesis doctoral, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.]. Repositorio Institucional del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica.

Medrano-Rojas, P. O., Gil-Rivero, A. E., López-Medina, S. E., Mostacero-León, J., De La Cruz-Castillo, A. J., & Gonzales-Velásquez, C. L. (2026). Efecto del ácido giberélico sobre las semillas de pitahaya silvestre (Armatocereus laetus (Kunth) Backeb) en etapa de germinación, Lluán-Calamarca-Julcán. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, *13*(1), 112-125.

Meléndez-Alfaro, P. G. (2023). *Análisis de la germinación de una especie de cactácea amenazada del sur del estado de Nuevo León, México* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Rosas, A. S. y Solorzano, L. S. (2024). Los cactus: patrimonio natural de México. *Revista digital univeristaria. 25*(2).

Ruiz-Pérez, A., Vázquez-Díaz, E., Ybarra-Moncada, M. C., & García-Nava, J. R. (2021). Calidad de semilla y sobrevivencia de plántulas de Echinocactus platyacanthus de tres regiones de México. Revista fitotecnia mexicana, 44(1), 33-40. https://doi.org/10.35196/rfm.2021.1.33

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2010). *NOM-059-SEMARNAT-2010.* Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación.* https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-059-semarnat-2010

EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE *Dasylirion cedrosanum*

Ingrid Estefanía García-Cárdenas[1*], Luis Gerardo Yáñez-Chávez[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Km 40 Carretera Gómez Palacio-Chihuahua. CP. 35230. [*]Autor de correspondencia: al20107783@chapingo.mx

Introducción

Dasylirion cedrosanum está presente principalmente en el Desierto Chihuahuense, con distribución en los estados de Coahuila, Durango, Zacatecas, Nuevo León y San Luis Potosí. El modelado de nicho ecológico mostró que la especie ocupa una superficie de 76,037 km² con alta idoneidad ambiental, siendo Coahuila el estado con mayor concentración (49 %), seguido por Nuevo León (17 %), San Luis Potosí (10 %), Durango (9 %) y Zacatecas (8 %). En conjunto, estas cinco entidades representan el 93 % del área idónea total para la especie, lo que confirma su papel estructural en los ecosistemas áridos del norte de México (Toribio-Ferrer et al., 2026). *D. cedrosanum* es la base para la producción de la bebida tradicional con denominación de origen en Chihuahua, Coahuila y Durango, lo que convierte a la planta en un recurso forestal no maderable de alto valor y un generador de ingresos para comunidades rurales (Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, 2002). Sin embargo, sus semillas presentan un bajo porcentaje de germinación natural debido a la latencia, lo que limita su propagación. En un estudio de Villarreal-Gándara et al. (2026), señala que las semillas sin un tratamiento pregerminativo rara vez superan el 50% de germinación. Otros autores confirman que las semillas presentan latencia exógena, lo que dificulta su proliferación y reduce la población natural (Ortiz-López et al., 2024). Además, el sotol es considerado estratégico en programas de reforestación y restauración de zonas áridas, ya que contribuye a la conservación de suelos y la recuperación de ecosistemas degradados (Ruiz & Castro, 2024; López et al., 2021). Por ello, evaluar tratamientos pregerminativos en *D. cedrosanum* es importante para garantizar el aprovechamiento y la disponibilidad para proyectos de conservación. Por lo tanto, en este trabajo se planteó evaluar el potencial germinativo de semillas de sotol, bajo diferentes tratamientos pregerminativos en condiciones de laboratorio.

Materiales y métodos

Para los tratamientos pregerminativos se utilizaron semillas provenientes de una colecta realizada en abril del 2025 en la localidad Chapala, Cuencamé, Dgo. ubicada en las coordenadas 24°31'4.26"N y 103°41'58.19"O a 2187 msnm, mediante el método de selección masal. Se seleccionaron escapos florales femeninos de plantas de sotol visiblemente sanas y vigorosas. La población de plantas en estos sitios se encontraba en laderas con pendiente pronunciada.

Antes de la aplicación de cada tratamiento, las brácteas fueron retiradas y se desinfectaron 240 semillas en una mezcla compuesta por 10% de hipoclorito de sodio (NaClO) al 10% durante diez minutos. Posteriormente, se enjuagaron con agua destilada para eliminar los residuos de suelo o materia orgánica. Cada tratamiento se separó en cuatro repeticiones de diez semillas cada una y se sembraron el 7 de septiembre del 2026, fueron colocadas en círculos de papel absorbente en cajas Petri estériles. Para evitar el daño por hongos y bacterias, se humedecieron con una solución de fungicida (Captan) a una proporción de 3 g L^{-1} de agua, con un atomizador. Se aplicó agua en pequeñas cantidades con el atomizador, repitiendo esta operación según fuera necesario. Se establecieron 6 tratamientos con 4 repeticiones dando como resultado un arreglo factorial de 6x4 en un diseño de bloques al azar, cada caja Petri correspondió a una unidad experimental independiente. Los tratamientos pregerminativos se describen en el Cuadro 1.

Cuadro 5. Tratamientos pregerminativos para semillas de *D. cedrosanum*.

Id de tratamiento	Característica
A	Escarificación química: Ácido giberélico puro (100%) 500 ppm durante 40 minutos.
B	Escarificación química: Agua oxigenada (H_2O_2) 3% durante 10 minutos.
C	Escarificación química: Ácido fúlvico 4 g L^{-1} de agua durante 10 minutos.
D	Escarificación química: Lixiviado de lombricomposta 62 ml por litro de agua.
E	Escarificación térmica: Inmersión en agua destilada a 60°C durante 1 minuto.
F	Testigo (semillas sin tratamiento).

La germinación se evaluó durante 10 días continuos, contando las semillas germinadas por día a la misma hora de evaluación. Se consideró como semilla germinada la aparición de la radícula visible. Además, se evaluó la velocidad de germinación usando la ecuación 1.

$$VG = \Sigma \frac{(ni)}{t} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde: VG=Velocidad de germinación; ni= número de semillas germinadas en el día; t= tiempo de germinación acumulada desde la siembra hasta la germinación de la última semilla.

Se realizó un análisis de regresión lineal simple y se calculó el coeficiente de determinación (R^2) para cada curva de germinación por tratamiento, con el programa Microsoft Excel Versión 365.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos muestran que los tratamientos químicos y térmicos evaluados tuvieron altos porcentajes de viabilidad, correspondiendo al E (escarificación térmica) y C (Ácidos fúlvicos) con los porcentajes más altos (70% y 65%, respectivamente) (Cuadro 2; Figura 1). El tratamiento con menor porcentaje de viabilidad fue el B (inmersión en agua oxigenada) (45%). Al respecto, en el caso de Dasylirion, sus frutos secos indehiscentes dificultan su germinación sin aplicar tratamientos pregerminativos (3-22%), haciendo que la remoción del fruto sea indispensable para lograr una germinación mayor (Rodríguez-Trejo et al., 2019).

De acuerdo con el análisis de regresión, los tratamientos tuvieron un comportamiento de germinación lineal y exponencial. En particular, el tratamiento C (adición de ácidos fúlvicos) obtuvo el mejor comportamiento germinativo; ello confirma que hay un incremento en el % de semillas germinadas, en proporción directa a la dosis, a una tasa de 3.87 unidades (semillas), con un R^2=0.97 de ajuste del modelo (Figura 1).

En la velocidad de geminación, los tratamientos con ácidos fúlvicos y lixiviado tuvieron el mejor comportamiento, con hasta 2.98 y 2.80 semillas geminadas día^{-1}, respectivamente. El tratamiento de AG_3 reportó la menor velocidad de geminación con 1.69 semillas germinadas por día, indicando una baja dosis suministrada.

Cuadro 2. Viabilidad y velocidad de geminación en semillas de *D. cedrosanum* sometidas a diferentes tratamientos pregerminativos.

Id de tratamiento	Germinación (%)	Velocidad de germinación (semillas germinadas día^{-1})
A	50.0	1.69
B	45.0	2.72
C	65.0	2.98
D	55.0	2.80
E	70.0	2.38
F	62.5	1.83

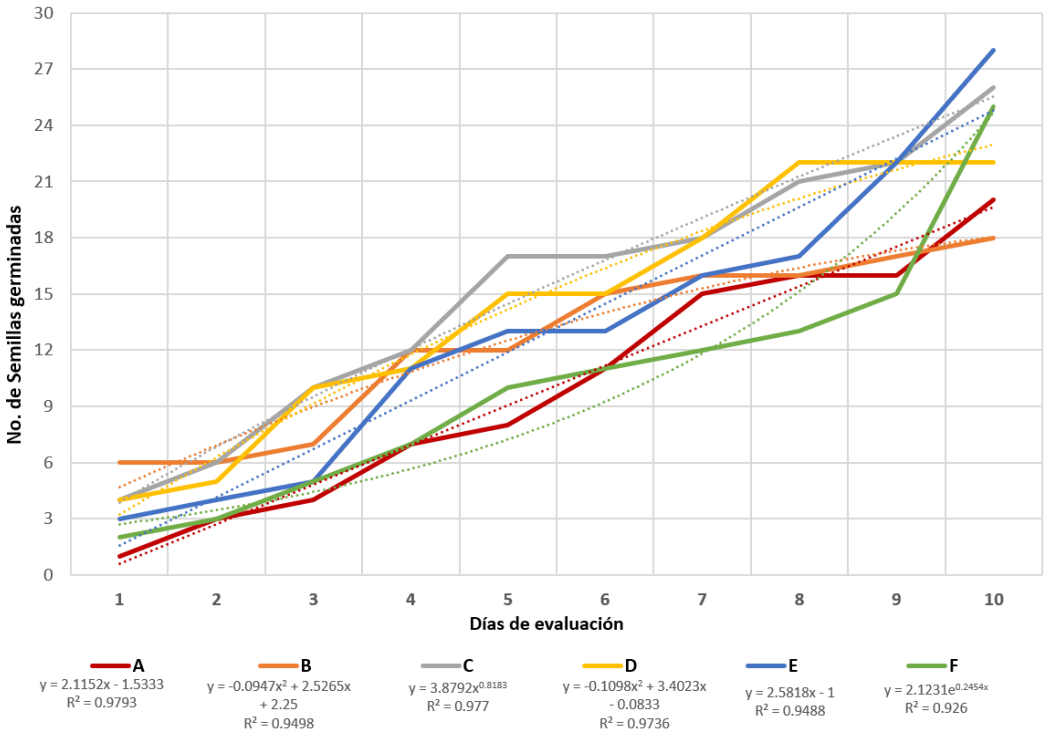


Figura 1. Comportamiento germinativos de semillas de *D. cedrosanum* como respuesta a regímenes térmicos y químicos pregerminativos.

Respecto a la aplicación de ácidos fúlvicos, los tratamientos en inmersión con el ácido fúlvico 4 g L^{-1} de agua y el lixiviado de lombricomposta, indican resultados promisorios para esta especie, ya que el porcentaje de geminación osciló en 65 y 55%, respectivamente; estudios previos sugieren que la aplicación de bioinsumos en base de ácidos húmicos y fúlvicos promueven un mayor porcentaje e índice de germinación, además de un mejor desarrollo radicular de plántulas en algunas especies de plantas (Maestre et al., 2024).

En particular, en semillas de sotol (*D. cedrosanum*), se ha comprobado que el ácido fúlvico en concentraciones elevadas promueve el índice de velocidad de emergencia de manera significativa y confirma el efecto positivo de estas moléculas orgánicas en la promoción fisiológica de la semilla (Cruz-López, 2011). Este resultado muestra que el ácido fúlvico puede mejorar la germinación y vigor en especies nativas de zonas áridas.

La germinación de las semillas con tratamiento bajo inmersión en agua caliente obtuvo un 70%, este porcentaje obtenido es similar a lo encontrado por Rodríguez-Trejo et al*.* (2019), donde las semillas que contenían brácteas alcanzaron un máximo de 22.3 % de germinación y para aquellas que si fueron escarificadas alcanzó 94.3%, este mismo autor afirma que las especies de *Dasylirion* mejoran su germinación si se remueven las brácteas, por lo que estas pueden interferir en su latencia, pero el que sea de tipo física queda a un lado, debido a que esta estructura no es rígida, ni impermeable, por lo que existe una alta probabilidad de que sea por químicos inhibidores (latencia química), que en el medio natural durante las primeras lluvias son removidos lo que facilita su germinación aunado a la humedad almacenada; estrategia presente en especies del desierto.

Conclusiones

El mejor tratamiento pregerminativo en *D. cedrosanum* fue el térmico bajo inmersión en agua caliente a 60°, con un total de 28 semillas germinadas, equivalente al 70% de germinación. Ello confirma que los tratamientos pregerminativos usando agua caliente, inhiben la latencia en esta especie. Los resultados obtenidos en los tratamientos con los ácidos fúlvicos y el lixiviado de lombricomposta, son promisorios para especies con características a las del sotol, ya que la velocidad de geminación fue superior respecto a los otros, registrando más de 2.8 semillas germinadas por día. También, se sugiere que la semilla tiene una latencia química condicionada a inhibidores que pueden ser diluidos a altas temperaturas o ante la presencia de giberelinas.

Referencias

Cruz-López, H. F. (2011). Efecto en la capacidad fisiológica en semillas de sotol (Dasylirion cedrosanum Trel.), con aplicación de bioreguladores [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Saltillo, México.

IMPI. (2002). Declaración de protección a la denominación de origen sotol. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. Diario Oficial https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/494502/DO.Sotol.08.08.2002.pdf

López-Serrano, P. M., Hernández-Ramos, A., Méndez-González, J., Martínez-Salvador, M., Aguirre-Calderón, O., Vargas-Larreta, B., & Corral-Rivas, J. J. (2021). Mejores prácticas de manejo y ecuaciones alométricas de biomasa de Dasylirion cedrosanum Trel., en los estados de Coahuila y Durango. Proyecto 2017-4-292674. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) – Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). México.

Maestre, R. B., Acuña, R. S., & Marcano, G. R. (2024). Germinación de semillas de leguminosas inoculadas con diferentes dosis de bioinsumos. *Revista Espamciencia*, *15*(1), 54-63.

Ortiz-López, A., Velasco-Velasco, V. A., Martínez-Gutiérrez, G. A., Campos-Angeles, G. V., & Rodríguez-Ortiz, G. (2024). Potencial germinativo de Dasylirion spp. como respuesta a regímenes térmicos pregerminativos: Germinación de semillas de Dasylirion spp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *11*(3). https://doi.org/10.19136/era.a11n3.4005

Rodríguez-Trejo, D. A., García Pascual, E., Quiahua Barrera, L., & Reyes Valdovinos, E. Y. (2019). Germinación de semillas de Dasylirion lucidum Rose y Beaucarnea gracilis Lemaire de matorral xerófilo. *Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento*, *7*(20), 1-12. https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2019.20.68365

Ruiz-Flores, S. I., & Castro-Castro, A. (2024). Distribución, riqueza, endemismo y conservación del género Dasylirion. *Acta Botánica Mexicana*, *131*, 1–20.

Toribio-Ferrer, L. M., Aguirre-Calderón, O. A., González-Tagle, M. A., Jiménez-Pérez, J., Morán-Martínez, A. L., Villavicencio-Gutiérrez, E. E., & Alanís-Rodríguez, E. (2026). Distribución potencial y estabilidad del nicho climático de Dasylirion cedrosanum Trel. ante escenarios de cambio climático en el norte de México. *e-CUCBA*, *28*(13).

Villarreal-Gándara, Á. A., Villalobos-Cano, O., Guigón-López, C., Morales Nieto, C. R., Grijalva-Martínez, I., Contreras-Martínez, R., & Díaz Plascencia, D. (2026). Evaluation of germination and germination velocity in sotol (Dasylirion spp.) through physical and chemical treatments in the face of natural scarcity scenarios. *Scientific Culture*, *12*(4), 4896–4904. https://doi.org/10.5281/zenodo.12426537

EFECTO DE DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA SOBRE LA RESPUESTA FOTOBLÁSTICA DE BONETE DE OBISPO (*Astrophytum myriostigma*)

Perla Anahí Flores-Reyes[1*], Julio Cesar Herrera-Nava[1], Luis Gerardo Yáñez-Chávez[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Km. 40 Carretera Gómez Palacio - Chihuahua. CP. 35230 Bermejillo, Durango. *Autor de correspondencia: al22102229@chapingo.mx

Introducción

A nivel mundial existen más de mil 400 especies de cactáceas. Nuestro país alberga 669, de las cuales 518 son endémicas. Ello coloca a México en el primer lugar con estas especies de cactáceas (PROFEPA, 2019). Bajo este escenario se desarrolla *Astrophytum myriostigma*, una especie comúnmente conocida como “Birrete o bonete de obispo” distribuida en el Desierto Chihuahuense, y reconocida por ser una especie endémica de México (PROFEPA, 2019). Esta especie está incluida en la NOM-059-SEMARNAT-2010 dentro de la categoría de Amenazada (A) (SEMARNAT, 2010). Los individuos de *A. myriostigma* están siendo extraídos para su uso como plantas de ornato, llevando a la disminución de las poblaciones e incluso a la desaparición de una población entera en la que su hábitat se fragmentó por su colecta indiscriminada, actividades mineras, cambio en el uso de suelo y la introducción de especies exóticas (Sánchez-Salas et al. 2006; Jiménez-Sierra, 2011). Además de las amenazas externas, *A. myriostigma* enfrenta limitaciones biológicas propias que incrementan su vulnerabilidad. Entre ellas destacan su crecimiento lento, sus ciclos de vida prolongados y su reducida capacidad de reclutamiento, factores que ocasionan que sus poblaciones se restablezcan demográficamente de manera muy lenta después de una perturbación. A esto se suman sus patrones de distribución restringidos, los cuales aumentan el riesgo de supervivencia frente a alteraciones locales (Salas-Cruz et al., 2018). Ante este panorama, resulta urgente implementar estrategias de conservación y propagación que contribuyan a la permanencia de la especie, especialmente mediante enfoques que fortalezcan su reproducción controlada y su conservación ex situ (Jiménez-Sierra, 2011). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar la influencia de diferentes longitudes de onda de luz sobre la respuesta germinativa de semillas de *A. myriostigma*, con énfasis en la caracterización de su comportamiento fotoblástico, a fin de generar información útil para estrategias de propagación y conservación de la especie.

Materiales y métodos

Las semillas corresponden a frutos maduros adheridos a la planta y sin presentar dehiscencia, provenientes de plantas ubicadas en el Jardín Botánico E.N.A., actualmente registrado como Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) SEMARNAT-UMA-IN-0468-DGO, en las coordenadas 25° 51’ 35’ de latitud norte y 106° 28’ 12’ de longitud oeste y una elevación sobre el nivel del mar de 1120 m. Se utilizaron semillas provenientes de dos colectas realizadas en 2025.
Antes de la siembra, se realizó la desinfección de 500 semillas en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 10 % (v/v), durante un periodo de 10 minutos. Posteriormente, fueron enjuagadas con agua destilada con la finalidad de eliminar cualquier residuo de la solución desinfectante que pudiera haber quedado en su superficie.

Las semillas fueron sembradas el 19 de agosto del 2026 y colocadas sobre papel absorbente dentro de cajas Petri estériles para su germinación. Con la finalidad de prevenir la aparición de hongos durante los primeros tres días, se aplicó fungicida Captan a una concentración de 3 g L^{-1} de agua mediante un atomizador. Posteriormente, los riegos se realizaron únicamente con agua destilada.

Con el propósito de evaluar la respuesta germinativa de *A. myriostigma* bajo diferentes condiciones de iluminación, los tipos de luz se implementaron a través de cámaras de germinación que se construyeron con pared y techo de madera (55 cm de largo, 30 de ancho y 40 cm de alto; 1 cm de grosor) con la adaptación de lámparas Led Full Spectrum Grow de 61 cm colocadas sobre el techo; a una temperatura ambiente promedio (24-26 ºC).

La germinación de las semillas se evaluó durante un periodo de 30 días consecutivos. Se realizó un conteo diario de las semillas germinadas, efectuando las evaluaciones a la misma hora para mantener condiciones de observación uniformes. Se consideró como semilla germinada aquella en la que se observó la emergencia de la radícula de manera visible. Se establecieron 5 tratamientos con 10 repeticiones cada uno, cada caja Petri representó a una unidad experimental independiente en un diseño de bloques al azar. Se utilizaron 10 semillas por repetición, para un total de 100 semillas por tratamiento (Cuadro 1).

Se evaluaron variables asociadas a la respuesta germinativa de *A. myriostigma* bajo diferentes condiciones de luz: Porcentaje de germinación acumulada y la velocidad de germinación (Ecuación 1).

$$VG = \Sigma \frac{(ni)}{t} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde: VG=Velocidad de germinación; ni= número de semillas germinadas en el día; t= tiempo de germinación acumulada desde la siembra hasta la germinación de la última semilla.

Cuadro 1. Tratamientos de diferentes longitudes de onda sobre la respuesta fotoblástica en *A. myriostigma.*

Id. del Tratamiento	Descripción	Longitud de onda (nm) [z]
T0	Testigo (sin efecto de luz)	0
TB	Tratamiento con luz blanca	≈ 400–700
TR	Tratamiento con luz roja	≈ 620–660
TA	Tratamiento con luz azul	≈ 405–470
TRA	Tratamiento con luz roja y azul	≈ 405–660

[z] Escala adaptada de acuerdo con Meisel et al., 2011.

Resultados y discusión

La dinámica germinativa de *A. myriostigma* presentó una curva de tipo sigmoidal característica en todos los tratamientos evaluados (Figura 1). Esta dinámica se compuso de tres fases diferenciadas: una fase de latencia o imbibición inicial (días 1 a 3), una fase exponencial con un marcado incremento germinativo (días 3 a 7) y una fase de estabilización o meseta a partir del día 8.

Se observaron variaciones notables en la velocidad y el porcentaje acumulado de germinación en función de la cualidad de la luz: TR y TRA, promovieron la respuesta germinativa más acelerada y eficiente. En ambos tratamientos se alcanzaron los mayores porcentajes finales de germinación (> 95 %) en el menor tiempo registrado, logrando la meseta de estabilización antes del día 8; TA y T0, mostraron una tasa germinativa intermedia. Aunque alcanzaron porcentajes acumulados elevados hacia el final del periodo de evaluación (30 días), la velocidad de inicio y el ritmo de incremento diario fueron sensiblemente menores en comparación con TR y TRA; y TB, presentó un inicio germinativo ligeramente más tardío en la fase exponencial, estabilizándose de forma gradual en un porcentaje germinativo acumulado intermedio (~93 %).

De acuerdo con el análisis de regresión, los tratamientos tuvieron un comportamiento de germinación logarítmica positiva. En particular, el tratamiento TR obtuvo el mejor comportamiento germinativo; ello confirma que hay un incremento en el % de semillas germinadas, en proporción directa al aumento en la luz (nm), a una tasa de 13.3 unidades (semillas), con un R^2=0.70 de ajuste del modelo (Figura 1).

En la velocidad de geminación, los tratamientos con la exposición a luz roja (TR) y luz roja-azul (TRA) tuvieron el mejor comportamiento, con hasta 6.5 semillas geminadas día^{-1}. El tratamiento testigo (oscuridad) reportó la menor velocidad de germinación con 4.9 semillas germinadas por día, indicando una baja respuesta bajo esta condición (Cuadro 2).

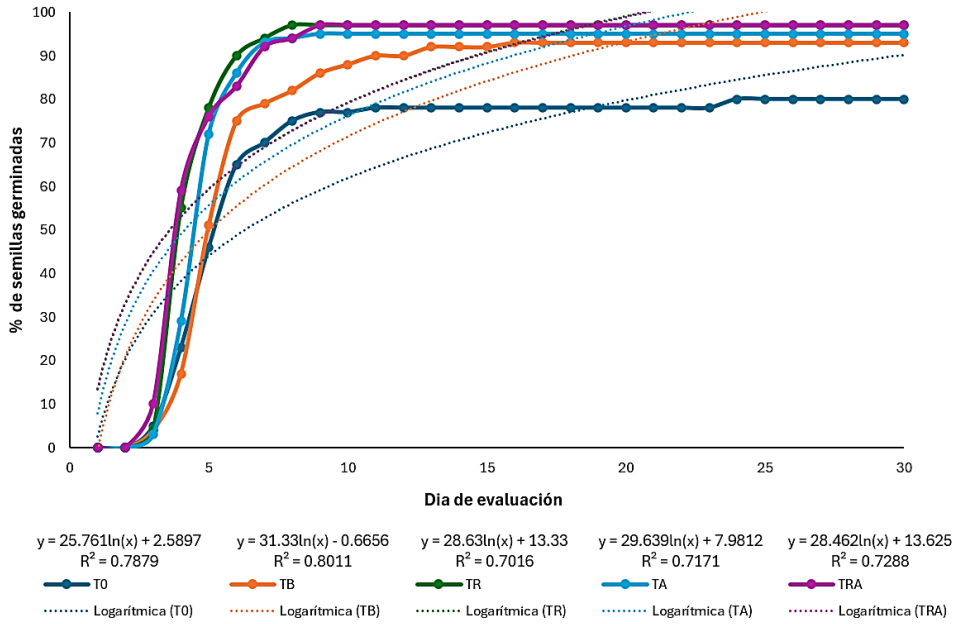


Figura 1. Comportamiento germinativo de semillas de *A. myriostigma* bajo diferentes tratamientos sobre la exposición de diferentes longitudes de onda.

Cuadro 2. Viabilidad y velocidad de geminación en semillas de *A. myriostigma* sometidas a diferentes tratamientos sobre la exposición de diferentes longitudes de onda.

Id de tratamiento	Germinación (%)	Velocidad de germinación (semillas germinadas día^{-1})
T0	80.0	4.9
TB	93.0	5.6
TR	97.0	6.5
TA	95.0	6.1
TRA	97.0	6.5

El comportamiento observado confirma la condición de fotoblastismo positivo preferencial en *A. myriostigma*, donde la presencia de radiación en el espectro del rojo estimula significativamente el fitocromo activo (P_{fr}), desencadenando los procesos metabólicos que aceleran la emergencia de la radícula (Meisel et al., 2011). Estos hallazgos concuerdan con lo documentado por Hernández-Aguilar y Collazo-Ortega (2007), quienes señalaron mayor velocidad y porcentaje de germinación en *A. myriostigma* bajo condiciones de iluminación rica en espectros rojos frente a la oscuridad o luz atenuada.

Conclusiones

Las semillas de *A. myriostigma* responden de forma diferencial a las distintas longitudes de onda del espectro visible, confirmando una clara preferencia fotoblástica positiva hacia la radiación roja y combinada (roja/azul). La exposición a luz roja (TR) y luz roja-azul (TRA) optimiza sensiblemente el proceso germinativo al acortar el tiempo necesario para alcanzar el máximo porcentaje de germinación (estabilización en < 8 días con germinación superior al 95 %). La utilización de iluminación LED en espectros específicos (rojo/azul) representa una herramienta biotecnológica eficiente para acelerar la reproducción propagativa de *A. myriostigma* en viveros y bancos de germoplasma, reduciendo los tiempos de cultivo inicial y aumentando la eficiencia en programas de conservación y reforestación de esta especie amenazada.

Referencias

Gibson, A. y P. Nobel. 1986. The cactus primer. Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachusetts. 286 pp.

Hernández-Aguilar, A., & Collazo-Ortega, M. (2007). Respuesta germinativa a la luz y temperatura de plantas de *Astrophytum myriostigma* Lemaire (Cactaceae) mantenidas en invernadero. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, *52*(4), 109–117

Jiménez-Sierra, C. L. (2011). Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria*, *12*(1).

Meisel, L. A., Urbina, D. C., & Pinto, M. E. (2011). Fotorreceptores y respuestas de plantas a señales lumínicas. *Fisiología vegetal. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile*, *18*, 1-10.

Salas-Cruz, L. R., Foroughbakhch-Pournabav, Díaz-Jiménez., L., L., & Ngangyo-Heya, M. (2018). Growth and survival of endemic cacti under different substrate types and sun exposures for their optimal establishment in northeastern Mexico. *Diversity*, *10*(4), 121. https://doi.org/10.3390/d10040121

Sánchez-Salas, Jaime, Flores, Joel, & Martínez-García, Erla. (2006). Efecto del tamaño de semilla en la germinación de *Astrophytum myriostigma* Lemaire. (CACTACEAE), Especie amenazada de extinción. *Interciencia*, *31*(5), 371-375. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037818442006000500009&lng=es&tlng=es

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental—Especies nativas de México de flora y fauna silvestres—Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio—Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación.

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. (2020, 2 de enero). Acciones y resultados de protección a biznagas en 2019. Gobierno de México. https://www.gob.mx/profepa//articulos/acciones-y-resultados-de-proteccion-a-biznagas-en-2019?idiom=es

RESPUESTA MORFOMÉTRICA DE PLÁNTULAS DE *Kroenleinia grusonii* BAJO LA ADICIÓN *in vitro* DE REGULADORES DE CRECIMIENTO VEGETAL

Luis Gerardo Yañez-Chávez[1], Mayela Rodríguez-González[2], David Daniel Acosta-Rodríguez[3], Marco Andrés López-Santiago[1], Sahara Xolocotzi-Acoltzi[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Km. 40 Carretera Gómez Palacio - Chihuahua. CP. 35230 Bermejillo, Durango. 2Universidad Abierta y a Distancia de México (UnADM). CP 03330 Ciudad de México. 3Egresado de la Ingeniería en Sistemas Agrícolas de la URUZA-UACh. *Autor de correspondencia: yachgl@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Las cactáceas han sido motivo de atención en nuestro país desde tiempos remotos, la historia y el folklore registran que en la vida económica, social y religiosa de grupos prehispánicos desempeñaban un papel importante (Alanís & Velazco, 2008). México es el país con más especies amenazadas (197 especies) las cuales representan 35% del total de las especies mexicanas. Particularmente, *Kroenleinia grusonii*, cactus endémico de México conocido como "bola de oro", se encuentra enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y catalogada en peligro de extinción (DOF, 2010). Así mismo, la Lista Roja de la IUCN la coloca como amenazada, debido a la pérdida de hábitat, el saqueo ilegal para ser utilizadas como fuente de alimento y ornato, además de presentar crecimiento lento y bajos porcentajes de germinación (IUCN, 2026). El cultivo *in vitro* y el uso de reguladores de crecimiento vegetal representan una alternativa viable para su propagación masiva y conservación, ya que permite controlar diversos factores abióticos como la intensidad de luz, temperatura, humedad, entre otros, facilitando la propagación de plantas (Osuna-Ávila et al., 2025). Una estrategia eficaz para estimular la germinación de las semillas y el desarrollo inicial de las plántulas consiste en la aplicación de tratamientos químicos con reguladores del crecimiento vegetal. Debido a que las concentraciones fisiológicas de estas fitohormonas pueden actuar como promotoras o inhibidoras de ambos procesos (Cueva y Lucero, 2018). Por lo cual, resulta indispensable evaluar el efecto de dichos tratamientos sobre la germinación y el desarrollo morfológico de *K. grusonii* en condiciones controladas.

Materiales y métodos

Se utilizaron semillas correspondientes a frutos maduros adheridos a la planta y sin presentar dehiscencia, provenientes de individuos de *K. grusonii* ubicados en el Jardín Botánico E.N.A., actualmente registrado como Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) SEMARNAT-UMA-IN-0468-DGO, en las coordenadas 25° 51’ 35’ de latitud norte y 106° 28’ 12’ de longitud oeste y una elevación sobre el nivel del mar de 1120 m. Los frutos utilizados se obtuvieron de una colecta realizada en octubre del 2025. Las semillas se extrajeron de los frutos colectados y se almacenaron en frascos de vidrio a temperatura ambiente y oscuridad, durante 5 meses. Se manipularon sólo las semillas consideradas como viables (morfología normal, completas, testa entera, coloración característica de acuerdo a la especie), por observación con un microscopio estereoscópico y enseguida por el método de flotación, que consistió en colocar las semillas en un vaso de precipitado conteniendo agua destilada; las semillas de mayor peso y asentadas en el fondo del vaso fueron utilizadas, mientras que las semillas flotantes, con aparente ausencia de embrión no fueron consideradas para el experimento.

Adicionalmente, se realizó un proceso de desinfección de las semillas en una mezcla de hipoclorito de sodio (NaClO) al 10% durante diez minutos. Posteriormente, se enjuagaron con agua destilada para eliminar los residuos de suelo o materia orgánica y llevar a cabo la siembra en condiciones asépticas. Las semillas desinfectadas fueron sembradas en una cámara de flujo laminar (Labconco, USA) el 5 de marzo de 2026, la siembra fue en frascos de vidrio que contenían 25 ml de medio de cultivo (MS: Murashige y Skoog, 1962). Se sembraron un total de 100 semillas por tratamiento, con un marco de siembra de 10 frascos x 10 semillas; cada frasco correspondió a una repetición. Al finalizar la siembra, los frascos fueron tapados y sellados con papel emplaye e incubados en cámara de cultivo a 25±1 °C y con tipo de luz blanca (≈ 110 lm; ≈ 400–700 nm), con un fotoperiodo de 12 horas luz y 12 horas oscuridad.

El experimento consistió en cinco tratamientos formulados a partir del medio basal Murashige y Skoog (MS): el tratamiento control (sin fitorreguladores) y cuatro medios adicionados con reguladores del crecimiento vegetal: AG_3 puro, AG_3 comercial al 90%, ácido indolacético (AIA) y Benciladenina (BAP) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en el experimento.

Tratamiento	Clave	Fitohormona	Dosis
1	AG_3 100%	AG_3 puro	100 mg L^{-1}
2	AG_3 90%	AG_3 comercial	0.5 mg
3	AIA	Ácido Indolacético	3 mg L^{-1}
4	BAP	Benciladenina	3 mg L^{-1}
5	TEST	Sin fitohormona	--

El proceso de germinación de semillas a formación de plántulas fue evaluado cada cinco días durante 60 días después de la siembra. La técnica de evaluación consistió en observación directa, considerando el inicio de la germinación a partir del rompimiento de la testa, cuando se observó presencia de la radícula de 2 mm. Enseguida, se midió la longitud radicular (cm), longitud y diámetro de plúmula (cm), longitud de plántula (cm) y composición botánica de los órganos vegetativos radícula-plúmula (%); estas lecturas se recabaron a los 60 días después de la siembra; la medición biométrica se realizó con una regleta en cm y un microscopio estéreo digital 10x (Marca KONUS, Modelo 5024).

Los datos fueron sometidos a un análisis de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, posteriormente se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA; $p \leq 0.05$) para identificar diferencias significativas entre tratamientos. Se utilizó el programa SAS (Statistical Analysis System, para Windows Versión 9.1), y se calculó la diferencia mínima significativa (DMS de Tukey, $p \leq 0.05$) para la comparación de medias.

Resultados y discusión

En la evaluación de la longitud de radícula, el tratamiento control (TEST) presentó el valor estadísticamente mayor ($p \leq 0.05$), superando los 1.10 cm. Le siguieron los tratamientos con ácido giberélico AG_3 90% y AG_3 100%, los cuales no mostraron diferencias estadísticas significativas entre sí, con valores oscilando entre 0.80 cm y 0.95. Por el contrario, las adiciones de AIA y BAP ejercieron un efecto inhibitorio sobre la elongación radicular, registrando BAP el promedio más bajo (<0.50 cm) (Figura 1).

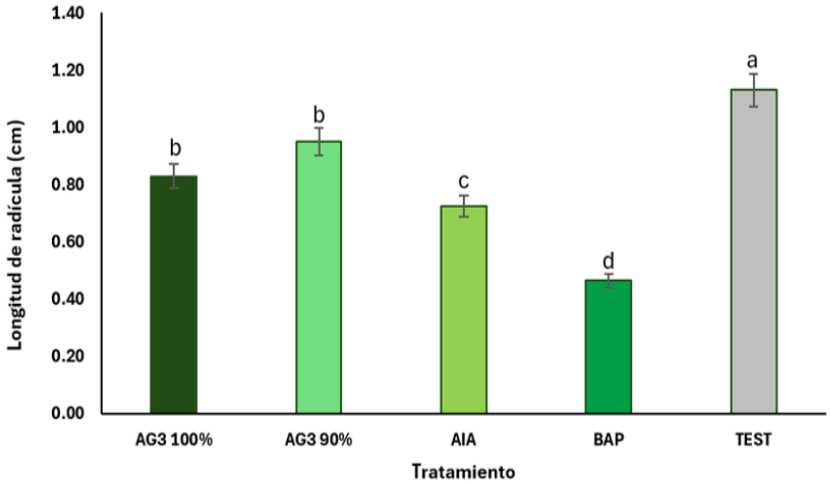


Figura 1. Longitud de radícula en semillas de *K. grusonii* germinadas bajo cinco tratamientos evaluados. Barras con diferentes letras, son estadísticamente diferentes (p≤0.05).

En lo relativo a la longitud de plúmula, el tratamiento suplementado con AG_3 90% sobresalió de manera significativa respecto al resto de las evaluaciones, alcanzando una longitud media superior a 1.10 cm. Los tratamientos AG_3 100% y TEST no mostraron diferencias significativas entre sí, promediando aproximadamente 0.85 cm. La adición de AIA y BAP limitó sensiblemente el desarrollo de la plúmula, manteniéndose BAP como el tratamiento con menor respuesta (0.45 cm) (Figura 2).

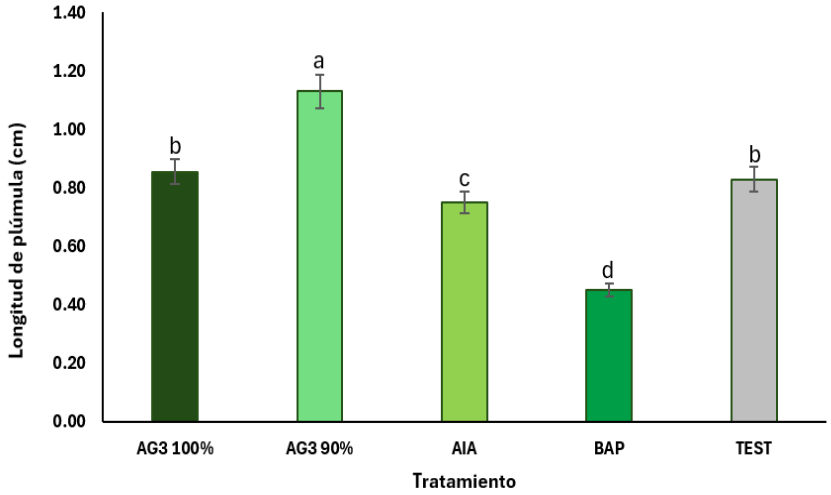


Figura 2. Longitud de plúmula de *K. grusonii* germinadas bajo cinco tratamientos evaluados. Barras con diferentes letras, son estadísticamente diferentes (p≤0.05).

Respecto a la longitud total de la plántula (integración del eje radícula-plúmula), la tendencia fisiológica reflejó el patrón observado en los componentes individuales. El tratamiento AG3 90% promovió el mayor crecimiento total acumulado (>2.0 cm) con un desempeño estadísticamente equivalente al grupo testigo (TEST). Por su parte, AG_3 100% y AIA mostraron valores intermedios (1.70 y 1.50 cm, respectivamente), mientras que BAP restringió drásticamente el desarrollo integral de las plántulas, registrando valores inferiores a 1 cm (Figura 3).

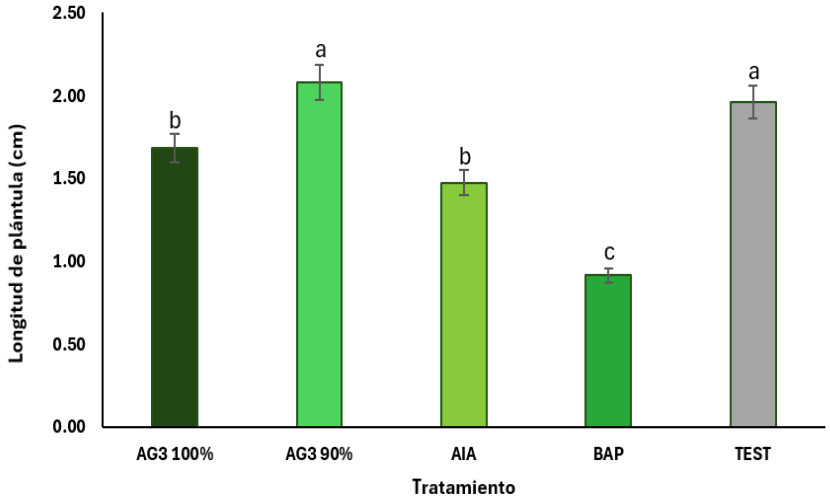


Figura 3. Longitud de plántula de *K. grusonii* germinadas bajo cinco tratamientos evaluados. Barras con diferentes letras, son estadísticamente diferentes (p≤0.05).

El análisis proporcional de la zona radicular respecto al volumen biológico de la plántula evidenció que los tratamientos con fitorreguladores (AG_3 100%, AG_3 90%, AIA y BAP) no presentaron diferencias estadísticas significativas entre sí, manteniendo una proporción radicular de entre 45% y 50%. Únicamente el tratamiento testigo (TEST) mostró una diferencia estadística superior (p≤0.5), destinando cerca del 60% de su estructura vegetal a la zona radicular (Figura 4). Este comportamiento sugiere que, en ausencia de fitohormonas exógenas, las plántulas de *K. grusonii* priorizan la inversión energética hacia el establecimiento del sistema radicular para optimizar la absorción de nutrientes.

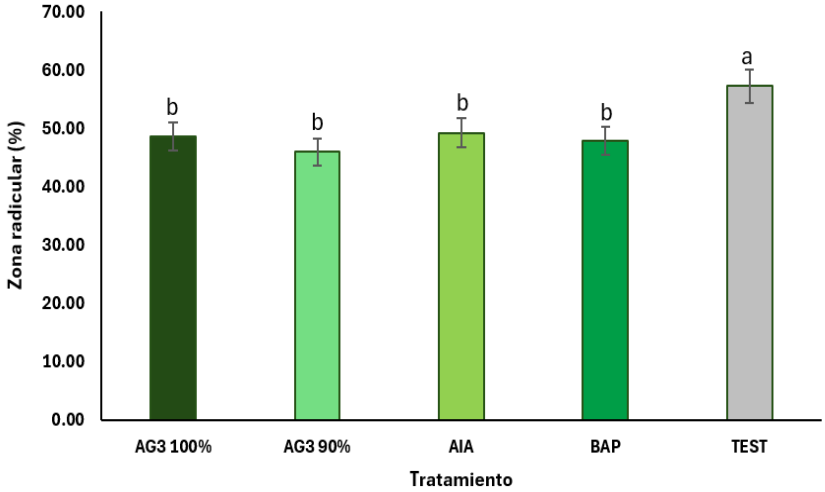


Figura 4. Porcentaje de zona radicular en plántulas de *K. grusonii* germinadas bajo cinco tratamientos evaluados. Barras con diferentes letras, son estadísticamente diferentes (p≤0.05).

Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por Gómez-Serrano et al. (2021), quienes señalan que el uso de reguladores del crecimiento vegetal *in vitro* acelera el desarrollo en especies del género Echinocactus. Asimismo, coinciden con las observaciones de Cano-Macías et al. (2025), quienes indican que dosis moderadas de AG_3 estimulan el desarrollo aéreo de la planta, mientras que concentraciones inadecuadas o el uso exógeno de ciertos fitorreguladores en etapas iniciales pueden ralentizar la elongación o alterar la proporción morfométrica de los órganos vegetativos.

Conclusiones

La adición *in vitro* de ácido giberélico a menor concentración comercial (AG3 90%) promueve eficazmente la elongación de la plúmula y el crecimiento total de la plántula de K. grusonii, superando los 2 cm de longitud total. En ausencia de fitohormonas exógenas (medio basal MS), K. grusonii prioriza el desarrollo radicular, obteniendo la mayor longitud (>1.10 cm) y proporción morfométrica. La adición exógena de BAP y AIA en la etapa de germinación y establecimiento temprano limita la elongación morfológica de las plántulas, por lo que su inclusión debe diferirse hacia fases posteriores de micropropagación o multiplicación de brotes. El protocolo in vitro evaluado constituye una herramienta eficiente para la propagación y conservación de K. grusonii, especie catalogada en peligro de extinción, optimizando el aprovechamiento de semillas bajo condiciones controladas.

Referencias

Alanís, G., & Velazco, C. (2008). Importancia de las cactáceas como recurso natural en el noreste de México. *Ciencia UANL*, XI (001), 5-11.

Cano-Macías, F., Vélez-Chávez, J., Vélez-Chávez, A., & Alvarado-Salvador, R. (2025). Efecto del ácido giberélico en la germinación de semillas y desarrollo de las plantas. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 20(2), 85. https://doi.org/10.18378/rvads.v20i2.11213

Cueva J., S. y Lucero M., H. P. (2018). Evaluación de los reguladores de crecimiento (Kinetina y Ácido giberélico) para acelerar la germinación de *Gynoxys verrucosa*. *Bionatura*. 3(4). DOI. 10.21931/RB/2018.03.04.8

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019&print=true

Gómez-Serrano, G., Martínez, J., Arreguín-Sánchez, M. L., & García Ochoa, F. (2021). Germinación y crecimiento de *Echinocactus platyacanthus* link & Otto (Cactaceae). *Polibotánica*, (52), 117-133. https://doi.org/10.18387/polibotanica.52.9

International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2026). *The IUCN Red List of Threatened Species* (Version 2026-1). https://www.iucnredlist.org/

Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, 15(3).

Osuna-Ávila, P., Flores-Margez, J. P., & García-González, D. A. (2025). Efecto de tratamientos pregerminativos y peso de la semilla en la germinación in vitro de *Kroenleinia grusonii* (Cactaceae). *Acta botánica mexicana*, (132). https://doi.org/10.21829/abm132.2025.2414

TENDENCIAS CIENCIOMÉTRICAS EN LA SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS MEDIADA POR *Opuntia* spp.

Sandra Ivette Martínez-Orona[1], Sandra Patricia Maciel-Torres[1]*, Karen Pamela Maciel-Torres[1], Lorenzo Danilo Granados-Rivera[2]

[1] Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango, México. [2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, México. *Autor de correspondencia: smacielt@chapingo.mx

Introducción

La nanotecnología comprende la manipulación de materiales a escala nanométrica, generalmente entre 1 y 100 nm, rango en el que pueden manifestarse propiedades ópticas, químicas, físicas, eléctricas, magnéticas y biológicas diferentes de aquellas observadas en los materiales a escala macroscópica (Joudeh & Linke, 2022). Estas características han favorecido el desarrollo y aplicación de nanomateriales en diversos campos científicos y tecnológicos. Sin embargo, algunos métodos convencionales empleados para su obtención pueden implicar costos económicos y ambientales elevados, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas de fabricación más sostenibles. Entre ellas, la síntesis verde utiliza organismos o materiales de origen biológico como agentes reductores y estabilizantes y ofrece ventajas relacionadas con rentabilidad, biocompatibilidad, versatilidad y sostenibilidad ambiental (Jadoun et al., 2021).

Los extractos vegetales constituyen una alternativa de interés para la síntesis verde debido a que las plantas contienen diversos compuestos fitoquímicos con actividad biológica. La producción y acumulación de algunos de estos metabolitos puede estar relacionada con respuestas fisiológicas frente a condiciones de estrés biótico y abiótico (Nam et al., 2023). Dentro de las cactáceas, el género Opuntia comprende entre 150 y 300 especies distribuidas en América Latina, Estados Unidos, la región mediterránea, Sudáfrica, Medio Oriente y Australia (Chahdoura et al., 2024; Shoukat et al., 2023).

En México, Opuntia posee además relevancia histórica, alimentaria y productiva. Sus cladodios jóvenes y frutos son consumidos directamente o transformados en productos como harinas, mermeladas y jugos; adicionalmente, los cladodios han sido utilizados con fines terapéuticos, como forraje y en aplicaciones tradicionales relacionadas con la construcción (Gaona et al., 2024; Mirón-Mérida et al., 2025). Esta diversidad de usos, aunada a las características fitoquímicas del género, ha favorecido su consideración como materia prima para la obtención de nanomateriales mediante procesos de síntesis verde.

A pesar del creciente interés en la síntesis de nanopartículas mediada por extractos de especies de Opuntia, resulta necesario caracterizar la evolución y estructura de la producción científica generada alrededor de esta temática. El análisis cienciométrico permite examinar cuantitativamente los metadatos de la literatura científica e identificar patrones relacionados con productividad, colaboración y desarrollo temático. Por ello, el objetivo del presente estudio fue analizar la producción científica relacionada con la síntesis verde de nanopartículas a partir de especies del género Opuntia, considerando su evolución temporal, productividad de autores e instituciones, coocurrencia de términos y redes de colaboración científica.

Materiales y métodos

La búsqueda bibliográfica se realizó en enero de 2026 en Scopus, PubMed, SciELO y Web of Science. Se empleó la combinación ("opuntia" OR "nopal" OR "cactus" OR "prickly pear") AND ("nanoparticles" OR "nanomaterials") AND ("green synthesis" OR "biosynthesis"); para SciELO se utilizaron términos equivalentes en español. No se establecieron restricciones de fecha. El proceso de identificación y selección de documentos fue documentado siguiendo el marco PRISMA 2020 (Page et al., 2021).

La búsqueda recuperó 269 registros: 64 en Scopus, 141 en PubMed, dos en SciELO y 62 en Web of Science. Los registros fueron exportados e integrados en una base de datos, considerando autores, título, año, DOI, revista, resumen, palabras clave, tipo de documento y base de procedencia. Después de eliminar 44 duplicados, se examinaron 225 registros y posteriormente se evaluó la elegibilidad de 218 textos completos. Se incluyeron investigaciones originales directamente relacionadas con la síntesis verde de nanopartículas mediante extractos derivados de tejidos de especies vegetales del género Opuntia y se excluyeron documentos sin relación directa con la temática, artículos de revisión y trabajos presentados en congresos. El corpus final estuvo constituido por 57 documentos.

El análisis cienciométrico se realizó mediante el paquete Bibliometrix versión 5.2.1 y su interfaz Biblioshiny, con los cuales se examinó la evolución temporal de la producción científica, productividad de autores e instituciones, redes de colaboración y estructura temática. Complementariamente, los registros fueron procesados mediante VOSviewer versión 1.6.20 para analizar la coocurrencia de términos y las redes de colaboración.

Resultados y discusión

El corpus analizado comprendió 57 documentos publicados entre 2010 y principios de 2026 en 48 fuentes científicas. La antigüedad promedio de los documentos fue de 5.21 años y se registró un promedio de 16.77 citas por documento. Participaron 258 autores, con 5.58 coautores por publicación y 8.77 % de coautoría internacional. Para el periodo 2010–2025 se estimó una tasa de crecimiento anual de 18.02 %, evidenciando una expansión reciente de la producción científica en esta área.

Cuadro 1. Indicadores generales de la producción científica sobre síntesis verde de nanopartículas mediada por Opuntia spp.

Indicador	Resultado
Periodo analizado	2010–2026
Fuentes	48
Documentos	57
Tasa de crecimiento anual, 2010–2025 (%)	18.02
Antigüedad promedio de los documentos (años)	5.21
Citas promedio por documento	16.77
Autores	258
Coautores por documento	5.58
Coautoría internacional (%)	8.77

Fuente: elaboración propia a partir del corpus bibliográfico analizado.

La primera publicación identificada correspondió a 2010. Durante los primeros años, la producción se mantuvo aproximadamente en un artículo anual; posteriormente se observó un incremento moderado desde 2015 y una expansión más evidente a partir de 2020. En 2025 se alcanzó el máximo del periodo con 12 trabajos. La trayectoria observada y la tasa anual de crecimiento de 18.02 % indican que se trata de un campo de investigación cuya producción se ha intensificado principalmente durante los años recientes (Figura 1).

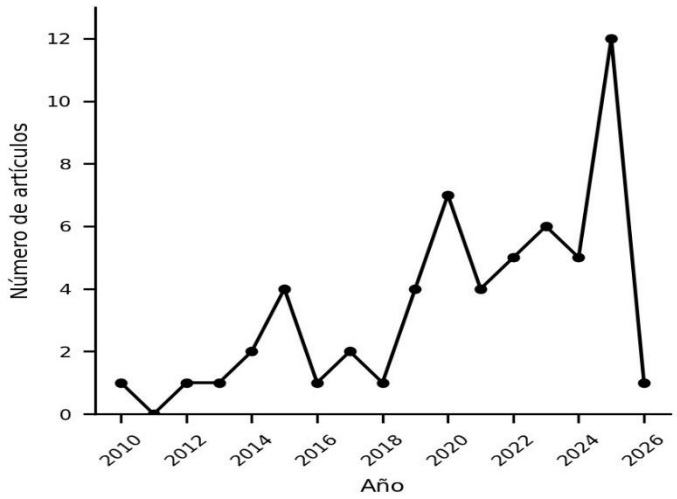


Figura 1. Producción científica anual relacionada con la síntesis verde de nanopartículas mediada por especies del género Opuntia durante 2010–2026.

El análisis de coocurrencia identificó 694 términos, de los cuales 32 alcanzaron un umbral mínimo de cinco ocurrencias; para la representación gráfica se consideraron los 25 términos con mayor fuerza de vínculo. Entre los términos destacados se encontraron green synthesis, nanoparticles, metallic nanoparticles y Opuntia ficus-indica. También se identificaron términos correspondientes a técnicas utilizadas para la caracterización de nanopartículas, entre ellas microscopía electrónica de barrido (SEM), microscopía electrónica de transmisión (TEM), espectroscopía de rayos X por dispersión de energía (EDS/EDX), espectroscopía UV-Visible, espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y difracción de rayos X (XRD) (Figura 2).

La aparición de términos como antibacterial activity y Escherichia coli evidencia la presencia de investigaciones orientadas hacia aplicaciones antimicrobianas. Asimismo, Opuntia ficus-indica fue la única especie del género explícitamente representada entre los términos incluidos en el mapa de coocurrencia. Este patrón sugiere una concentración de la investigación en esta especie y permite identificar como posible área de oportunidad el estudio de otras especies de Opuntia, particularmente considerando la elevada diversidad taxonómica reportada para el género (Chahdoura et al., 2024; Shoukat et al., 2023).

La productividad científica mostró igualmente cierto grado de concentración. Cortez-Valadez M., Flores-Acosta M. y Bocarando-Chacón J. registraron nueve, ocho y cuatro publicaciones, respectivamente. Adicionalmente, 85.25 % de los autores participó en un solo artículo y 10.85 % en dos publicaciones, lo que indica que una proporción considerable de investigadores presenta una participación puntual dentro del campo.

En relación con la estructura colaborativa, se identificaron ocho redes entre autores. La red principal estuvo asociada con Cortez-Valadez M., mientras que otros grupos permanecieron separados del núcleo principal. Este patrón, conjuntamente con el 8.77 % de coautoría internacional registrado en el corpus, muestra que existe margen para incrementar la articulación internacional entre los grupos dedicados al estudio de la síntesis verde de nanopartículas mediante Opuntia.

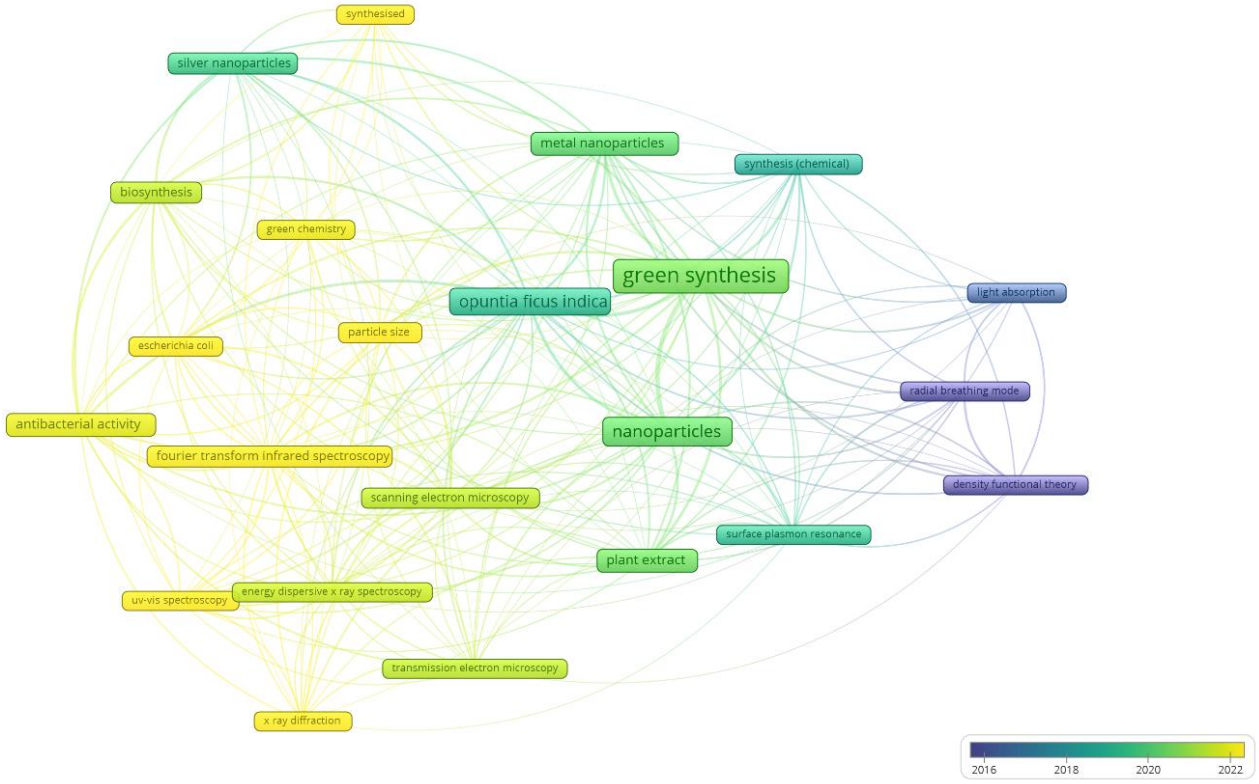


Figura 2. Un mapa de coocurrencia de palabras clave generado con VOSviewer.

A nivel institucional, la Universidad de Sonora registró 16 documentos, seguida por King Saud University con cinco; Addis Ababa Science and Technology University, Ladoke Akintola University of Technology, Universidad Autónoma del Estado de México y University of Anbar presentaron cuatro documentos cada una. La producción científica se distribuyó entre revistas vinculadas con nanotecnología, materiales, química y aprovechamiento de biomasa, lo que refleja el carácter interdisciplinario de la temática estudiada.

En conjunto, los patrones encontrados muestran un campo caracterizado por crecimiento reciente, concentración temática alrededor de la síntesis verde de nanopartículas metálicas y presencia importante de técnicas de caracterización fisicoquímica y aplicaciones antimicrobianas. La representación destacada de O. ficus-indica, frente a la diversidad conocida del género (Chahdoura et al., 2024; Shoukat et al., 2023), así como la limitada proporción de coautoría internacional, permiten reconocer oportunidades para diversificar tanto los recursos vegetales investigados como las redes científicas involucradas.

Conclusiones

La producción científica sobre síntesis verde de nanopartículas mediada por Opuntia spp. mostró una expansión reciente, particularmente a partir de 2020. La estructura temática estuvo asociada principalmente con síntesis de nanopartículas metálicas, técnicas de caracterización fisicoquímica y aplicaciones antimicrobianas. Opuntia ficus-indica presentó una posición destacada dentro del mapa de términos, mientras que otras especies del género tuvieron una representación limitada. Asimismo, la fragmentación observada entre algunas redes de autores y el reducido porcentaje de coautoría internacional muestran oportunidades para fortalecer la colaboración científica. Estos resultados permiten delimitar el desarrollo actual de esta línea de investigación y señalan como áreas de oportunidad la diversificación de especies estudiadas y una mayor integración entre grupos de investigación.

Referencias

Chahdoura, H., Mzoughi, Z., Ellouze, I., Generalić Mekinić, I., Čmiková, N., El Bok, S., Majdoub, H., Ben Hsouna, A., Ben Saad, R., Mnif, W., Mosbah, H., Ben M'hadheb, M., Garzoli, S., & Kăcániová, M. (2024). Opuntia species: A comprehensive review of chemical composition and bio-pharmacological potential with contemporary applications. South African Journal of Botany, 174. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.09.038

Gaona, E. G., Covarrubias, J. M., Lucio, R. S., Ramos, K. V. D. L., Silos-Espino, H., Perales-Aguilar, L., & Munguía, A. G. (2024). Usos y aprovechamiento de los nopales. En El Nopal: Ecofisiología del nopal en México. https://doi.org/10.46420/9786585756211cap5

Jadoun, S., Arif, R., Jangid, N. K., & Meena, R. K. (2021). Green synthesis of nanoparticles using plant extracts: A review. Environmental Chemistry Letters, 19(1), 355–374. https://doi.org/10.1007/s10311-020-01074-x

Joudeh, N., & Linke, D. (2022). Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: A comprehensive review for biologists. Journal of Nanobiotechnology, 20(1). https://doi.org/10.1186/s12951-022-01477-8

Mirón-Mérida, V. A., Pardo-Islas, M. A., Yañez-Fernández, J., Gutiérrez-Macías, P., & Barragán-Huerta, B. E. (2025). Valorization of Mexican prickly pear cladodes (Opuntia spp.) as a source of antifungal compounds against phytopathogenic strains. CYTA – Journal of Food, 23(1). https://doi.org/10.1080/19476337.2025.2544932

Nam, D. G., Yang, H. S., Bae, U. J., Park, E., Choi, A. J., & Choe, J. S. (2023). The cactus (Opuntia ficus-indica) cladodes and callus extracts: A study combined with LC-MS metabolic profiling, in-silico, and in-vitro analyses. Antioxidants, 12(7), 1329. https://doi.org/10.3390/antiox12071329

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, 372, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Shoukat, R., Cappai, M., Pia, G., & Pilia, L. (2023). An updated review: Opuntia ficus indica (OFI) chemistry and its diverse applications. Applied Sciences, 13(13), 7724. https://doi.org/10.3390/app13137724

RENDIMIENTO DE FORRAJE Y GRANO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) RAZA CRIOLLA CHF-1 CON FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y ORGÁNICA

José Ángel Maraña Santacruz[1], Apolinar González Mancillas[1], Ulises Noel Gutiérrez Guzmán[1], María Esther Ríos Vega[1,] Amaury Esquivel Romo[1], Cristo Omar Puente Valenzuela[2], Ana Isabel Maraña Santacruz[3], José de los Santos Aguilar Martinez[3]*, Milagros de Jesús Sánchez Gonzalez[3]

[1]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia. Apdo. Postal 1-142, Carretera Gómez Palacio - Tlahualilo km 32. 35111 Venecia, Durango, México, [2]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas. Av. Palmas 1 1122, 35050 Gómez Palacio, Durango, México, [3]Universidad para el Bienestar Benito Juárez García. Ejido Hidalgo s/n carretera Madero - Lequeitio, Municipio de Fco. I Madero Coahuila CP27911. *Autor de correspondencia: magneticsnorte11@gmail.com

Introducción

El forraje es de gran importancia a nivel mundial en la alimentación de diferentes tipos de ganado, con propósitos alimenticios que se destinan a la población (Ureta et al., 2020; FAO, 2023). En México la ganadería depende fuertemente de la disponibilidad de cultivos forrajeros, para cubrir las necesidades de alimentación de los hatos ganaderos, dirigidos a la explotación de la carne, leche y algunos otros subproductos.

Existe una gran variabilidad de maíces híbridos dirigidos hacia producción de forraje y de grano, muchos modificados entre ellos genéticamente y transgénicos para la obtención de características específicas en productividad y calidad tolerantes a determinados factores ambientales, resistencias a plagas, enfermedades, acame etc. muchos de ellos producidos en países o regiones que difieren en condiciones climáticas, tipos de suelo y disponibilidad de agua a las presentadas en lugares donde se establecen, derivando resultados diferentes debido a la exposición de otros factores que limitan su potencial investigado (Bayer Crop Science, 2024; Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2023).

En distintas regiones del país existen maíces nativos que no se implementaron en la producción a gran escala sobre todo en el área rural, quedándose rezagados por falta de incentivos y por introducción de casas crediticias como Bayer CropScience y Monsanto, normando a al agricultor al establecimiento de variedades o híbridos específicos (Raimi y Masri, 2025), quedando estos maíces nativos únicamente cultivados en muy pequeñas superficies destinadas exclusivamente para el consumo familiar; teniendo en cuenta que estos ya poseen adaptabilidad a su región y serían una alternativa, la evaluación bajo técnicas de manejo en colecta de estos, para la producción de forraje y grano por sus características genéticas de origen, así mismo los efectos del cambio climático influirán progresivamente en el desarrollo y rendimiento, con mayor vulnerabilidad podrían ser los maíces introducidos, mejorados genéticamente en lugares diferentes a los nativos de cada región.

El objetivo de este trabajo fue buscar estrategias para determinar y mejorar la productividad, como el rendimiento de forraje verde, rendimiento de forraje seco, materia seca altura de planta, estrés hídrico además de su rendimiento en grano de colecta nativa CHF-1 regional, probando dosis de excretas (estiércol) de bovino lechero como abono orgánico y riego presurizado por goteo con cintilla comparadas con fertilización química, en la Comarca Lagunera, México.

Materiales y métodos

El presente trabajo se llevó a cabo en el campo agrícola experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, localizada en el km 30 de la carretera Gómez Palacio-Tlahualilo en el ejido Venecia, Municipio de Gómez Palacio, Dgo. México, Geográficamente se ubica en los 25° 46' 56" de latitud norte y 103° 21´02´´ de longitud oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 1110 m. El clima según la clasificación de Köeppen, modificado por García (1988), son de estepa (BS) y desértico (BW), un clima árido con un promedio anual de precipitación de 240 mm, una evaporación que es de 1380 a 2530 mm que se registra año con año y una temperatura media anual de 20.7 °C.

Tratamientos y diseño experimental. Se estableció un experimento en bloques al azar, considerando dos tratamientos con fertilización orgánica basado en estiércol bovino solarizado, (T2 E60) con 60 toneladas (t) de estiércol bovino solarizado por hectárea (ha^{-1}), (T3 E40) con 40 t ha^{-1}de estiércol bovino solarizado, un tratamiento con fertilización química (T1Q) a dosis de 250-90-00 (N-P-K) y un testigo absoluto (T4 TEST), siendo la unidad experimental (UE) de cada tratamiento conformada por 4 surcos de 4 m de largo, una separación de 0.8 m entre surcos y una distancia entre planta de 0.15 m con cuatro repeticiones cada tratamiento, la obtención de datos en las plantas centrales de cada UE de las diferentes variables evaluadas, fueron analizados en software estadístico (SAS/STAT, Ver 9.3) y comparación de medias por Duncan($p \leq 0.05$), su densidad de siembra fue de 83,325 plantas por ha^{-1}.

El estiércol utilizado fue expuesto a radiación solar tres meses antes de incorporarlo, el cual consistió en apilar un volumen de estiércol de 2 m de ancho por 3 m de largo y 1m de altura y aplicando 50 % de agua de acuerdo al volumen de estiércol apilado, cubriéndolo con un hule transparente sin albedo y fue analizado al momento de su incorporación al suelo en el Laboratorio Nacional de Análisis de Agua, Suelo, Planta y Medio Ambiente de Gómez Palacio Durango, México, (Cuadro 1). El fertilizante químico se aplicó al momento de la siembra, incorporando el total de P, mediante 173 kg ha^{-1} de fosfato monoamónico (11-52-00) y la mitad del N utilizando urea como fuente al (46-00-00) con 247.8 kg ha^{-1}, el resto del N (125-00-00) se aplicó a los 50 días después de sembrado con 271.7 kg ha^{-1} de urea. El estrés hídrico (EST H) se realizó, en la etapa de llenado del grano mediante bomba presión forzada (Sholander por medio de nitrógeno) medido en bares de presión (Bares), a los 80 días después de la siembra (dds).

Cuadro 1. Propiedades químicas y nutrientes del estiércol solarizado utilizado

Propiedades	Unidades	Valor
Nitrógeno Total	%	1.42
Fosforo Total	%	0.51
pH		8.9
Potasio	%	1.60
Calcio	%	1.68
Magnesio	%	0.71
Conductividad eléctrica	dS m^{-1}	2.4

Procedimiento en tratamiento y diseño experimental.

Resultados y discusión

Los resultados de los análisis estadísticos referenciados al rendimiento en los tratamientos evaluados no presentaron diferencia significativa entre las dosis de estiércol y la fertilización química ($P > 0.05$) en riego por goteo, sin embargo, todos ellos presentaron un alto rendimiento comparados con el promedio de la región que es de (45 t ha^{-1}) y riego superficial (SIAP, 2025). Los rendimientos fueron muy similares aunque destacaron los evaluados con estiércol; el tratamiento que recibió 40 t ha^{-1} de estiércol, fue el que produjo el más alto rendimiento de forraje verde con (81.9 t ha^{-1}) y materia seca de (42.26 t ha^{-1}), debido a que el estiércol complementa los nutrimientos esenciales que el cultivo requiere para su máximo desarrollo, sin embargo fue estadísticamente igual a los demás tratamientos he inclusive al testigo que no recibió ninguna fertilización, únicamente el contenido de los distintos elementos clasificados como altos que tenía el suelo al inicio del establecimiento, siendo favorables para la nutrición de las plantas por la extracción de nitrógeno, fosforo y potasio además del riego por goteo superficial que mantiene la humedad en los primeros estratos del suelo a una profundidad entre 35 a 40 cm donde se manifiesta la mayor cantidad de raíces de la planta, evitando la lixiviación del nitrógeno y otros minerales esenciales para el desarrollo del cultivo, disminuyendo su lixiviación a estratos más inferiores. Ávalos et al. (2018), menciona que al trabajar con dosis de estiércol de 80 t ha^{-1}obtuvo los más altos rendimientos (69.2 t ha^{-1}) y en promedio de MS fue de 33.7 – 36.7 % comparado con tratamientos fertilizados químicamente y otros abonos orgánicos en maíces híbridos, obteniendo una productividad menor a lo encontrado en esta investigación, también manifiesta que el estiércol como fuente de nutrientes puede producir rendimientos en forraje de maíz similar o superiores que al usar fertilizantes inorgánicos; esto se debe a que abastecen de nutrimentos esenciales para el cultivo. El rendimiento de FV y MS de los tratamientos evaluados en esta investigación en la colecta de maíz regional CHF-1 superaron a los expresados en por Cueto et al. (2018) con 41.5 t ha^{-1}, Salazar et al. (2003) donde obtuvieron 56.7 t ha^{-1} al utilizar 40 t ha^{-1} de estiércol bovino como fertilización (Cuadro 2).

Cuadro 2 Valores medios para rendimiento de forraje verde (RFV), rendimiento de forraje seco (RFS), porcentaje de materia seca (MS), y altura de planta (AP), para maíz nativo colecta regional CHF-1 con fertilización química y estiércol solarizado.

Tratamiento	RFV (t ha^{-1})	RFS (t ha^{-1})	MS (%)	AP (m)
T1 Q	76.786 a	31.15 a	41.1 a	3.88 a
T2 E60	79.14 a	41.7 a	52.8 a	3.86 a
T3 E40	81.90 a	42.2 a	51.6 a	3.75 a
T4 TEST	76.114 a	41.8 a	54.9 a	3.12 a

TI Q = Tratamiento químico con 250 kg de nitrógeno 80 kg de fosforo y 0 potasio, T2 E60 = Tratamiento con 60 toneladas de estiércol solarizado, T3 E40 = Tratamiento con 40 toneladas de estiércol solarizado, T4 TEST= Testigo sin fertilización química ni orgánica, Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Duncan, ($p \leq 0.05$).

Los resultados RFS fueron estadísticamente iguales, siéndolos tratamientos en base a estiércol los de mayor rendimiento he inclusive el testigo supero al químico, la diferencia fue mínima entre los tratados con estiércol y el tratamiento químico, sus pruebas de medias no manifiestan diferencia significativa, debido a sus altos rendimientos de forraje verde por el contenido de nitrógeno en el estiércol que es similar o supera en igual cantidad el nitrógeno inorgánico aplicado, como lo manifiesta Ávalos en (2018) y López et al. (2014), donde obtuvo altos rendimientos con 80 t ha^{-1} de estiércol solarizado. Con respecto a la altura de planta (AP), no hubo diferencia estadística por el efecto de la fuente fertilización entre los tratamientos, el rango vario de 3.7 a 3.8 m; mientras que el testigo fue el que tuvo la menor altura con 3.1 m.

Esta colecta de maíz regional CHF-1 manifiesta una altura mayor comparadas con otras variedades o híbridos establecidos en esta región, el estiércol contribuye en una fertilización en base a nutrientes que la planta necesita con las dosis adecuadas y compite con los fertilizantes inorgánicos en su productividad, aunado con un sistema de riego adecuado como el goteo para evitar la lixiviación de estos a estratos inferiores y se concentren en el área de mayor producción de raíces del cultivo dentro de los primeros 40 centímetros del suelo, Fortis et al. (2009) al trabajar con abonos orgánicos reportaron alturas de 1.86 m en maíz forrajero al igual que López-Calderón et al. (2015) con alturas de 2.49 a 2.56 al aplicar estiércol bovino, siendo inferiores a los resultados obtenidos en esta investigación, (Cuadro 2).

La fuerza de presión ejercida para determinar el estrés interno de la planta por falta suficiencia hídrica (EST H) para sus funciones fisiológicas y de desarrollo fue más alta en el tratamiento con fertilización inorgánica y el testigo, que en los tratamientos con estiércol, en los cuales su contenido hídrico de la planta fue mayor bajo estos tratamientos, de 60 y 40 t ha^{-1} de estiércol solarizado en la etapa crítica del llenado del grano, debido a que estos integran materia orgánica al suelo y conservan un mayor porcentaje de humedad disponible para la planta a lo largo de su desarrollo vegetativo y más aun con el riego por goteo.

Los tratamientos con estiércol fueron los que presentaron mayor rendimiento en grano, manifestando diferencia estadística con los otros tratamientos, el tratamiento con 60 toneladas de estiércol ha^{-1} fue el de mayor rendimiento con 15.33 t ha^{-1}, el cual fue estadísticamente igual al tratamiento con 40 ha^{-1} de estiércol y diferente al químico y al testigo, siendo este el de menor producción su diferencia en productividad manifiesta que los tratamientos con estiércol compiten con el químico debido a que su contenido de nutrientes cubre la necesidad suficiente para el desarrollo del cultivo, como lo manifestado por Gallegos et al. (2015) obteniendo rendimientos de 14.49 t ha^{-1} al evaluar diferentes cruzas de maíz bajo un sistema de fertilización química siendo resultados similares a esta investigación. Betanzos et al. (2009) al evaluar 25 híbridos de maíz grano, sus rendimientos estuvieron en un rango de 9.6 a 10 t ha^{-1} aplicando fertilización química, al igual que Aquino et al. (2011) donde su producción fue de 11 t ha^{-1} siendo inferiores a los encontrados en esta investigación, Wang et al. (2017) mencionan que, con la aplicación continua de estiércol, el rendimiento de maíz de grano aumenta entre 5 a 16 % (Cuadro 3).

Cuadro 3 Valores medios de rendimiento en grano, estrés hídrico (EST H) en planta, de maíz nativo colecta regional CHF-1 con fertilización química y estiércol solarizado.

Tratamiento	Rendimiento (t ha^{-1})	EST H (bares)
T1 Q	13.09 bc	25.9 a
T2 E60	15.33 a	16.0 a
T3 E40	13.55 ab	12.7 a
T4 TEST	11.84 c	19.6 a

TI Q =Tratamiento químico con 250 kg de nitrógeno 80 kg de fosforo y 0 potasio, T2 E60 = Tratamiento con 60 toneladas de estiércol solarizado, T3 E40 = Tratamiento con 40 toneladas de estiércol solarizado, T4 TEST= Testigo sin fertilización química ni orgánica, Medias con letras iguales no son significativamente diferentes, Duncan, ($p \leq 0.05$).

Conclusiones

El uso de estiércoles como fuente de nutrición en la colecta de maíz nativo CHF-1 presento altos rendimientos, tanto en forraje como en grano, el rango más bajo de estrés hídrico en el periodo de llenado del grano, y la mayor altura de la planta, aunque no se encontraron diferencias de impacto entre las variables evaluadas contra fertilización química, en la mayoría de estas el estiércol presento los mejores resultados, por lo que se concluye la posibilidad de utilizarlo como fuente de nutrición sustituyendo la fertilización inorgánica**,** además de seguir evaluando la diversidad genética de la colecta CHF-1 en respuesta a diferentes dosis y tipos de fertilización.

Referencias

Ávalos de la Cruz, M., Figueroa, V. U., García, H. J. L., Vázquez, V. C., Gallegos, R. M. A., & Orona, C. I. (2018). Bioinoculantes y abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero. *Nova Scientia, 10*(20), 170-189. https://doi.org/10.21640/ns.v10i20.1285

Aquino Martínez, J. G., Sánchez Flores, A., González Huerta, A., & Sánchez Pale, J. R. (2011). Resistencia de variedades e híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a *Sporisorium reilianum* y su rendimiento de grano. *Revista Mexicana de Fitopatología, 29*(1), 39-49. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33092011000100005

Bayer Crop Science. (2024). *Beneficios de los transgénicos para una agricultura sustentable*. https://aclatam.cropscience.bayer.com/beneficios-de-los-transgenicos-para-una-agricultura-sustentable/

Betanzos Mendoza, E., Ramírez Fonseca, A., Coutiño Estrada, B., Espinosa Paz, N., Sierra Macías, M., Zambada Martínez, A., & Grajales Solís, M. (2009). Híbridos de maíz resistentes a pudrición de mazorca en Chiapas y Veracruz, México. *Agricultura Técnica en México, 35*(4), 391-400.

Cueto, J. A., Figueroa, U., García, J. L., & Ochoa, E. (2018). *Evaluación de fertilizantes con inhibidor de la nitrificación DMPP en el cultivo del maíz forrajero en la Comarca Lagunera* (Informe técnico interno). Campo Experimental La Laguna-INIFAP.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *FAOSTAT - Agriculture database*. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

Fortis, M., Leos, J. A., Preciado, P., Orona, I., García, J. A., García, J. L., & Orozco, J. A. (2009). Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoamericana, 27*(4), 329-336. http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v27n4/v27n4a7.pdf

Gallegos-Robles Miguel Ángel., José Luis García-Hernández, *J. Guadalupe Luna-Ortega, José Dimas López. 2015. Obtención de híbridos de maíz para grano en la comarca lagunera y Aguascalientes, México.

García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (2a ed.). Offset Larios.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2023). *Informe nacional de calidad del aire 2023*. https://www.gob.mx/inecc/documentos/informes-nacionales-de-calidad-del-aire

López, M. J. D., Salazar, S. E., Trejo, E. H. I., García, H. J. L., Navarro, M. M., & Vázquez, V. C. (2014). Cotton production with high sowing densities using organic fertilization. *Phyton, 83*(2), 237-242.

López-Calderón, M. J., Figueroa, V. U., Fortis, H. M., Núñez, H. G., Ochoa, M. E., & Sánchez, D. J. I. (2015). Evaluación de dosis equivalentes de fertilizante y estiércol en la producción de maíz forrajero (*Zea mays*). *Phyton, 84*(1), 8-13. http://www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar/vol841/Lopez _Calderon.pdf

Raimi, L., & Masri, M. (2025). Critical discourse on GMO agripreneurship for global food security: Bridging agricultural colonialism and food sovereignty perspectives. *International Journal of Ethics and Systems*. https://doi.org/10.1108/IJOES-02-2025-0079

Salazar-Sosa, E., A. Beltrán-M., M. Fortis-H., J. A. Leos-R., J. A. Cueto-W., C. Vázquez-V. y J. J. Peña-C. (2003). Mineralización de nitrógeno y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. Terra 21: 569-575.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2025). *Producción de maíz forrajero 2024-2025. Cierre agrícola*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Ureta, C., González, E. J., Espinosa, A., Trueba, A., Piñeyro-Nelson, A., & Álvarez-Buylla, E. R. (2020). Maize yield in Mexico under climate change. *Agricultural Systems, 177*, 102697. https://doi.org/10.1016 /j.agsy. 2019.102697

Wang, X., Ren, Y., Zhang, S., Chen, Y., & Wang, N. (2017). Applications of organic manure increased maize (*Zea mays* L.) yield and water productivity in a semi-arid region. *Agricultural Water Management, 187*, 88-98. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.03.017

USO DE BIOESTIMULANTES EN PLÁNTULAS DE CHILE JALAPEÑO (*Capsicum annuum* L.) REGADAS CON AGUA DE ALTA SALINIDAD

Sulema González-Guerrero[1], Deisy Joseline Guevara-Guerra[1], Jesrael Hernández-Ruíz[1*], Anareida Puentes-Niave[1], Rafael Ríos-Núñez[1]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Ctra. Gómez Palacio – Cd. Juárez km 40, Bermejillo, Durango, México. C.P. 35230. *Autor de correspondencia: jesrael.hernandez.ruiz@gmail.com

Introducción

Las plantas cultivadas en condiciones de alta salinidad enfrentan estrés osmótico, desequilibrios en la absorción de nutrientes, efectos tóxicos y menor producción (Silva et al., 2025). Los bioestimulantes son considerados una alternativa sostenible para mejorar la productividad agrícola y reducir los efectos negativos del estrés hídrico asociado al cambio climático (Chan-Cupul et al., 2025), ya que favorecen la eficiencia en el uso de nutrientes y fortalecen los mecanismos fisiológicos de las plantas frente a distintos tipos de estrés abiótico (Backer et al., 2018).

Diversos estudios han demostrado el potencial de los bioestimulantes en especies del género *Capsicum*. Murillo-Cuevas et al. (2021) obtuvieron mejoras en la calidad de frutos de chile habanero con bioestimulantes microbianos, mientras que Ramírez-Pérez et al. (2025) reportaron que extractos vegetales promovieron el crecimiento de raíces y partes aéreas en jalapeño. Los extractos de algas marinas actúan como bioestimulantes naturales que favorecen el crecimiento, la actividad fotosintética y el desarrollo radicular (Torres Jaramillo y Lazo, 2025), mientras que los aminoácidos aportan nitrógeno orgánico y participan en la síntesis de proteínas esenciales (Silva et al., 2025).

El chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia económica en México (Buelna-Tarín et al., 2024); su manejo demanda altas cantidades de fertilizantes químicos que no son completamente aprovechados por las plantas (Angulo-Castro et al., 2018). A pesar de los avances en el estudio de bioestimulantes en especies de *Capsicum,* la información sobre el uso de aminoácidos y extractos de algas durante la etapa de plántula bajo condiciones de alta salinidad es escasa.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de dos bioestimulantes (aminoácidos y algas) y un tratamiento testigo, en la altura de plántulas de chile jalapeño regadas con agua de alta salinidad. Se planteó la hipótesis de que la aplicación de bioestimulantes mejoraría el crecimiento de las plántulas, siendo los extractos de algas marinas más efectivos que los aminoácidos.

Materiales y métodos

El experimento se estableció bajo condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango, México (25°53'44.89"N 103°36'01.91"W), en clima semiárido, cálido y seco. Se utilizaron semillas de chile jalapeño variedad “Temprano” (AgroGenial®), germinadas en charolas con sustrato compuesto por 75 % de composta y 25 % de turba (peat moss; Premier®).

Se evaluaron dos bioestimulantes de aplicación foliar semanal: uno a base de extractos de algas (ALGA-DELL®) y otro a base de aminoácidos (AMINOTERRA-F), además de un tratamiento testigo sin aplicación foliar, que únicamente recibió el riego. Todos los tratamientos se regaron diariamente con agua de alta salinidad (CE = 2.731 dS m^{-1}; pH = 6.78). Se descartaron plántulas con daños mecánicos, plagas, enfermedades o deficiencias nutricionales visibles, y las restantes se asignaron aleatoriamente a los tratamientos conforme a un diseño completamente al azar (DCA) con cuatro repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió en un grupo de 10 plántulas, por lo que se evaluaron 12 unidades experimentales (120 plántulas en total).

La aplicación de los bioestimulantes inició a los 20 días después de la germinación, a la dosis recomendada por el fabricante: 3 g L^{-1} de ALGA-DELL® (300 g en 100 L de agua) y 3 mL L^{-1} de AMINOTERRA-F (300 mL en 100 L de agua). La única variable evaluada fue la altura de planta (cm), medida desde la base del tallo hasta el ápice de crecimiento con una regla milimétrica; las mediciones comenzaron 7 días después de la primera aplicación y se realizaron cada 7 días durante 4 semanas.

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) para cada fecha de evaluación bajo el DCA, utilizando como dato el promedio de altura de las 10 plántulas de cada unidad experimental (n = 4 por tratamiento). Cuando se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey (HSD). Los análisis se realizaron en R (versión 4.5.1; R Core Team, 2025).

Resultados y discusión

En las evaluaciones de las semanas 1 a 3 no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$). En la semana 4 (28 días después de la primera aplicación), el ANOVA para la altura de plántula mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($F_{2,9} = 54.07$; $p = 9.66 \times 10^{-6}$; $\alpha = 0.05$), por lo que se rechazó la hipótesis nula de igualdad de medias. La verificación de supuestos indicó residuos con distribución normal (Shapiro-Wilk: $W = 0.95$; $p = 0.6434$) y varianzas homogéneas (Bartlett: $K^2 = 0.45$; $p = 0.7982$), validando la aplicación del ANOVA.

La prueba de Tukey (HSD, rango estudentizado = 3.95; $\alpha = 0.05$) mostró que los tres tratamientos difirieron significativamente entre sí (Cuadro 1). El bioestimulante de algas registró la mayor altura promedio (6.80 cm; CV = 5.4 %), seguido del bioestimulante de aminoácidos (6.00 cm; CV = 7.3 %) y el testigo (4.15 cm; CV = 7.0 %). En términos relativos, el tratamiento con algas superó al testigo en 63.9 % y a los aminoácidos en 13.3 %, mientras que el tratamiento con aminoácidos superó al testigo en 44.6 %.

Cuadro 1. Altura promedio de plántulas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) en la semana 4 (28 días después de la primera aplicación), bajo diferentes tratamientos con bioestimulantes.

Tratamiento	Altura promedio (cm)	DE	CV (%)
Algas	6.80 a	0.37	5.4
Aminoácidos	6.00 b	0.44	7.3
Testigo	4.15 c	0.29	7.0

Medias con letras distintas difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). DE = desviación estándar; CV = coeficiente de variación.

A diferencia de lo observado en este estudio, Ruiz-Sánchez et al. (2022), al aplicar extracto de algas, ácidos húmicos y aminoácidos al sustrato de plántulas de *Capsicum chinense*, encontraron efectos sobre el crecimiento que dependieron de la etapa de desarrollo, sin una promoción consistente; esto sugiere que la vía de aplicación (foliar en el presente trabajo) y la etapa fenológica pueden condicionar la respuesta a los bioestimulantes. En cambio, Espinosa-Antón et al. (2020) documentaron que las macroalgas y sus extractos aceleran la germinación y aumentan el vigor de las plántulas, con mayor contenido foliar de agua, mayor concentración de pigmentos fotosintéticos y mayor longitud de brotes respecto a plantas no tratadas.

La superioridad del extracto de algas puede explicarse por su contenido en fitohormonas naturales como citoquininas y auxinas, así como polisacáridos, betaínas y aminoácidos que actúan de forma sinérgica sobre los procesos fisiológicos de la planta (Espinosa-Antón et al., 2020). El bajo coeficiente de variación del tratamiento con algas (5.4 %) sugiere además una respuesta más homogénea entre repeticiones que la observada con aminoácidos (CV = 7.3 %), lo cual puede relacionarse con la naturaleza química compleja y equilibrada de dichos extractos (Espinosa-Antón et al., 2020). En contraste, los aminoácidos aplicados vía foliar actúan principalmente estimulando procesos metabólicos, como la síntesis de clorofila, la actividad del fotosistema II y la protección antioxidante, más que como fuente directa de nutrimentos, y su efecto varía según el tipo de aminoácido (Henderson et al., 2025), lo que puede explicar la mayor variabilidad observada en su respuesta.

La magnitud de las diferencias entre tratamientos, amplia en relación con la variabilidad dentro de cada uno, refuerza la conclusión estadística de que los tratamientos produjeron respuestas de crecimiento claramente distintas. Estos resultados coinciden con Adame-García et al. (2024), quienes al evaluar bioestimulantes microbianos en plántulas de chile jalapeño reportaron incrementos en altura de hasta 39.9 % respecto al testigo, así como con Franzoni et al. (2022) y Ahmad et al. (2022), quienes señalan que los bioestimulantes mejoran la tolerancia de los cultivos hortícolas al estrés abiótico mediante la activación de mecanismos de regulación osmótica y protección antioxidante.

Aunque el bioestimulante de aminoácidos mostró un efecto positivo respecto al testigo, su impacto fue menor al esperado; su eficiencia puede depender de la dosis, la frecuencia de aplicación y el estado fisiológico de la planta (Silva et al., 2025). En conjunto, los resultados confirman que los bioestimulantes, en particular los extractos de algas marinas, representan una alternativa viable y de bajo impacto ambiental para mejorar el establecimiento de plántulas de chile jalapeño bajo las condiciones de la Comarca Lagunera, donde el agua de riego de pozo presenta niveles de salinidad de medios a muy altos (Azpilcueta Pérez et al., 2017).

Conclusiones

La aplicación de bioestimulantes mejoró significativamente el crecimiento de plántulas de chile jalapeño bajo riego con agua de alta salinidad, siendo el extracto de algas el tratamiento con mejor respuesta, seguido de los aminoácidos, ambos superiores al testigo. Estos resultados tienen relevancia práctica para la Comarca Lagunera, región caracterizada por agua de riego con alta conductividad eléctrica, y sugieren que el uso de bioestimulantes a base de algas representa una alternativa viable y sostenible para mitigar el estrés osmótico en las etapas iniciales del cultivo, sin depender exclusivamente de fertilizantes químicos. Se recomienda continuar evaluando estos bioestimulantes en etapas posteriores del cultivo, bajo diferentes dosis y frecuencias de aplicación, así como validar los resultados en condiciones de campo.

Referencias

Adame-García, J., Murillo-Cuevas, F. D., Fernández-Viveros, J. A., Cabrera-Mireles, H., & Cornejo-Castillo, R. (2024). Efecto de bioestimulantes microbianos en plántulas y frutos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) producidos en macrotúnel. *Revista Bio Ciencias, 11*, e1566. https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1566

Ahmad, A., Blasco, B., & Martos, V. (2022). Combating salinity through natural plant extracts based biostimulants: A review. *Frontiers in Plant Science, 13*, 862034. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.862034

Angulo-Castro, A., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Almaraz-Suárez, J. J., Delgadillo-Martínez, J., Jiménez-Fernández, M., & García-Barradas, O. (2018). Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema II en plántulas de 2 variedades de *Capsicum annuum* L. inoculadas con rizobacterias u hongos micorrícicos arbusculares. *Revista Argentina de Microbiología, 50*(2), 178–188. https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.011

Azpilcueta Pérez, M. E., Pedroza Sandoval, A., Sánchez Cohen, I., Salcedo Jacobo, M. del R., & Trejo Calzada, R. (2017). Calidad química del agua en un área agrícola de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en la Comarca Lagunera, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 33*(1), 75–83. https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.07

Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S., & Smith, D. L. (2018). Plant biostimulants: Defining the concept and exploring the physiological mechanisms behind their use. *Frontiers in Plant Science, 9*, 1473. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473

Buelna-Tarín, S., Romero-Félix, C. S., Bojórquez-Ramos, C., Lugo-García, G. A., & Sánchez-Soto, B. H. (2024). Bioestimulantes y solución Steiner en crecimiento y producción de *Capsicum annuum* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 15*(5), e3255. https://doi.org/10.29312/remexca.v15i5.3255

Chan-Cupul, W., Novoa-Lizaola, B. Y., Sánchez-Rangel, J. C., Ail-Catzim, C. E., & Ruiz-Sánchez, E. (2025). Bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento de *Capsicum chinense* en invernadero. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 12*(3), e4252. https://doi.org/10.19136/era.a12n3.4252

Espinosa-Antón, A. A., Hernández-Herrera, R. M., & González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Biotecnología Vegetal, 20*(4), 257–282.

Franzoni, G., Cocetta, G., Prinsi, B., Ferrante, A., & Espen, L. (2022). Biostimulants on crops: Their impact under abiotic stress conditions. *Horticulturae, 8*(3), 189. https://doi.org/10.3390/horticulturae8030189

Henderson, B. C. R., Sanderson, J. M., & Fowles, A. (2025). A review of the foliar application of individual amino acids as biostimulants in plants. *Discover Agriculture, 3*(1), Artículo 69. https://doi.org/10.1007/s44279-025-00222-7

Murillo-Cuevas, F. D., Cabrera-Mireles, H., Adame-García, J., Vásquez-Hernández, A., Martínez-García, A. de J., & Luria-Moctezuma, R. (2021). Bioestimulantes en la calidad de frutos de chile habanero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 12*(8), 1473–1481. https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2900

R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing* (Versión 4.5.1) [Software]. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Ramírez-Pérez, C., Hernández-Pérez, A., Moo-Huchín, V. M., Carrillo-Lomelí, D. A., Ramírez, H., Jasso de Rodríguez, D., Encina-Domínguez, J. A., & Peña-Ramos, F. M. (2025). Biostimulant activity of semidesert plant extracts on jalapeño and habanero pepper seedlings. *Industrial Crops and Products, 236*, 121881. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121881

Ruiz-Sánchez, E., Chan-Escalante, Z. F., Ballina-Gómez, H. S., Fernández-Herrera, M. A., & Góngora-Gamboa, C. de J. (2022). Efecto de bioestimulantes en el crecimiento, características foliares y densidad poblacional de *Bemisia tabaci* en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems, 25*(1), Artículo 042. https://doi.org/10.56369/tsaes.3757

Silva, A. L. J., de Farias, O. R., Corrêa, É. B., de Lacerda, C. F., de Melo, A. S., & Oliveira, M. D. D. M. (2025). Biostimulants modulate the physiological and biochemical activities, improving agronomic characteristics of bell pepper plants under salt stress. *Scientific Reports, 15*(1), 14969. https://doi.org/10.1038/s41598-025-99414-w

Torres Jaramillo, L. A., & Lazo, R. (2025). Innovación y educación agrícola sostenible: Impacto de bioestimulantes en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*). *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, 6*(5), 2302–2316. https://doi.org/10.56712/latam.v6i5.4739

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE MAÍZ FORRAJERO AL UTILIZAR ESTIMULADORES DE CRECIMIENTO COMERCIALES

Juan I. Sánchez Duarte[1*], Armando Zavala[2], Kevin Serrato Trujillo[3], Esmeralda Ochoa Martínez[1], Jorge A. Granados Niño[4], Jorge A. Bustamante Andrade[4], Arturo Reyes González[1], Jorge A. Maldonado Jáquez[1], María F. Vargas de la Torre[4]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna. Matamoros. Coahuila C.P. 27440. [2]Pioneer México. [3]Corteva Biológicos. [4]Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. C.P. 35111. *Autor de Correspondencia: sanchez.juan@inifap.gob.mx

Introducción

El maíz es uno de los principales cultivos forrajeros utilizados en la alimentación de ganado bovino lechero. Generalmente este forraje se usa como ensilaje en la mayoría de las dietas de las vacas lecheras en los establos de México (Olmos et al*.,* 2025). Sin embargo, debido al incremento de la temperatura ambiental y el estrés hídrico, el maíz reduce su crecimiento y su potencial de rendimiento (Reyes-González et al., 2024). Por tal motivo, es necesario encontrar alternativas que ayuden a disminuir o mitigar estos efectos en el desarrollo y rendimiento del maíz forrajero.

Una opción para reducir estos problemas es la aplicación de estimuladores de crecimiento vegetal (ECV). Estos estimuladores de crecimiento son compuestos de origen natural o sintético que se aplican en pequeñas cantidades para modificar la actividad hormonal, así como la absorción de nutrientes y agua en cultivos agrícolas y hortalizas (Ram et al., 2021; Rodrígues et al., 2024). En los últimos años, estos productos se han evaluado bajo condiciones experimentales y comerciales en diferentes especies vegetales (Ram et al., 2021; Mughal et al., 2024; Rodrigues et al., 2024). No obstante, la efectividad de estos productos no ha sido consistente, debido a que las presentaciones comerciales no han evaluado efectos discriminando la respuesta de cada biológico de manera individual o combinada. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes estimuladores de crecimiento comerciales de manera individual y en combinación sobre diversos parámetros agronómicos en maíz forrajero.

Materiales y métodos

Previo al establecimiento del experimento, se sembró avena forrajera con el objetivo de extraer la mayor cantidad posible de nitrógeno residual del suelo. El trabajo se estableció en el Campo Experimental La Laguna, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Matamoros, Coahuila (25°32´ latitud norte-103° 14´longitud oeste). La preparación del terreno consistió en subsoleo, arado, rastreo y nivelación con escrepa. Se evaluó el efecto de la aplicación de cuatro ECV de manera individual y en combinación sobre diversos parámetros agronómicos (floración, días a cosecha, altura de planta, hojas verdes y secas y rendimiento de forraje) en maíz forrajero. El grupo control no recibió ninguna aplicación de ECV. Los tratamientos evaluados y su aplicación se muestran en el Cuadro 1.

La siembra se realizó en tierra venida el 9 de abril del 2026. Se utilizó el hibrido P32208W (Pioneer® Seeds) a una densidad de siembra de 105 mil semillas por hectárea. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Cada parcela experimental fue de seis surcos a separación de 0.75 m y 8 m de longitud. Se dejó una separación entre bloques de 4 m y de 4.5 m entre parcelas para evitar contaminación durante la aplicación de los tratamientos (Figura 1). La fertilización aplicada fue de 180-50-00 unidades de N-P-K, respetivamente. Se aplicaron cuatro riegos de auxilio a intervalos de 20 días. Se realizaron aplicaciones con productos químicos para controlar gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y araña roja (*Tetranychus urticae)*.

Cuadro 1. Tratamientos y etapa fenológica de aplicación en maíz forrajero.

Producto y combinación	Etapa de aplicación (composición o ingrediente activo)
Testigo	Sin aplicación
Blue N®	V6 (*Methylobacterium symbioticum Sb23: 3)*
Stimulate®	V6 (Citoquininas, giberelinas y auxinas)
X-Cyte®	VT (Citoquininas)
Root Feed®	V4 (Nitrógeno, Calcio, Magnesio y fitohormonas)
Blue N® + Stimulate®	V6
Blue N® + X-Cyte®	V6
Blue N® + Root Feed®	(V6) Blue N + (V4) Root Feed
Root Feed® + Stimulate®	(V4) Root Feed +(V6) Stimulate
Root Feed® + X-Cyte®	(V4) Root Feed + (VT) X-Cyte
Stimulate® + X-Cyte + Root Feed®	(V6) Stimulate + (V6) X-Cyte + (V4) Root Feed
Blue N® + Stimulate® + X-Cyte® + Root Feed®	(V6) Blue N + (V6) Stimulate + (V6) X-Cyte + (V4) Root Feed

V4 = cuarta hoja desarrollada con su lígula, V6 = sexta hoja desarrollada con su lígula, VT = espiga completamente emergida y abierta.

La aplicación de los ECV se realizó con mochila aspersora previamente calibrada para cada tratamiento. El Root Feed® fue el único producto que se aplicó por surco en el suelo de manera manual. Las dosis de aplicación para cada producto fueron las siguientes: 333 g/ha de Blue N®, 250 ml/ha de Stimulate®, 300 ml/ha de X-Cyte® y 5 kg/ha de Root Feed®. La fecha de floración masculina se registró cuando el tallo impulsó la espiga, quedando totalmente desplegada e inició la liberación del polen. La fecha de floración femenina se registró cuando aparecieron los estilos a través de las brácteas. La altura de planta se determinó desde la base del suelo hasta la punta de la espiga. A la cosecha, se contó el número de hojas secas y verdes en tres plantas por parcela. El rendimiento de forraje en base húmeda se determinó cosechando los cuatro surcos centrales de cada parcela, eliminando un surco lateral y un metro de cada extremo como efecto orilla.

La información se analizó en el programa SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2013), mediante ANOVA para un diseño de bloques completamente al azar. Se aplicó la prueba de DMS (diferencia mínima significativa) a un nivel de significancia P≤0.05.



Figura 1. Establecimiento y diseño del experimento de maíz forrajero.

Resultados y discusión

Los tratamientos afectaron la floración y los días a la cosecha del maíz forrajero (Cuadro 2). La aplicación de Stimulate® promovió días a floración masculina más largos (72 días) y estos fueron similares al resto de los tratamientos; con excepción a cuando se aplicó Root Feed® combinado con X-Cyte® ($P<0.05$). Cuando Stimulate® fue combinado con Blue N®, además de retrasar la floración masculina (72 días) y los días a la cosecha (108 días), también alargó la floración femenina (70 días; $P<0.05$). Blue N® está compuesto por la bacteria *Methylobacterium symbioticum* que mejora la fijación biológica de nitrógeno en plantas no leguminosas (de Jesus Santos y Bundt, 2025) y promueve la producción de fitohormonas que estimulan el crecimiento de las plantas (Rodrigues et al., 2024). Stimulate® está formulado con citoquininas, giberelinas y auxinas que han sido recomendados como reguladores para un óptimo crecimiento de las plantas (Ram et al., 2021).

En contraste, la aplicación de Root Feed® combinado con X-Cyte® propició un adelanto en la floración femenina (67 días), floración masculina (69 días) y días a la cosecha (103 días) (Cuadro 2; $P<0.05$). Root Feed® promueve el crecimiento de la raíz y la renovación de los pelos absorbentes, lo cual puede mejorar la eficiencia de absorción de nutrientes y agua por el cultivo.

Cuadro 2. Efectos de los biológicos comerciales sobre la floración y los días a cosecha.

Tratamiento	Floración Femenina (días después de siembra)[1]	Floración Masculina (días después de siembra)[2]	Días a cosecha
Testigo	68^{ab}	70^{ab}	105^{ab}
Blue N®	68^{ab}	70^{ab}	105^{ab}
Stimulate®	69^{ab}	72^{a}	108^{a}
X-Cyte®	69^{ab}	71^{ab}	107^{ab}
Root Feed®	68^{ab}	70^{ab}	105^{ab}
Blue N® + Stimulate®	70^{a}	72^{a}	108^{a}
Blue N® + X-Cyte®	68^{ab}	70^{ab}	105^{ab}
Blue N® + Root Feed®	68^{ab}	70^{ab}	105^{ab}
Root Feed® + Stimulate®	69^{ab}	71^{ab}	107^{ab}
Root Feed® + X-Cyte®	67^{b}	69^{b}	103^{b}
Stimulate® + X-Cyte + Root Feed®	68^{ab}	70^{ab}	106^{ab}
Blue N® + Stimulate® + X-Cyte® + Root Feed®	68^{ab}	70^{ab}	106^{ab}
EE	1.26	1.49	1.50
DMS (<0.05)	2.13	2.52	2.52

[1]La fecha de floración masculina se registró cuando el tallo impulsó la espiga, quedando totalmente desplegada e inició la liberación del polen; [2]La fecha de floración femenina se registró cuando aparecieron los estilos a través de las brácteas. EE = error estándar; DMS = diferencia mínima significativa.

La aplicación de los biológicos de forma separada y combinada no modificó la altura de planta; sin embargo, se observaron diferencias significativas en el número de hojas verdes y secas al momento de la cosecha (Cuadro 3). Se tuvo mayor número de hojas verdes a la cosecha cuando se utilizó X-Cyte® (13 hojas) y un menor número de estas cuando se aplicó Blue N® combinado con Root Feed® (9 hojas; $P<0.05$). X-Cyte® es un regulador del crecimiento a base de citoquininas que promueve la división celular y ayuda al crecimiento de los diferentes órganos de las plantas. Las citoquininas exógenas interactúan con otras hormonas para modular una mejor respuesta al estrés abiótico (Mughal et al*.,* 2024). El mayor número de hojas secas al momento de la cosecha en el presente estudio se observó cuando se aplicó Blue N® (7 hojas) y el menor número de estas cuando Blue N® fue combinado con Stimulate® (3 hojas; $P<0.05$).

El rendimiento de forraje también fue modificado por la aplicación de los ECV (Cuadro 3). La aplicación de Blue N® combinada con Stimulate® promovió el mayor rendimiento de forraje en base húmeda (68.63 t/ha), pero cuando se aplicó Blue N® en combinación con Root Feed® se tuvo un rendimiento inferior (54.18%) y similar al testigo (55.42 t/ha). La aplicación foliar de Blue N® ha demostrado limitada consistencia en la fijación de nitrógeno en maíz en condiciones comerciales, pero con mejores resultados en condiciones experimentales (Rodrigues et al*.,* 2024). Sin embargo, es posible que la combinación de la bacteria *Methylobacterium symbioticum* con Blue N® y los reguladores hormonales del crecimiento de las plantas de Stimulate® propiciaron un mejor rendimiento de forraje en maíz forrajero.

Cuadro 3. Efectos de los biológicos comerciales en altura de planta, hojas verdes y secas y rendimiento de forraje en base húmeda.

Tratamiento	Altura planta (m)	Hojas verdes a cosecha	Hojas secas a cosecha	Rendimiento de forraje (t/ha)
Testigo	268.56	11^{abc}	5^{abc}	55.42^{b}
Blue N®	265.78	10^{bc}	7^{a}	60.46^{ab}
Stimulate®	264.67	11^{abc}	5^{abc}	57.08^{ab}
X-Cyte®	271.11	13^{a}	4^{bc}	63.31^{ab}
Root Feed®	264.67	11^{abc}	5^{abc}	59.65^{ab}
Blue N® + Stimulate®	270.11	12^{ab}	3^{c}	68.63^{a}
Blue N® + X-Cyte®	269.44	11^{abc}	4^{bc}	62.61^{ab}
Blue N® + Root Feed®	261.78	9^{c}	6^{ab}	54.18^{b}
Root Feed® + Stimulate®	272.78	10^{bc}	5^{abc}	56.90^{ab}
Root Feed® + X-Cyte®	267.78	12^{ab}	5^{abc}	62.93^{ab}
Stimulate® + X-Cyte® + Root Feed®	270.78	10^{bc}	5^{abc}	56.40^{b}
Blue N® + Stimulate® + X-Cyte® + Root Feed®	269.33	11^{abc}	4^{bc}	62.33^{ab}
EE	6.91	1.00	1.00	6.94
DMS $_{(<0.05)}$	11.71	1.68	1.70	11.76

EE = error estándar; DMS = diferencia mínima significativa.

Conclusiones

X-Cyte® permite llegar con mayor número de hojas verdes a la cosecha en maíz forrajero. La combinación de Stimulate® con Root Feed® acorta las floraciones masculinas y femeninas y los días a la cosecha del cultivo. Sin embargo, la combinación de Stimulate® con Blue N® retrasa la floración masculina y femenina, los días a la cosecha y propicia un mayor rendimiento de forraje en el maíz forrajero. Por lo tanto, la asociación de estos biológicos comerciales tiene mejor efecto que cuando se aplican de forma separada. Dicha mezcla deberá ser validada bajo condiciones comerciales en maíz forrajero.

Referencias

de Jesus Santos, A. F. and Bundt, A. D. C. (2025). Foliar inoculación with *Methylobacterium symbioticum SB23 enhancesbiological nitrogen fixation and maize yield under contrasting edaphoclimatic conditions. Rev. Bras. Cienc. Agr. V20, n2, e4182.* DOI: 10.5039/agraria. v20n2e4182.

Mughal, N., Shoaib, N., Chen, J., li, y., he, y., fu, h., Li., X., He, Y., Guo, J., Deng, J., Yang, W., and Lui, J. (2024). Adaptive roles of cytokinins in enhancing plant resilience and yield against environmental stressors. Chemosphere. 364, 143189. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143189

Olmos, C. J. J., Núñez, E. M., Ramírez, S. G., de la Torre, L. G., Gómez, O. Í. y Chávez, E. E. P. (2025). Producción de forraje de maíz como estrategia de productividad y mitigación de emisiones de gases con efecto invernadero de vacas lecheras. El futuro sostenible de la lechería en México. ISBN: 978-607-9178-58-1. Danone. 189-199.

Ram, M. S., Maitra, S., and Shankar, T. (2021). Effect of plant growth regulators on crop production. International J. Agric. Sci. 17(2):775-782. DOI:10.15740/HAS/IJAS/17.2/775-782.

Reyes-González A., Ruíz-Álvarez, O., Sánchez-Duarte, J. I., Reta-Sánchez, D. G., Espinoza-Arellano, J. J. y Preciado-Rangel, P. (2024). Efecto de temperaturas máxima estacional sobre el rendimiento y productividad del agua en maíz forrajero en ciclos consecutivos. Terra Latinoamericana. 42:1-10. E1962. https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1962

Rodrigues, M. A., Correia, C. M., and Arrobas, M. (2024). The application of a foliar spry containing *Methylobacterium symbioticum* had a limited effect on crop yield and nitrogen recovery in field and pot-grown maize. Plants. 13, 2909. https://doi.org/10.3390/ plants13202909.

SAS Institute. (2013). The SAS System for Windows, Release 9.4. Statistical Analysis Systems Inst., Cary, NC.

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ FORRAJERO EN FUNCIÓN DEL HÍBRIDO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN

Jorge A. Granados Niño[1*], Juan I. Sánchez Duarte[2], Omar I. Santana[3], Alan O. Vargas Morales[1], Esmeralda Ochoa Martínez[2], Arturo Reyes González[2], Jorge A. Maldonado Jáquez[2], Jorge A. Bustamante Andrade[1]

[1]Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Durango. C.P. 35111 [2]INIFAP-Campo Experimental La Laguna. Matamoros. Coahuila C.P. 27440. [3]INIFAP-Campo Experimental Pabellón. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. C.P. 0660. *Autor de correspondencia: jorge.granados@ujed.mx

Introducción

El maíz es uno de los forrajes más utilizados en la alimentación del ganado bovino lechero. En sistemas intensivos de leche, el maíz es muy importante por su elevada producción de biomasa, aporte energético y fácil conservación en forma de ensilado. Sin embargo, la producción y calidad del forraje no dependen solo del híbrido, sino de la interacción entre el genotipo y el ambiente, en donde el manejo agronómico y el estado de madurez a la cosecha son puntos críticos para asegurar una buena producción (Zaragoza-Esparza et al., 2019; García-Chávez et al., 2022). Por otra parte, la densidad de plantas también es uno de los factores de manejo que influyen en el rendimiento y calidad del maíz.

A este respecto, aumentar la densidad de plantas puede incrementar la biomasa por unidad de superficie. No obstante, cuando la población es excesiva, la competencia por radiación, agua y nutrientes reduce el tamaño de la planta, modifica la proporción de componentes y puede comprometer el rendimiento y la calidad del forraje. Por esta razón, la densidad no es universal, sino específica para cada híbrido y ambiente de producción (Rodríguez-Montalvo et al., 2021; Reta et al., 2022).

Actualmente, existen algunas recomendaciones para materiales comerciales donde, por ejemplo, para el híbrido Antílope (Asgrow®) de ciclo intermedio, de grano blanco y doble propósito (forraje y grano), se recomiendan densidades de siembra entre 90,000 a 95,000 semillas ha^{-1}. Asimismo, para el híbrido Supremo (Aspros®), material de ciclo intermedio, orientado a la producción de grano y forraje con alto potencial de rendimiento, se recomiendan densidades entre 90,000 a 100,000 semillas ha^{-1}. Por su parte, el híbrido P3201 (Pioneer®), de ciclo intermedio a precoz, con buena producción de leche por hectárea y calidad de silo, se recomiendan densidades entre 100,000 a 105,000 semillas ha^{-1}. Sin embargo, los estudios comparativos que describan diferencias entre híbridos, ciclo de cultivo, uso principal (forraje o grano) y densidad recomendada son limitados. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de tres híbridos comerciales y tres densidades de población sobre variables agronómicas, producción de forraje, composición de la planta, mazorca y granos.

Materiales y métodos

El trabajo se estableció en el Campo Experimental La Laguna, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Matamoros, Coahuila (25°32´ latitud norte - 103°14′ longitud oeste). La preparación del terreno consistió en subsoleo, barbecho, rastreo y nivelación con escrepa. Se evaluó el efecto de tres híbridos y tres densidades de población sobre variables agronómicas (floración, altura de planta, hojas, tallos, brácteas, mazorca, número de granos, litros de leche por tonelada, litros de leche por hectárea y rendimiento de forraje) en maíz forrajero.

La siembra se realizó en tierra venida el 18 de abril de 2022. Se evaluaron los híbridos (Antílope), (Supremo) y (P3201) en tres densidades de población: 80,000, 100,000 y 120,000 plantas ha^{-1}. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 3 × 3 con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de cuatro surcos de 8 m de longitud, separados a 0.76 m. La parcela útil correspondió a los dos surcos centrales, eliminando los extremos para reducir efectos de orilla. La fertilización aplicada fue de 280-80-00 unidades de N-P-K, respectivamente. Se aplicaron cuatro riegos de auxilio a intervalos de 20 días. Se realizaron aplicaciones con productos químicos para controlar gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y araña roja (*Tetranychus urticae)*.

La fecha de floración masculina se registró cuando el tallo impulsó la espiga, quedando totalmente desplegada e iniciando la liberación del polen. La fecha de floración femenina se registró cuando aparecieron los estilos a través de las brácteas. La altura de la planta se determinó desde la base del suelo hasta la punta de la espiga. A la cosecha, se seleccionaron 10 plantas al azar, de las cuales cinco plantas se separaron en hojas, tallos, brácteas y mazorcas para calcular la contribución porcentual de cada componente con base a materia seca. En la mazorca se registraron materia seca de grano, granos por fila y granos por carrera (Figura 1).

El rendimiento de forraje fresco se determinó cortando los dos surcos centrales y pesando las plantas, expresado en t ha^{-1}. Para la materia seca, se tomaron dos plantas representativas, se registró el peso fresco y se secó en estufa de aire forzado por 72 h hasta peso constante. El porcentaje de materia seca se calculó como: materia seca (%) = (peso seco/peso fresco) × 100. El rendimiento de forraje seco se obtuvo al multiplicar el rendimiento de forraje fresco por la fracción de materia seca. Los valores de leche por tonelada y por hectárea son estimaciones con base a los análisis de laboratorio. La información se analizó con el paquete estadístico SAS v.9.3 (SAS Institute, 2013), a través de un ANOVA para un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial. El modelo incluyó el bloque, híbrido, densidad de población e interacción híbrido × densidad. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey (P≤0.05).

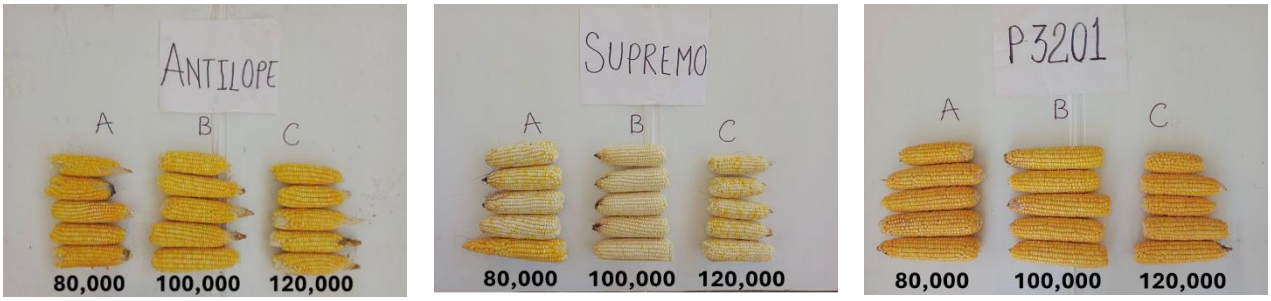


Figura 1. Tamaño de mazorcas por híbridos y por densidad.

Resultados y discusión

La floración masculina y femenina mostró diferencias entre híbridos, pero no entre densidades (Cuadro 1). P3201 fue el más precoz, con floración masculina de 62 a 65 días después de la siembra, mientras que Antílope fue más tardío, con valores de 68 a 70 días. Las diferencias de precocidad entre híbridos son relevantes para programar la fecha de corte y procurar una cosecha con contenido de materia seca apropiado para ensilaje (Zaragoza-Esparza et al., 2019). Por otra parte, el rendimiento de forraje fresco presentó un efecto ($P<0.05$) de híbrido y densidad. El mayor valor correspondió a P3201 con 120,000 plantas ha^{-1}, con 76.56 t ha^{-1}, seguido de P3201 a 100,000 plantas ha^{-1}, con 68.57 t ha^{-1}.

El menor rendimiento se obtuvo con Antílope a 80,000 plantas ha^{-1}, con 51.76 t ha^{-1}. En este sentido, el incremento de producción al utilizar altas densidades se explica por la mayor cantidad de plantas cosechadas por unidad de superficie. No obstante, para el rendimiento de forraje seco se encontró una tendencia para la interacción híbrido × densidad (P=0.08). El híbrido P3201 con 120,000 plantas ha^{-1} presentó la mayor producción, con valores de 25.06 t ha^{-1}, mientras que el hibrido Antílope sembrado a 80,000 plantas presentó la menor producción de forraje seco con 18.90 t ha^{-1}. Estos resultados coinciden con la literatura, ya que se han comprobado incrementos de rendimiento al aumentar la densidad, pero advierten que la respuesta depende del ambiente y el genotipo (Rodríguez-Montalvo et al., 2021; Reta et al., 2022).

El porcentaje de materia seca fue afectado por el híbrido y la densidad. El híbrido Antílope registró valores cercanos a 36.5%, mientras que P3201 presentó valores de 32.7 a 34.4%. En general, el incremento de población redujo el porcentaje de materia seca. Los tratamientos se ubicaron dentro del intervalo considerado como adecuado para cosechar maíz de ensilaje, de 32 a 38% de materia seca de planta completa (Amaral-Phillips et al., 2023). La proporción de hojas y tallos no presentó diferencias (P>0.05). Sin embargo, las brácteas fueron influidas por el híbrido (P>0.05), con valores mayores en Antílope. La mazorca representó del 47.60 a 54.78% de la materia seca y fue mayor en P3201; este componente es relevante debido a su asociación con la concentración de almidón y la densidad energética del ensilado (Zaragoza-Esparza et al*.,* 2019). Del mismo modo, la leche por hectárea presentó una tendencia (P=0.08) en densidad. En este sentido, las revisiones de ensilado de maíz señalan que el rendimiento, materia seca, densidad de plantas e indicadores de calidad deben evaluarse conjuntamente al seleccionar híbridos y densidades (García-Chávez et al., 2022; Robles Jiménez et al., 2024).

Cuadro 1. Efecto del híbrido y la densidad sobre variables agronómicas (altura de planta, floración masculina, floración femenina, forraje fresco, forraje seco, % de ms, % de hojas, % de tallos, % de brácteas, % de mazorcas, % de ms del grano, granos por fila y granos por mazorca) y estimaciones (leche por tonelada y leche por hectárea).

Concepto	Antílope			Supremo			P3201				Valor P		
	80	100	120	80	100	120	80	100	120	EE	Hbr	Dens	Hibr×Dens
Altura (m)	2.66	2.59	2.2	2.53	2.52	2.49	2.55	2.67	2.55	0.14	0.58	0.19	0.39
Floración Masc (dds)	68	70	68	66	66	66	63	62	65	0.77	<.0001	0.7	0.08
Floración Fem (dds)	70	70	71	68	69	68	65	65	67	0.93	<.0001	0.61	0.67
Forraje fresco (t ha^{-1})	51.76	66.89	66.54	65.45	62.02	67.73	66.23	68.57	76.56	4.2	0.01	0.02	0.06
MS forraje (%)	36.53	36.84	36.52	34.27	35.97	33.07	33.95	34.47	32.71	0.79	0.001	0.02	0.85
Forraje seco (t ha^{-1})	18.90	24.72	23.54	22.29	22.25	22.39	23.27	22.85	25.06	1.45	0.29	0.08	0.08
Hojas (% MS)	24.13	16.61	17.82	16.41	17.63	17.89	14.28	15.71	17.94	1.95	0.09	0.56	0.07
Tallos (% MS)	23.64	23.26	25.89	24.96	24.61	25.22	23.82	23.52	22.43	0.100	0.13	0.68	0.36
Bráctea (% MS)	6.06	7.40	8.03	4.87	5.06	6.40	7.14	6.21	5.92	0.74	0.02	0.43	0.23
Mazorca (% MS)	47.60	52.73	48.27	53.76	52.71	50.5	54.78	54.56	53.76	1.57	0.002	0.14	0.27
MS grano (%)	36.00	37.93	40.83	38.45	39.2	37.93	37.8	39.93	39.98	2.59	0.85	0.45	0.78
Granos/fila (#)	35	34	28	30	32	35	29	31	29	3.00	0.60	0.78	0.25
Granos/carrera (#)	16	18	16	14	17	16	14	16	17	1.00	0.66	0.12	0.74
Leche/tonelada (kg t^{-1})	1459.25	1408.45	1448.88	1409.52	1385.76	1451.39	1431.85	1474.69	1453.40	28.00	0.24	0.44	0.35
Leche/hectárea (kg ha^{-1})	27564	34812	34104	31402	31077	32519	33423	33724	36456	2388	0.17	0.08	0.30

Conclusiones

El híbrido y la densidad de población modificaron el rendimiento de forraje fresco y el contenido de materia seca del maíz forrajero. P3201 destacó por su precocidad y mayor capacidad de respuesta productiva a densidades altas, mientras que Antílope mostró los mayores porcentajes de materia seca, pero con menor rendimiento de biomasa. La interacción híbrido × densidad no fue significativa para la mayoría de las variables agronómicas y de componentes de la planta. El híbrido P3201 sembrado a 120,000 plantas ha^{-1} sobresalió en maximizar la producción de biomasa y la estimación de leche por hectárea. Aunque los resultados son promisorios, esta alternativa requiere validación en más ciclos y ambientes, complementándose con análisis de calidad del ensilado**.**

Referencias

Áldott-Sipos, Á., Csepregi-Heilmann, E., Spitkó, T., Pintér, J., Szőke, C., Berzy, T., Kovács, A., Nagy, J. y Marton, C. L. (2024). Evaluation of silage and grain yield of different maize (Zea mays L.) genotypes in organic and conventional conditions. Biologia Plantarum, 68, 122-127. https://doi.org/10.32615/bp.2024.007

Amaral-Phillips, D. M., Roy, N., Lee, C., & Lehmkuhler, J. (2023). Practical Corn Silage Harvest and Storage Guide for Cattle Producers. University of Kentucky Cooperative Extension Service: Lexington, KY, USA, 1-16.

García-Chávez, I., Meraz-Romero, E., Castelán-Ortega, O., Zaragoza-Esparza, J., Osorio Avalos, J., Robles Jiménez, L. E., & González-Ronquillo, M. (2022). Corn silage, a systematic review of the quality and yield in different regions around the world. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 23(3).

Reta Sánchez, D. G., Gaytán Mascorro, A., & Carrillo Amaya, J. S. (2022). Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. Revista Fitotecnia Mexicana, 23(1), 37. https://doi.org/10.35196/rfm.2000.1.

Robles Jiménez, L. E., Osorio Ávalos, J., Castelán Ortega, O. A., Ángeles Hernández, J. C. y González Ronquillo, M. (2024). Forage yield, chemical composition and potential milk yield using maize silage from Asia, Europe, North and South American continents: A systematic review. Tropical and Subtropical Agroecosystems.

Rodríguez-Montalvo, Flavio Antonio, Sierra-Macías, Mauro, Espinosa-Calderón, Alejandro, Vázquez-Hernández, Marcos Ventura, Barrón-Freyre, Sabel, Andrés-Meza, Pablo, & Rosario-Arellano, José Luis Del. (2021). Productividad de forraje en maíces híbridos bajo diferentes densidades de población y dosis de fertilización. Terra Latinoamericana, 39, e676. Epub 17 de junio de 2021. https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.676

Zaragoza-Esparza, Job, Tadeo-Robledo, Margarita, Espinosa-Calderón, Alejandro, López-López, Consuelo, García-Espinosa, Julio Cesar, Zamudio-González, Benjamín, Turrent-Fernández, Antonio, & Rosado-Núñez, Francisco. (2019). Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 10(1), 101-111. https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1403

EVALUACIÓN DE LÍNEAS GENÉTICAS EXPERIMENTALES DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) BAJO DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD

Karina Moreno-León[1], Neymar Camposeco-Montejo[1]*, Miguel Ángel Pérez-Rodríguez[2], Manuel Humberto Reyes-Valdés[1], Hermila Trinidad García-Osuna[1] y Antonio Flores-Naveda[1]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Fitomejoramiento. Calzada Antonio Narro, 1923, Buenavista, C. P. (25315). Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Botánica. Calzada Antonio Narro, 1923, Buenavista, C. P. (25315). Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. *Autor de correspondencia: neym_33k@hotmail.com

Introducción

El tomate jitomate (*S. lycopersicum*), es considerado como una de las hortalizas de mayor importancia a nivel mundial (Juárez et al., 2022), debido a su alto consumo, superficie cosechada y por el valor económico que representa (Mejía-Betancourt et al., 2023). Actualmente, la demanda de jitomate incrementa de forma constante, a esto hay que sumarle que el papel de México en el mercado internacional ha crecido, ya que triplicó sus exportaciones en un periodo menor a 30 años, con una tasa de crecimiento promedio anual de 5.4 % (Caamal-Cauich, 2025). Por lo anterior, es necesario incrementar el volumen de la producción (Sosa y Ruíz, 2017), lo cual, resulta complicado, ya que el cultivo es afectado por diferentes factores ya sea bióticos o abióticos (Zárate-Martínez et al., 2018). Además, los espacios disponibles para la producción agrícola cada vez son menos y los disponibles, presentan algún tipo de problema (sodicidad, salinidad, altas temperaturas, poca disponibilidad de agua o sequías) (Carbajal-Vázquez et al., 2022).

Una de las principales consecuencias de la sequía en los cultivos, es el estrés hídrico, ya que la demanda de agua excede el agua disponible para su crecimiento y desarrollo, lo cual, puede resultar en marchitamiento, decoloración de las hojas y reducción de la fotosíntesis, lo que afecta la productividad general de los cultivos (Sanchez-Olvera et al., 2024). Abordar el tema de la sequía en los cultivos, requiere un enfoque multifacético, trabajar en el uso eficiente del agua, adoptar variedades resistentes o tolerantes a la sequía (Seleiman et al., 2021). Ante este escenario, el objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar variables agronómicas y fisiológicas en plántulas de jitomate de 16 diferentes líneas genéticas experimentales y 1 material comercial, sometidas a diferentes porcentajes de humedad.

Materiales y métodos

El presente trabajo de investigación se realizó de mayo a julio de 2025, en un invernadero de polipropileno y ventilación activa del departamento de Fitomejoramiento en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Saltillo, Coahuila, México (25° 21’ 14.28’’ latitud norte y 101° 00’ 56.79’’ longitud oeste, a 1743 m s.n.m.).

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial (17 X 4), donde el factor A fueron 16 diferentes líneas genéticas experimentales + 1 material comercial (17 niveles), los cuales, se sembraron el 31 de mayo de 2025 en charolas de germinación de poliestireno de 60 cavidades, en sustrato perlita: peat moss relación 1:1 (v: v) y el factor B fueron los porcentajes de humedad: 7, 15, 25 y 35 % (4 niveles). Para alcanzar estos porcentajes de humedad, se aplicó de forma manual el volumen de agua determinado en la calibración con un sensor de humedad, modelo Modbus Rs485.

La nutrición fue suministrada a través del riego y se utilizó la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1961) al 50%. Se determinó temperatura y humedad relativa promedio por hora con un sensor Data Logger modelo Elitech Rc-4hc, con estos datos se calculó el Déficit de Presión de Vapor (DPV) utilizando la ecuación propuesta por Rosenberg et al. (1983).

$$DPV = 0.61078\, exp\left(\frac{17.269 * T}{T + 237.3}\right) * \left(1 - \frac{HR}{100}\right)$$

Dónde: DPV = Déficit de Presión de Vapor (KPa); T = temperatura del aire (◦C) y HR = humedad relativa (%).

Se evaluaron las siguientes variables a los 15, 30 y 45 días después de la emergencia (DDE), altura de planta con un flexómetro, los resultados se reportaron en cm; diámetro de tallo con un vernier digital MEESTORY, los resultados se reportaron en (mm) y número de hojas. El experimento se estableció bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial (17 X 4), con seis repeticiones. Se realizó análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias por el método Tukey ($p<0.05$) en el programa estadístico INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2008). Los datos se presentaron en valores medios.

Resultados y discusión

El día 14 de junio se alcanzó una temperatura de 52 °C a las 14 horas, a esa misma hora la humedad relativa fue de 14 % y el déficit de presión de vapor fue de 12 kPa. Entre las 8 y 14 horas se alcanzó la temperatura más alta (27 – 52 °C), así también los valores de déficit de presión de vapor más altos (5 – 12 kPa) figura 1.

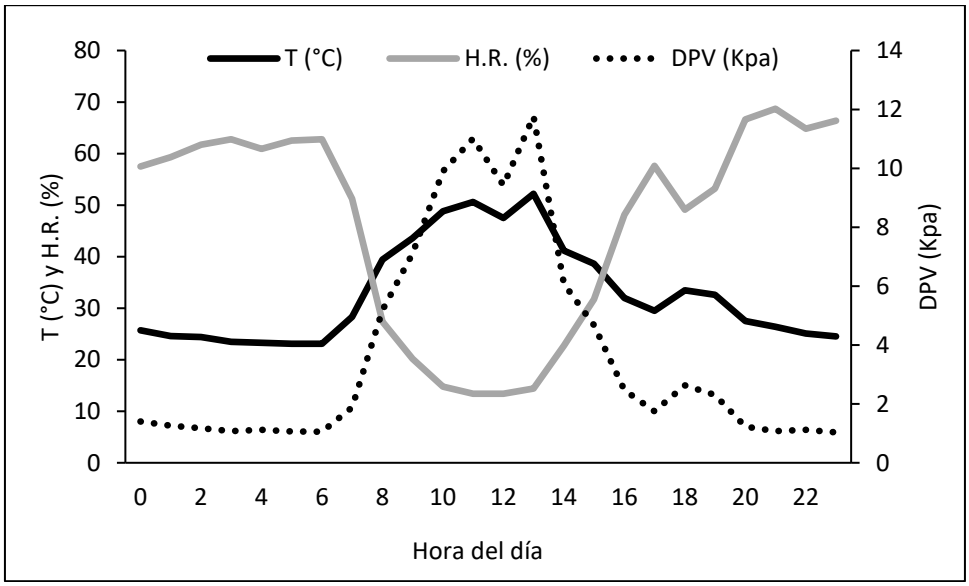


Figura 1. Valores de temperatura, humedad relativa y déficit de presión de vapor registrados en el invernadero el día 14 de junio de 2025.

Estas condiciones de alta temperatura generan una condición de estrés en las plantas de jitomate, las cuales tienen un rango óptimo de temperatura entre 15 -26 °C.

Según el análisis de varianza, el Factor A (líneas genéticas) presentó efectos significativos en la mayoría de las variables, ya que solo no influyó significativamente en el número de hojas a los 30 días después de la emergencia. El Factor B (humedad) generó efectos significativos (P ≤ 0.05) sobre todas las variables (altura de planta, número de hojas y diámetro de tallo) en las diferentes fechas de evaluación. La interacción humedad X líneas genéticas no fue significativa en ninguna de las variables analizadas, lo que indica que ambos factores actúan de manera independiente y que la respuesta de las líneas genéticas no depende del nivel de humedad. La variabilidad experimental es aceptable, lo que respalda la confiabilidad de los resultados obtenidos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza de la altura de planta, número de hojas y diámetro de tallo de 16 líneas genéticas de jitomate y un material comercial bajo cuatro diferentes porcentajes de humedad.

Fuente de variación	ADP 15 DDE	ADP 30 DDE	ADP 45 DDE	NDH 15 DDE	NDH 30 DDE	NDH 45 DDE	DDT 15 DDE	DDT 30 DDE	DDT 45 DDE
Factor A (líneas genéticas)	*	*	*	*	NS	*	*	*	*
Factor B (humedad)	*	*	*	*	*	*	*	*	*
líneas genéticas X humedad	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	15.19	16.45	19.58	13.41	14.36	15.98	19.11	14.17	16.30

C.V. = coeficiente de variación; * = significativo (P ≤ 0.05); NS = no significativo (P > 0.05); DDE = días después de la emergencia; ADP = altura de planta; NDH = número de hojas; DDT = diámetro de tallo.

El porcentaje de humedad en plantas de jitomate es determinante en sus variables agronómicas, aplicar altos porcentajes de humedad (25 y 35 %) contribuyó al vigor de las plantas, en este trabajo de investigación, se observó el impacto positivo en las variables agronómicas evaluadas, tal como lo señalaron Tahi et al. (2007) que la aplicación de un déficit de agua en la planta puede disminuir el vigor vegetativo.

La etapa de plántula es de vital importancia para identificar líneas genéticas con alto potencial de desarrollo, por lo cual, en este trabajo hubo un interés en mantener niveles óptimos de riego para propiciar un crecimiento vigoroso (Mariño, 2014), sin embargo, también existió el interés de identificar la línea genética que expresará el mejor vigor, bajo diferentes porcentajes de humedad. Ante este cuestionamiento, se identificó que las plantas de las líneas genéticas L5, L10 y L17 (material comercial) alcanzaron las mayores alturas, las líneas genéticas L6, L10 y L17 (material comercial) alcanzaron el mayor número de hoja en al menos una fecha de evaluación, la importancia del número de hojas radica en que el área foliar va a determinar la capacidad fotosintética de la planta (Fathi, 2022), y la fotosíntesis como proceso fundamental para las plantas en favor del crecimiento y producción de biomasa, está asociada al rendimiento (Chen et al., 2018).

Las plantas de las líneas genéticas L1 y L3 alcanzaron el mayor diámetro de tallo en al menos una fecha de evaluación, por lo cual, estas líneas genéticas son de interés agronómico y productivo debido a que el tallo por ser un órgano estructural primario, que sirve como conducto para el transporte y distribución de agua, nutrientes y moléculas de señalización entre los órganos de las plantas (Dickison, 2000), influye en el rendimiento del cultivo (Urrutia et al., 2026). Se infiere que existe variabilidad genética entre las líneas genéticas evaluadas, por la diversidad morfológica expresada, aunque Apáez-Barrios et al. (2026) afirmaron que el comportamiento agronómico de los materiales puede variar en función de las condiciones de producción.

Conclusiones

Las líneas genéticas evaluadas presentaron diferentes respuestas agronómicas ante los diferentes porcentajes de humedad, dejando en claro que, a mayor humedad, mejor respuesta agronómica de las plantas, sin embargo, aplicar 35 % de humedad no generó diferencias significativas con respecto a aplicar 25% de humedad, por lo cual, al aplicar 25% de humedad se hace un uso más eficiente del agua. Las líneas genéticas que mejor comportamiento agronómico presentaron en este trabajo fueron L10, L6 y L17 (material comercial), seguido de las líneas genéticas L9 y L5.

Referencias

Apáez-Barrios M, Ayvar-Serna S, Díaz-Nájera JF, Sánchez-De la CM, Zárate-Martínez W, Arispe-Vázquez JL, Apáez-Barrios P, Terrones-Salgado J (2026) Yield of Apaxtleco Creole Chili Peppers (*Capsicum annuum* L.) under Chemical, Biological, and Organic Fertilization. Agro Productividad 19(1):231-241. https://doi.org/10.32854/d0er5j02

Caamal-Cauich I, Fonseca-Varela M, Reyna-Izaguirre DA, Pat-Fernández VG, Ávila-Dorantes JA, (2025) Determinantes de la competitividad del jitomate mexicano de exportación. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 16(6): e3810. https://doi.org/10.29312/remexca.v16i6.3810

Carbajal-Vázquez, VH, Gómez-Merino FC, Alcántar-González EG, Sánchez-García P, Trejo-Téllez LI (2022) Titanium Increases the Antioxidant Activity and Macronutrient Concentration in Tomato Seedlings Exposed to Salinity in Hydroponics. Plants 11(8): 1036. https://doi.org/10.3390/plants11081036

Chen Z, Tao X, Khan A, Tan DKY, Luo H (2018) Biomass Accumulation, Photosynthetic Traits and Root Development of Cotton as Affected by Irrigation and Nitrogen-Fertilization. Frontiers in Plant Science 9: 173. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00173

Dickison WC (2000) 3 - Tissue organization in stems, leaves, and roots. In: Dickison, W. C. (Ed.), Integrative Plant Anatomy. Academic Press, Burlington. 159 pp. https://doi.org/10.1016/B978-012215170-5/50004-2

Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo CW (2008) InfoStat versión 2008. Córdoba, Argentina: GrupoInfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. https://www.infostat.com.ar/ Fecha de consulta: 25 de abril de 2026.

Fathi A (2022) El rol del nitrógeno (N) en el crecimiento de las plantas, pigmentos de fotosíntesis y eficiencia del empleo del nitrógeno. Artículo de revisión. Agrisost 28: 1-8. https://doi.org/10.5281/zenodo.7458165

Juárez JMAR, García CMA, Pérez MA del C, Dávila LM del R, López GLA (2022) Adaptabilidad y calidad fisicoquímica de cuatro híbridos de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en sistema hidropónico en el municipio de Tomatlán, Ver. Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan 10(2): 01-08. https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v10i2.446

Mariño YA (2014) Respuesta fotosintética de *Coffea arabica* L. a diferentes niveles de luz y disponibilidad hídrica. Acta Agronómica 63(2): 128-135. https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.38454

Mejía-Betancourt F de los Á, Sánchez Del C F, Moreno-Pérez E del C, González-Molina L (2023) Esquejes enraizados, una alternativa para la producción de jitomate bajo invernadero en ciclos cortos. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas 14(3): 389-399. https://doi.org/10.29312/remexca.v14i3.3038

Rosenberg NJ, Blad BL, Verma SB (1983) Microclimate; the biological environment (2nd Edn). John Wiley andSons. New York, USA. 528p.

Sanchez-Olvera M, Martin-Vasquez C, Mayordomo C, Illescas-Miranda J, Bono M, Coego A, Alonso J, Hernández-González M, Jiménez-Arias D, Forment J, Albert A, Granell A, Borges AA, Rodriguez PL (2024) ABA-receptor agonist iSB09 decreases soil water consumption and increases tomato CO_2 assimilation and water use efficiency under drought stress. Environmental and Experimental Botany 225: 105847. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105847

Seleiman MF, Al-Suhaibani N, Ali N, Akmal M, Alotaibi M, Refay Y, Dindaroglu T, Abdul-Wajid HH, Battaglia ML (2021) Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. Plants 10(2): 259. https://doi.org/10.3390/plants10020259

Sosa BA, Ruíz IG (2017) La disponibilidad de alimentos en México: un análisis de la producción agrícola de 35 años y su proyección para 2050. Papeles de Población 23(93): 207-230. https://doi.org/10.22185/24487147.2017.93.027

Steiner A (1961) A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant and Soil 15(2): 134–154. https://doi.org/10.1007/BF01347224

Tahi H, Wahbi S, Wakrim R, Aganchich B, Serraj R, Centritto M (2007) Water relations, photosynthesis, growth and water-use efficiency in tomato plants subjected to partial rootzone drying and regulated deficit irrigation. Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology 141(2): 265–274. https://doi.org/10.1080/11263500701401927

Urrutia M, Gomez-Gordo O, Ruiz-Rubio C, Mateos del Amo JC, Gallardo M, Segado P, Heredia, A, Domínguez E, Fernandez-Muñoz R (2026) Natural variation in *Solanum pimpinellifolium* reveals novel QTLs for stem architecture and secondary growth in tomato. Scientia Horticulturae 356: 114601. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2025.114601

Zárate-Martínez W, González-Morales S, Ramírez-Godina F, Robledo-Olivo A, Juárez-Maldonado A (2018) Efecto de los ácidos fenólicos en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) inoculadas con *Clavibacter michiganensis*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 9(spe20): 4367-4379. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.1005

SERIES DE TIEMPO PARA EVALUAR EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ÁREAS PRODUCTORAS DE FRIJOL EN DURANGO

Saúl Santana-Espinoza[1*], Selene Yuridia Márquez Guerrero[2], Rigoberto Rosales Serna[1], Pablo Preciado-Rangel[2], José Antonio Cueto Wong[1], Mario Cervantes Medina[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Campo Experimental La Laguna. Blvd José Santos Valdéz 1200 Pte. Matamoros, Coah., México. C. P. 27440. [2]Instituto Tecnológico de Torreón, Carr. Torreón - San Pedro, km 7.5, Ejido Ana. Torreón, Coahuila, México. C. P. 27170. [3] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Campo Experimental Valle del Guadiana. Ctra. Durango - El Mezquital km 4.5. Durango, Dgo., México. C. P. 34170. [3]Programa de Posgrado de Doctorado en Ciencias en Agua y Suelo, Instituto Tecnológico de Torreón. Carr. Torreón - San Pedro km 7.5. Ejido Ana. Torreón, Coah., México. C. P. 27170. *Autor para correspondencia: santana.saul@inifap.gob.mx

Introducción

A nivel mundial se ha especulado sobre el Calentamiento Global, también conocido como Cambio Climático, causado por la contaminación del medio (Caballero et al., 2007; Nuez et al., 2021). Se ha dicho que la temperatura del planeta ha experimentado incrementos significativos de casi 0.5 °C entre 1961 y 1990 (Caballero et al., 2007). Se dice que los efectos del Calentamiento Global ya se han sentido en nuestro planeta, con el aumento en el nivel del mar y cambios en los patrones climáticos, modificando cuando y cuanto llueve en cada región y esto tiene consecuencias económicas y ecológicas. Es claro que la agricultura será una rama de la actividad humana muy vulnerable al cambio climático (Caballero et al., 2007). Inicialmente se menciona que se registrarán cambios en la fotosíntesis, metabolismo y crecimiento de las plantas (Sahrawy, 2025). Con ello, se pronosticaron reducciones drásticas del rendimiento en los cultivos básicos para la alimentación de los mexicanos. El frijol es el segundo cultivo básico en importancia nacional, con base en la superficie sembrada, la cual en 2025 alcanzó los 1.5 millones de ha (SIAP, 2026), con una producción total de 1.4 millones de toneladas y un rendimiento promedio de 0.90 t/ha. Por su parte en Durango, se sembraron 205,281 ha, se tuvieron 115 ha siniestradas y se produjeron casi 160 mil toneladas, a razón de 0.77 t/ha.

El año 2025, se tuvo un ciclo favorable para el cultivo de frijol en Los Llanos y Valles de Durango, debido a la cantidad y distribución del agua de lluvia (571 mm) y los patrones de temperatura registrados durante el ciclo de cultivo (T° Máxima = 29 °C; T° Mínima = 12.1 °C). Sin embargo, la mayoría de los años se observan cantidades bajas y patrones irregulares de la lluvia, lo que causa pérdidas drásticas del rendimiento en frijol y otros cultivos. Las características observadas típicamente para estas variables pueden relacionarse con el calentamiento Global, aunque las fluctuaciones en la lluvia y temperatura han existido durante siglos en el estado de Durango. Incluso el frijol, como especie y raza (Durango), ha evolucionado en estas condiciones y muestran adaptación en condiciones de estrés hídrico (sequía) y ajuste de su fenología con base en los patrones variables de lluvia y temperatura (plasticidad fenológica). Existen métodos, como series de tiempo y regresión, para detectar tendencias, variaciones cíclicas y estacionales, con el fin de reproducirla a través de modelos estadísticos para establecer las posibilidades de hacer estimaciones y predicciones sobre un fenómeno en particular (Moreno, 2008).

Una serie de tiempo (serie temporal o cronológica) es una secuencia de datos, observaciones y valores, medidos en determinados momentos y ordenados cronológicamente (Rojas-Jiménez, 2022). Para el análisis de las series de tiempo se usan métodos que ayudan a interpretarlas y que permiten extraer información representativa sobre las relaciones subyacentes entre los datos, realizar extrapolaciones e interpolaciones. El establecimiento de un modelo robusto puede utilizarse para predecir el comportamiento de la serie y planear acciones para favorecer la resiliencia de las especies cultivadas.

Una serie se considera como estacionaria si la media y la variabilidad se mantienen constantes a lo largo del tiempo. Esto se refleja gráficamente en que los valores de la serie tienden a oscilar alrededor de una media constante y la variabilidad con respecto a esa media también permanece constante en el tiempo. Esta es la base cuando hablamos de las series climatológicas en periodos de 30 años, suponemos que son estacionarias en ese periodo y las variables son independientes durante estos años. El análisis de series temporales mediante el modelo ARIMA (Media Móvil Integrada Autorregresiva) en R es un método para analizar y pronosticar datos que varían con el tiempo. R ofrece funciones como `arima()` y `auto.arima()`, pertenecientes al paquete `forecast`, para modelar datos de series de tiempo. Estas funciones permiten ajustar el modelo a datos históricos y predecir valores futuros basándose en los patrones observados en la serie (Dhamo y Puka, 2010). El objetivo fue analizar series de tiempo para evaluar el impacto del cambio climático en áreas productoras de frijol en Durango.

Materiales y métodos

Consulta de bases de datos. Se consultaron bases de datos públicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), de la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2026). Se obtuvieron registros promedio anual para la temperatura mínima y temperatura máxima; así como, para la precipitación pluvial acumulada durante el año. La cantidad de años utilizados para cada estación fueron variables (Cuadro 1), dependiendo del año de instalación, operatividad de la caseta, errores por falta de mantenimiento y año de suspensión de labores. El número de años varió desde 29 en la estación de Luis Moya, hasta 59 en Vicente Guerrero, Dgo.

Cuadro 1. Número de años de registro utilizados en el estudio de series de tiempo para municipios productores de frijol en Durango.

Estación	Coordenadas	Región	Años	Altitud (m)
Guadalupe Victoria	24.44611111 -104.122222	Los Llanos	46	2000
Cuauhtémoc	24.25138889 -103.7955556	Los Llanos	32	2175
Luis Moya	24.55277778 -103.9641667	Los Llanos	29	1920
Canatlán	24.51805556 -104.7833333	Valle de Canatlán	57	2000
Vicente Guerrero	24.51805556 -104.7833333	Valle de Nombre de Dios	59	2000

El área de estudio consideró varios municipios importantes para la producción de frijol en Durango, los cuales se encuentran en la región de Los Llanos de Durango y los valles de Canatlán y Nombre de Dios. Se incluyeron Cuencamé (Cuauhtémoc), Guadalupe Victoria, Peñón Blanco (Luis Moya), Canatlán y Vicente Guerrero. Se consideraron los datos existentes en las bases históricas del Servicio Meteorológico Nacional, de la Comisión Nacional del Agua (https://smn.conagua.gob.mx /tools/RESOURCES/Normales_Climatologicas/Mensuales/dgo/mes10150.txt). Las bases anuales de cada estación se depuraron con base en el registro de las variables durante todos los meses del año, es decir que tuvieran la precipitación pluvial (mm), temperatura máxima promedio (°C) y temperatura mínima promedio (°C).

Descripción del área. El suelo predominante es el franco (arenoso-arcilloso; Leptosol, Vertisol y Phaeozem), poco profundos, con capacidad baja de retención de humedad, profundidad media, pendiente de 0 a 4 %, pH de 7.0 y son pobres en contenido de materia orgánica, fósforo y nitrógeno. El clima predominante en la región de estudio es el templado semiárido, con régimen de lluvias en verano, muestra variación fuerte de temperatura [BS_1 Kw (w) (e)] y la media anual para esa variable es 17.4 °C (García, 1987). La lluvia acumulada durante el año alcanza un promedio de 476 mm, con valores altos entre junio y septiembre (Medina et al. 2005).

Análisis de la Información. La información obtenida se analizó en el programa R (R Core Team, 2024), con el paquete y librería 'forecast´. Se utilizó el modelo ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) que arroja pronósticos precisos de series de tiempo univariadas y gráficos con estacionalidad mediante la función auto.arima. Esta función representa una opción para elegir el mejor modelo matemático para predecir el comportamiento de una variable meteorológica en particular, con la finalidad de tomar decisiones informadas. Se obtuvieron gráficas con el comportamiento histórico de cada variable a través del tiempo y al final se observó el ajuste proporcionado por el modelo (predicción) y los intervalos de confianza (99% y 95%).

Resultados y Discusión

Se observó que, en el estado de Durango, los valores promedio mensuales para la temperatura mínima promedio, ha mostrado incrementos en algunas localidades, como en Guadalupe Victoria (8.4 °C) (Figura 1A), lo que se relacionó con la urbanización de las áreas cercanas a las estaciones meteorológicas. La respuesta mostró tendencia creciente, debido al aumento de la población en dicha localidad; así como, el movimiento poblacional registrado de los poblados cercanos del propio municipio y del sur de Cuencamé. En el resto de las estaciones se observó tendencia de incremento en los datos históricos, aunque luego se observó estabilidad para los datos futuros, como fue el caso de Vicente Guerrero (Figura 1 B). El incremento en la temperatura mínima influyó en la reducción del ciclo biológico del frijol y otros cultivos agrícolas. También, se ha observado disminución de las heladas que causan las temperaturas bajas y se alargó el periodo libre de heladas.

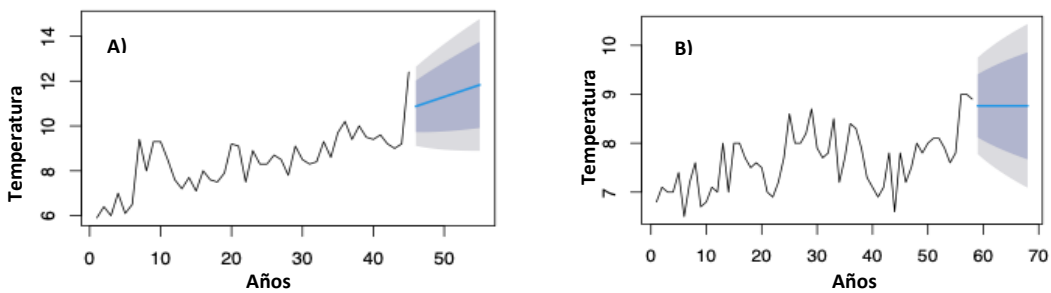


Figura 1. Temperatura mínima media (°C) en diferentes localidades de Durango. A) Guadalupe Victoria, B) Vicente Guerrero.

En el caso de la temperatura máxima promedio se observó fluctuación drástica y periodos de estabilidad media en los niveles altos para todas las estaciones, tanto en Guadalupe Victoria Dgo. (Figura 2A), como en Vicente Guerrero, Dgo. (Figura 2 B), aunque al final se observa una tendencia hacia una ligera reducción de dicha variable. La temperatura máxima se relaciona con los niveles de radiación solar y muestra influencia sobre la evaporación de humedad del suelo y la disponibilidad hídrica para las plantas de frijol y otros cultivos.

En condiciones favorables de humedad la temperatura máxima influye en el desarrollo de las plantas, con un incremento en la acumulación de biomasa a medida que aumenta la temperatura hasta cierto límite (28 °C). En el caso de la disminución de la temperatura máxima promedio se ha relacionado con la reducción del crecimiento y se amplía la duración de las etapas fenológicas en los cultivos agrícolas; así como, de otras plantas y organismos presentes en un ecosistema determinado.

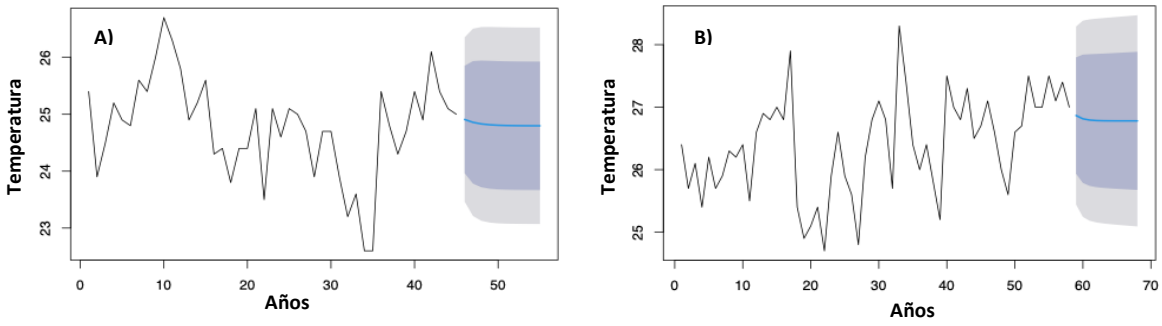


Figura 2. Temperatura mínima media (°C) en diferentes localidades de Durango. A) Guadalupe Victoria, B) Vicente Guerrero.

La precipitación pluvial mostró fluctuación extrema a través del periodo de estudio (Figura 3A y 3B), en todas las casetas meteorológicas de la región de los Llanos de Durango y valles aledaños (Valle de Nombre de Dios y Valle de Canatlán). La tendencia observada al final del periodo de evaluación; tanto en Guadalupe Victoria (2A), como en Vicente Guerrero (2B), Dgo., demostró que la lluvia acumulada se mantendrá cercana a los 500 mm en las regiones productoras de frijol; al mismo tiempo que seguirá mostrando irregularidad y fluctuación, con periodos en los que se registrarán lluvias torrenciales y otros sin precipitación considerable (sequía). En esas condiciones el frijol muestra adaptación y aún en los años menos propicios para el cultivo de esta especie, en los que se ha observado que produce algo de grano. Tal fue el caso de 2011, en el cual se registró desfase, un nivel bajo de precipitación pluvial, a pesar de lo anterior se produjeron únicamente cerca de 20 mil toneladas de grano, con un rendimiento de 160 kg/ha.

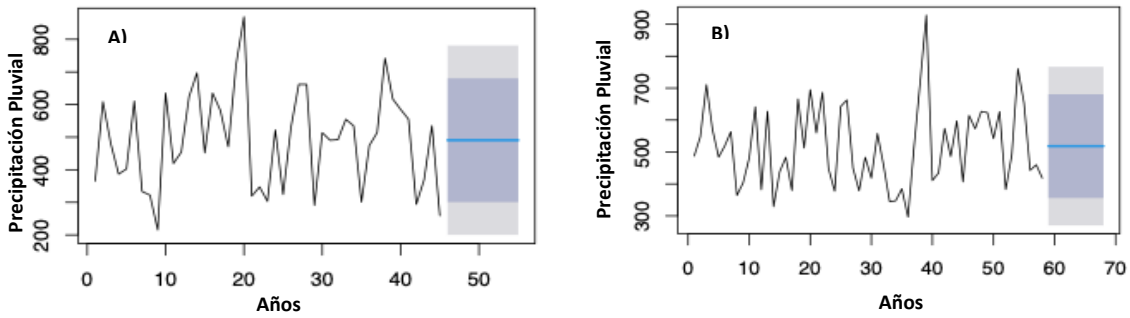


Figura 3. Temperatura mínima media (°C) en diferentes localidades de Durango. A) Guadalupe Victoria, B) Vicente Guerrero.

Conclusiones

Existe evidencia limitada de los efectos que el calentamiento global causa sobre las variables de importancia en el cultivo de frijol establecido en la región de Los Llanos y Valles de Durango. En dichas regiones las temperaturas máximas y mínimas; lo mismo que, la precipitación pluvial, continuarán con patrones fluctuantes entre sitios, días, meses y años. Lo anterior, demandará la selección basada en la resiliencia de las variedades nativas y mejoradas, las cuales mantendrán sin efectos notables del "calentamiento global" sobre el rendimiento y la calidad del frijol producido en Durango. La selección de variedades favorecerá también la resiliencia de la productividad agrícola en Durango y otras entidades de México.

Referencias

Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria, 8*(10), 1-12.

Dhamo, E., & Puka, L. (2010). Using the R-package to forecast time series: ARIMA models and Application. *In International Conference Economic & Social Challenges and Problems* (pp. 1-14). Tirana University.

García M., E. (1987). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4a. ed. Enriqueta García de Miranda. México, D. F. 217 p.

Medina G., G., G. Díaz P., J. López H., J. A. Ruiz C., y M. Marín S. (2005). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango (Periodo 1961-2003). Libro Técnico Núm. 1. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo. México. 224 p.

Moreno S., E. (2008). Predicción con series de tiempo y regresión. *Panorama 2*(4): 36-58.

Nuez V., M. J., F. Palacios V., P. M. Miranda C., M. M. Corona. (2021). El calentamiento global. Disponible en: https://espiral.esn.edu.mx/wp-content/uploads/2021/02/El-calentamiento-global.pdf. Consultado en septiembre de 2026.

R Core Team. (2024). R: A language and environment for statistical computing [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing.

Rojas-Jiménez, K. (2022). Ciencia de datos para ciencias naturales. Disponible en: https://bookdown.org/keilor_rojas/CienciaDatos/. Consultado el 18/09/2026.

Sahrawy B., M. (2025). Las plantas ante el cambio climático. *Dosier Científico 225*: 8-9.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2026). Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/. Fecha de consulta 8 de enero de 2026.

EFECTO DEL TRATAMIENTO PREGERMINATIVO (PRIMING) SOBRE VARIABLES FISOLÓGICAS DE GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)

Brisbany Alexandra Rodríguez Villa[1,2], Mayra Denise Herrera[1*], Valentín Melero Meraz[1], Lucio Cobarrubio Arreaga[1,2], Amanda Kim Rico Chavez[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Ctra. Zacatecas-Fresnillo, km. 24.5, Calera de V.R., Zacatecas, México. C.P. 98500. [2]Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas Ctra. Zacatecas-Guadalajara Km. 15.5, Cieneguillas, Zacatecas, México C.P. 98170. [3]Universidad Autónoma de Querétaro. Universidad 231, Cerro de las Campanas S/N, Las Campanas, 76010 Santiago de Querétaro, Qro. *Autor de correspondencia: mayradherrera@gmail.com

Introducción

El frijol común (Phaseolus vulgaris L.) es una de las leguminosas de mayor trascendencia agrícola, económica y social en México y América Latina, desempeñando un papel clave en los sistemas alimentarios tradicionales y la seguridad alimentaria de la región (Sangerman-Jarquín et al., 2010; Uebersax et al., 2022). Su valor nutrimental radica en que constituye una fuente fundamental de proteína, carbohidratos, fibra dietética y minerales para la población. Asimismo, su amplia diversidad genética y adaptación a diversas condiciones agroecológicas han impulsado el cultivo de múltiples variedades, haciendo indispensable la búsqueda constante de estrategias que optimicen el establecimiento inicial del cultivo en el campo (Sangerman-Jarquín et al., 2010).

Dado que la germinación es una etapa crítica para garantizar una emergencia rápida, uniforme y homogénea de las plantas, el *priming* surge como una técnica de acondicionamiento fisiológico eficaz para mejorar la respuesta germinativa de las semillas. En el caso de *P. vulgaris*, el tratamiento previo con ácido salicílico, un compuesto de señalización vegetal involucrado en la regulación del crecimiento y en la respuesta ante estrés ambiental, ha demostrado modificar favorablemente los parámetros de germinación y desarrollo temprano (Karimi et al., 2025).

A esta estrategia se suma el uso de micronutrientes esenciales para el metabolismo vegetal: el zinc, implicado en la activación enzimática y diversos procesos metabólicos, y el molibdeno, clave en la asimilación del nitrógeno, los cuales son suministrados mediante sulfato de zinc y molibdato de amonio, respectivamente. Dado que la efectividad del *priming* puede variar según el trasfondo genético y las características fisiológicas de cada semilla, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia del *priming* con ácido salicílico, sulfato de zinc y molibdato de amonio sobre la dinámica germinativa de los genotipos de frijol Criollo Conka y Flor de Mayo.

Materiales y métodos

Tratamiento pregerminativo de las semillas de frijol. Para el tratamiento de acondicionamiento pregerminativo (priming), se utilizaron semillas de frijol de los genotipos Criollo Conka (CC) y Flor de Mayo (FM). Las semillas se sometieron a un proceso de imbibición por inmersión directa durante un periodo de 6 h a temperatura ambiente (20–30 °C) en solución de ácido salicílico (0.1 mM), sulfato de zinc (5 mM) y molibdato de amonio (5 mM). Concluido el tiempo de imbibición, las semillas fueron retiradas de los tratamientos y sometidas a un proceso de secado a la sombra durante 24 a 48 h (manteniendo el rango de temperatura de 20–30 °C) hasta restablecer su contenido de humedad inicial previo a la siembra, garantizando la detención de las fases metabólicas avanzadas antes de la emergencia radicular.

Establecimiento de las parcelas experimentales. Las parcelas experimentales se establecieron en el Campo Experimental Zacatecas del INIFA (22° 54' N, 102° 39' O; 2 197 msnm) el julio del 2026. Se siguió un diseño experimental con bloques al azar. Los tratamientos fueron: CC x sin *priming*, CC x *priming*, FM x sin *priming*, FM x *priming.* Cada tratamiento fue replicado cuatro veces. Cada bloque fue de 2 surcos de 6 metro lineales, en condiciones de temporal.

Evaluación de variables fisiológicas de germinación. Para evaluar la dinámica germinativa, se realizaron conteos diarios durante un periodo de 9 a 10 días posteriores a la siembra, considerando como germinada aquella semilla cuya radícula alcanzó una longitud mínima de 10 mm. A partir de estos registros, se determinaron cinco variables fisiológicas.

Tiempo medio de germinación (TMG). Se calculó según la ecuación propuesta por Ellis y Roberts (1981) como:

$$TMG = \Sigma(D \cdot n) / \Sigma n$$

Donde: *n* es el número de semillas germinadas en el día *D*.

Índice de germinación (IG). Se estimó de acuerdo con la AOSA (1983) mediante la sumatoria del cociente entre las semillas germinadas diariamente y el día de evaluación correspondiente:

$$IG = \Sigma(G_t / D_t)$$

Coeficiente de velocidad de germinación (CVG). Se determinó según Maguire (1962) mediante la relación:

$$CVG = \Sigma G_i / \Sigma(i \cdot G_i)$$

Donde: G_i representa el número de semillas germinadas en el día *i*.

El porcentaje de germinación (PG). Se obtuvo al décimo día expresando el total de semillas germinadas respecto al total sembrado en porcentaje, siguiendo los criterios de la AOSA (1990) y Cokkizgin y Cokkizgin (2012):

$$PG = (\text{Número de semillas germinadas} / \text{Total de semillas}) \times 100$$

Finalmente, el *Índice de vigor de la semilla* (*IVS*) se calculó conforme a Baki y Anderson (1973) multiplicando la longitud media de la plántula en centímetros por el porcentaje de germinación:

$$SVI = \text{Longitud de plántula} \times GP$$

Análisis estadístico. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza ANOVA. Las diferencias entre los diferentes tipos de plantas (sana, asintomática y sintomática) se consideraron significativas si el valor de probabilidad fue menor a 0.05 ($P<0.05$) con la prueba de Tukey. Los análisis se realizaron en el software estadístico JMP 5.0.1 (SAS Institute, Cary, NC.EE.UU.). El procesamiento de datos para obtención de graficas se realizó en el Programa GraphPad 8.

Resultados y discusiones

La evaluación de los parámetros de germinación en las semillas de frijol reveló respuestas diferenciales significativas según los tratamientos evaluados (Figura 1). En lo relativo al porcentaje de germinación (Figura 1B), se registraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), el tratamiento MST alcanzó el mayor porcentaje (100 %), superando de manera significativa al tratamiento CST, el cual presentó la menor respuesta (aproximadamente 85 %), mientras que los tratamientos MT y CT mostraron un comportamiento intermedio sin diferencias significativas.

Asimismo, el índice de vigor de la semilla (Figura 1E) exhibió variaciones notables ($p < 0.05$), donde el tratamiento MT registró el valor más elevado (alrededor de 1800 %·cm, nivel 'a'), siendo significativamente superior a CST (aproximadamente 1200 %·cm, nivel 'b'), mientras que MST y CT se mantuvieron en niveles intermedios (nivel 'ab').

En contraste, las variables asociadas a la cinética y dinámica temporal de la germinación, tales como el tiempo medio de germinación (TMG; Figura 1A; rango de 4.5 a 5.2 días), el coeficiente de velocidad de germinación (CVG; Figura 1C; ~19 a 22 días-1) y el índice de germinación (IG; Figura 1D; ~1.1 a 1.3 semillas/día), no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos analizados.

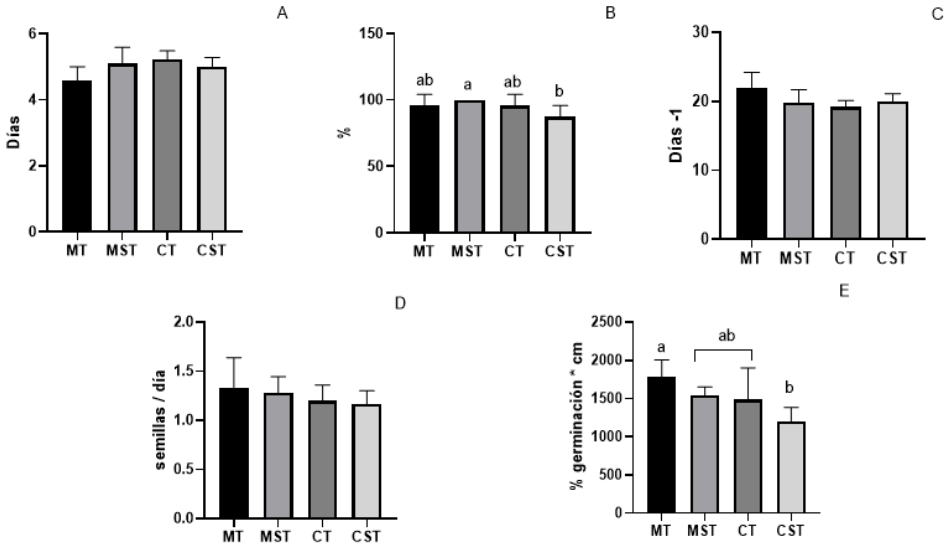


Figura 1. Parámetros de germinación. Los resultados se muestran como la media ± DE. Letras diferentes entre barras indican diferencia significativa ($p<0.05$) con la prueba de Tukey. A, Tiempo medio de germinación; B, Porcentaje de germinación; C, Coeficiente de velocidad de germinación; D, Índice de germinación; E, Índice de vigor de semilla.

Los hallazgos de este experimento indican que, aun cuando la cinética de emergencia (TMG, CVG y IG) se mantuvo estable entre los tratamientos, el acondicionamiento influenció de manera sustancial la capacidad germinativa final y la calidad fisiológica de las plántulas. La respuesta observada en el porcentaje de germinación y el índice de vigor coincide con lo reportado en leguminosas por Farooq et al. (2019) y Umair et al. (2024), quienes señalan que las técnicas de acondicionamiento pregerminativo (*priming*) estimulan los procesos de la fase II de imbibición, como la reparación del material genético, la reactivación del aparato enzimático e hidrolítico y la movilización de reservas, sin inducir la protrusión de la radícula (Bewley, 1997).

El alto desempeño del tratamiento MT en el vigor de la semilla sugiere una mayor eficiencia en la movilización de reservas embrionarias hacia el eje embrionario y una mayor protección contra el estrés oxidativo durante la rehidratación inicial (Hegazi & El-Shraiy, 2010; Alam et al., 2022). Por su parte, el menor vigor y porcentaje de germinación registrados en el tratamiento CST respaldan lo documentado por Karimi et al. (2025) y Reis et al. (2020), en cuanto a que la interacción entre la combinación del tratamiento y las condiciones de secado/almacenamiento influyen decisivamente en la retención del vigor de la semilla y el desempeño inicial del cultivo de P. vulgaris (Sangerman-Jarquín et al., 2010).

Conclusión

En conclusión, la aplicación del acondicionamiento pregerminativo (*priming*) demostró ser una estrategia eficaz para influir de forma positiva en la capacidad germinativa y la calidad fisiológica inicial del frijol (*P. vulgaris* L.), aun cuando la cinética de emergencia de las semillas se mantuvo constante entre los tratamientos evaluados. Las diferencias estadísticamente significativas observadas en el porcentaje de germinación y en el índice de vigor de la semilla resaltan la efectividad del tratamiento de acondicionamiento (MT) en la estimulación del crecimiento radicular y la movilización celular de reservas embrionarias, mientras que la variante TMG garantizó una tasa de establecimiento cercano al máximo potencial. De esta manera, el uso de tratamientos de *priming* representa una alternativa viable y promisoria para optimizar la homogeneidad, el vigor inicial y el desempeño agronómico del cultivo de frijol desde sus etapas más tempranas de desarrollo.

Referencias

Alam, P., et al. (2022). Salicylic acid priming enhances seed germination, vigor, and antioxidant defense in plants. Journal of Plant Growth Regulation, 41(3), 1120-1132.

AOSA (1983). Seed Vigor Hand Testing Book, 122-128 p. Contribution No. 32 to the Handbook on Seed Testing. Association of Official Seed Analysis. Springfield, USA.

AOSA (1990). Rules for Testing Seeds, USA. J Seed Technol 12:1-112.

Baki AA, AndersonJD (1973).Vigour determination in soybean by multiple criteria. Crop Sci 13:630-633.

Bewley, J. D. (1997). Seed germination and dormancy. The Plant Cell, 9(7), 1055-1066.

Cokkizgin, A. (2012). Salinity Stress in Common Bean (Phaseolus vulgaris L.) Seed Germination. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 40(1), 177–182.

Ellis R.A., Roberts E.H. (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. Seed Sci Technol 9:373-409.

Farooq, M., Uswah, S., & Basra, S. M. A. (2019). Seed priming with nutrients and growth regulators improves seed germination and seedling growth in grain legumes. Crop and Pasture Science, 70(6), 520-532.

Hegazi, A. Z., & El-Shraiy, A. M. (2010). Salicylic acid ameliorates germination, seedling growth, phytohormone and enzymes activity in bean (Phaseolus vulgaris L.) under cold stress. Journal of American Science, 6(10), 417-427.

Karimi, M. R., Sabokdast, M., Korang Beheshti, H., Abbasi, A. R., & Bihamta, M. R. (2025). Seed priming with salicylic acid enhances salt stress tolerance by boosting antioxidant defense in Phaseolus vulgaris genotypes. BMC Plant Biology, 25, 489.

Maguire JD (1962). Seed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Sci 2:176-177.

Reis, A. F., et al. (2020). Nutri-priming with molybdenum enhances germination, early seedling growth and nitrogen fixation in common bean (Phaseolus vulgaris L.). Frontiers in Plant Science, 11, 584903.

Sangerman-Jarquín, D. M., Acosta-Gallego, J. A., Schwenstesius de Rindermann, R., Damián Huato, M. Á., & Larqué Saavedra, B. S. (2010). Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 1(3), 363–380.

Uebersax, M. A., Cichy, K. A., Gomez, F. E., Porch, T. G., Heitholt, J., Osorno, J. M., Kamfwa, K., Snapp, S. S., & Bales, S. (2022). Dry beans (Phaseolus vulgaris L.) as a vital component of sustainable agriculture and food security—A review. Legume Science, 5(1), e155.

Umair, M., et al. (2024). Zinc seed priming improves germination kinetics and early root architecture in legumes. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 24(1), 445-456.

RESPUESTA AGRONÓMICA DE DOS VARIEDADES CRIOLLAS DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) AL PRIMING DE SEMILLA CON ÁCIDO SALICÍLICO, ZINC Y MOLIBDENO

Adrián Lumbreras Castañeda[1,2], Valentín Melero Meraz[1*], Mayra Denise Herrera[1], Amanda Kim Rico Chavez[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Ctra. Zacatecas-Fresnillo, km. 24.5, Calera de V.R., Zacatecas, México. C.P. 98500. [2]Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas Ctra. Zacatecas-Guadalajara Km. 15.5, Cieneguillas, Zacatecas, México C.P. 98170. 3Universidad Autónoma de Querétaro. Universidad 231, Cerro de las Campanas S/N, Las Campanas, 76010 Santiago de Querétaro, Qro. Autor de Correspondencia: melero.valentin@inifap.gob.mx

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa de grano de mayor importancia para el consumo humano directo a nivel mundial. Es reconocido como una fuente de alimento densa en nutrientes por su alto contenido de proteína, fibra dietética y minerales, además de constituir un componente clave de los sistemas agrícolas sostenibles gracias a su capacidad de fijación biológica de nitrógeno (Uebersax et al., 2022; Zargar et al., 2015). En regiones como el centro-norte de México, donde se conservan numerosas variedades adaptadas localmente, este cultivo representa un recurso genético de gran valor para la agricultura a pequeña y gran escala. La leguminosa se cultiva tanto en condiciones de temporal como de riego. Debido a los desafíos que enfrenta la agricultura con los efectos del cambio climático y degradación de los recursos naturales, los agricultores han recurrido a prácticas que incluyen el uso de bioestimulantes y tratamientos presiembra para mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos, además de hacer un uso más eficiente de los insumos.

El uso de bioestimulantes, como el ácido salicílico (AS) y micronutrientes como el zinc (Zn) y el molibdeno (Mo) ha cobrado relevancia como estrategia para modular la respuesta de los cultivos frente a condiciones ambientales adversas (Abdulrahmani et al., 2007). El AS es una fitohormona fenólica que participa en la regulación de múltiples procesos fisiológicos, incluyendo germinación, crecimiento y resistencia sistémica adquirida frente a estreses bióticos y abióticos. Mientras que el Zn y Mo participan como cofactores de numerosas enzimas (deshidrogenasas, proteinasas, peptidasas, antioxidantes, entre otras) que participan en la síntesis de hormonas, integridad celular (sobre todo membranas), fotosíntesis, asimilación de nitrógeno, y mutualismo simbiótico en leguminosas (Yruela, 2013; Bursakov et al., 2023).

La aplicación de SA, Zn y Mo en tratamientos a la semilla denominados “priming”, conforma una estrategia que ha demostrado efectos positivos sobre el establecimiento y desarrollo inicial de las plantas después de la germinación. Entre las respuestas observadas se encuentran un incremento en la emergencia y su uniformidad, una mejora en el vigor de las plántulas y un mayor desarrollo del área foliar (Mohajeri et al., 2015). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del “priming” en variables agronómicas de dos variedades de frijol bajo condiciones de humedad del 80% de capacidad de campo (80 CC).

Materiales y métodos

El experimento se estableció en el Campo Experimental Zacatecas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). La preparación del terreno se llevó a cabo de manera mecanizada mediante 3 pasos de rastra utilizando un tractor compacto. La siembra se realizó el 28 de julio de 2026. Se evaluaron dos genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): Criollo Conka y Flor de Mayo, que fueron previamente tratadas mediante priming como tratamiento pregerminativo. Este tratamiento se realizó en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), y consistió en someter las semillas frijol durante 6 horas a una solución compuesta por ácido salicílico (0.01 mM), sulfato de zinc ($ZnSO_4$, 0.05 mM) y molibdato de amonio (0.5 mM). Posteriormente, las semillas se secaron a temperatura ambiente por un periodo mínimo de 24 h bajo sombra. Es importante resaltar que el tratamiento se priming señalado anteriormente surge como resultado de pruebas preliminares realizadas en la primera etapa del proyecto 'Optimización y validación en campo de tratamientos pregerminativos de acondicionamiento osmótico con micronutrientes y ácido salicílico para mejorar la tolerancia al estrés hídrico en variedades nativas de frijol (*Phaseolus vulgaris*)' financiado por la SECIHTI a favor de la UAQ, en el que se comparó diferentes tratamientos pregerminativos, incluido un control con agua. La segunda etapa del proyecto solo contempla la validación del tratamiento seleccionado en Zacatecas.

Diseño experimental. Se empleó un diseño factorial completo con bloques completos al azar de 12 repeticiones. El primer factor correspondió al 'genotipo' (niveles: Criollo Conka y Flor de Mayo), y el segundo factor al 'tratamiento' de priming de semilla (niveles: testigo sin tratar y tratado). Esto generó cuatro tratamientos: Criollo Conka Tratado (CT), Criollo Conka Sin Tratar (CST), Flor de Mayo Tratado (MT) y Flor de Mayo Sin Tratar (MST). Cada unidad experimental constó de 6 surcos de 2 m de longitud y una separación de 0.76 m con 11 semillas por metro lineal, la separación entre unidades experimentales fue de 0.6 m.

Evaluación de características agronómicas. Se evaluaron ocho variables de respuesta: peso fresco, longitud de raíz, altura de planta, número de hojas trifoliadas, peso seco de raíz, peso seco total y materia seca, y peso seco de la parte aérea. La recolección consistió en la extracción aleatoria de una planta central en 3 de las 12 parcelas asignadas a cada tratamiento, considerando cada planta extraída como una repetición estadística independiente. Esta estrategia limitó la extracción destructiva a un solo individuo por parcela seleccionada, evitando así la alteración de la densidad de población original, debido a que se ha programado muestreos destructivos periódicos en las siguientes etapas fenológicas a lo largo del ciclo del cultivo, y considerando que el frijol cosechado será posteriormente utilizado en estudio sub clínicos *in vivo* con modelos murinos. Las plantas se extrajeron con una pala de jardinería realizando una excavación circular de 20 cm de diámetro a 25 cm de profundidad para minimizar el daño físico. Inmediatamente se eliminaron los residuos de suelo mediante lavados con flujos suaves de agua, procurando conservar los nódulos radicales. Se registró el peso fresco de la planta completa con una balanza de precisión. Posteriormente, se registró la longitud de raíz con una regla graduada. Finalmente se secó el material vegetal por separado, la parte aérea y el órgano radicular, en una estufa a 60 °C hasta peso constante. El peso seco total se obtuvo mediante la suma de ambas fracciones y el porcentaje de materia seca se calculó con base en el peso seco total respecto al peso fresco.

Análisis estadístico. Los datos se analizaron mediante ANOVA utilizando el software JMP v10 (SAS Institute, Cary, NC.EE.UU.) a un nivel de confianza del 95%. Se consideraron diferencias significativas con valores de p menores a 0.05 ($p < 0.05$). La comparación de medias se realizó con la prueba t de Student. El procesamiento de datos para obtención de graficas se realizó en el Programa GraphPad v8.

Resultados y discusiones

No se detectaron efectos de interacción significativos en ninguna de las variables de respuesta evaluadas. En cuanto a los efectos principales, aunque el 'tratamiento' produjo un ligero incremento en dichas variables, las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Únicamente el factor 'genotipo' tuvo un efecto significativo sobre las variables morfológicas a los 29 días después de la siembra, bajo condiciones de 80 % de capacidad de campo (Cuadro 1). Flor de Mayo mostró mayor vigor vegetativo que Criollo Conka en peso fresco (21.32 vs. 11.70 g; p = 0.0045), peso seco aéreo (2.80 vs. 1.60 g; p = 0.0038) y peso seco total (3.10 vs. 1.75 g; p = 0.0043), además de alcanzar la mayor altura de planta (25.5 cm; p = 0.0006). Destaca que Flor de Mayo casi duplicó a Criollo Conka tanto en el número de hojas trifoliadas (10.33 vs. 5.0; p = 0.003) como en la biomasa radicular (0.30 vs. 0.16 g; p = 0.0335). Estos resultados indican mayor expresión del potencial de crecimiento de Flor de Mayo bajo las condiciones experimentales evaluadas, lo que está determinado por el factor genotípico y no por el priming de semillas previo a la siembra. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Gómez y Frankow-Lindberg (2005), quienes encontraron que los materiales criollos de frijol presentaron un área foliar significativamente menor que la mayoría de los genotipos mejorados evaluados, no obstante, al evaluarse una sola variedad y un solo genotipo criollo a los 29 días después de la siembra, estos resultados no deben generalizarse a todos los materiales mejorados o criollos.

Cuadro 1. Efectos principales del tratamiento y la variedad sobre características agronómicas en plantas de frijol a los 29 días después de la siembra.

Tratamiento	**A (cm)**	**NoH**	**PF (g)**	**PSR (g)**	**PSA (g)**	**PST (g)**
T	21.83 ± 5.87	8.5 ± 3.51	18.28 ± 5.82	0.19 ± 0.03	2.52 ± 0.68	2.71 ± 0.71
ST	18.67 ± 7.14	6.83 ± 3.54	14.74 ± 7.15	0.26 ± 0.18	1.88 ± 0.93	2.14 ± 1.1
p	0.14	0.2256	0.1879	0.2734	0.0638	0.1331
Genotipo						
FM	25.5 ± 1.38 a	10.33 ± 2.42 a	21.32 ± 4.66 a	0.3 ± 0.14 a	2.8 ± 0.64 a	3.1 ± 0.7 a
CC	15 ± 4.84 b	5 ± 1.9 b	11.7 ± 3.91 b	0.16 ± 0.07 b	1.6 ± 0.54 b	1.75 ± 0.58 b
p	0.0006	0.003	0.0045	0.0335	0.0038	0.0043

Los valores se presentan como la media ± desviación estándar. Las letras diferentes entre filas indican diferencias significativas con la prueba t de Student. Altura (A), Número de hojas trifoliadas (NoH), peso fresco (PF), Peso seco de raíz (PSR), Peso seco aéreo (PSA) y Peso seco total (PST). Las variedades Flor de Mayo (FM) y Criollo Conka (CC), estuvieron Tratados (T) y Sin Tratar (ST).

Por otro lado, para la longitud de raíz (Figura 1A) no se detectaron efectos significativos del genotipo (p = 0.3647), del tratamiento (p = 0.0605) ni de la interacción genotipo × tratamiento (p = 0.7999). Aunque numéricamente Flor de Mayo sin tratar presentó el valor promedio más alto (16 cm) y Criollo Conka tratado el más bajo (13 cm), estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. De igual forma, el porcentaje de materia seca (Figura 1B) no fue diferente significativamente por efecto del genotipo (p = 0.6021), del tratamiento (p = 0.9709) ni de la interacción entre ambos factores (p = 0.6648). Los valores variaron sin significancia estadística entre un máximo de 16 % en Criollo Conka tratado y un mínimo de 14.11 % en Flor de Mayo tratado.

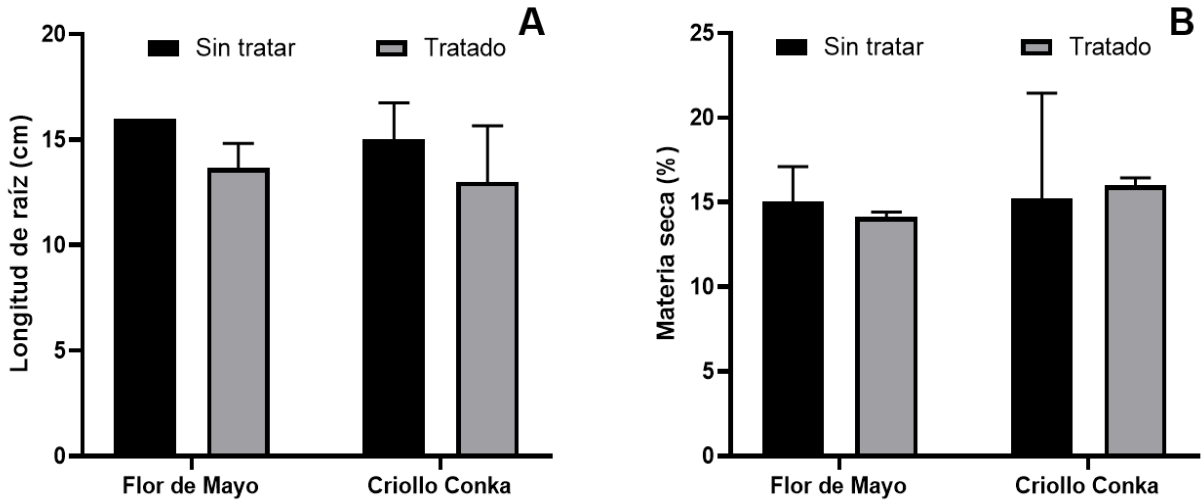


Figura 1. Longitud de raíz (cm) y % de Materia seca en las variedades Flor de Mayo y Criollo Conka; con Tratamiento y Sin tratar. Los datos corresponden a las medias ± desviación estándar.

La ausencia de superioridad del tratamiento pregerminativo (priming) indica que, en las condiciones de este estudio, su efecto esperado no se reflejó en las variables evaluadas a los 29 días después de la siembra. Esto concuerda con lo reportado en la literatura, donde el efecto benéfico del priming sobre el crecimiento suele ser más evidente en condiciones no óptimas que en condiciones óptimas (Lutts et al., 2016). Dado que las plantas se mantuvieron a 80 % de capacidad de campo, es decir, sin estrés hídrico severo, es posible que el priming no haya tenido oportunidad de expresar su ventaja. Asimismo, se ha documentado que el priming puede acelerar el crecimiento temprano sin generar ventajas finales bajo condiciones ideales de cultivo (Blunk et al., 2019), y que las mejoras en tolerancia a estrés observadas en plántulas tienden a atenuarse en plantas adultas (Lutts et al., 2016). Por ello, las posibles diferencias podrían haberse limitado a etapas previas, como la germinación y la emergencia, y diluirse al momento de la evaluación.

Conclusiones

A los 29 días después de la siembra y bajo 80 % de capacidad de campo, el tratamiento pregerminativo (priming) no mejoró de forma significativa las variables evaluadas, y no hubo interacción entre variedad y tratamiento. Solo el factor variedad fue significativo: Flor de Mayo superó a Criollo Conka en altura de planta, peso fresco, peso seco aéreo y total, hojas trifoliadas y biomasa radicular, lo que indica un mayor vigor vegetativo temprano. Se sugiere evaluar el priming en etapas posteriores del ciclo y bajo condiciones de estrés.

Referencias

Abdulrahmani, B., Ghassemi-Golezani, K., Valizadeh, M., & Asl, V. F. (2007). Seed priming and seedling establishment of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Food Agriculture and Environment, 5*(3/4), 179.

Blunk, S., de Heer, M. I., Malik, A. H., Fredlund, K., Ekblad, T., Sturrock, C. J., & Mooney, S. J. (2019). Seed priming enhances early growth and improves area of soil exploration by roots. *Environmental and Experimental Botany, 158*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.11.003.

Bursakov, S. A., Kroupin, P. Y., Karlov, G. I., & Divashuk, M. G. (2023). Tracing the element: The molecular bases of molybdenum homeostasis in legumes. *Agronomy, 13*(9), Article 2300. https://doi.org/10.3390/agronomy13092300.

Gómez, O. J., & Frankow-Lindberg, B. E. (2005). Yield formation in Nicaraguan landraces of common bean compared to bred cultivars. *The Journal of Agricultural Science, 143*(5), 369–375. https://doi.org/10.1017/S0021859605005502.

Karimi, M. R., Sabokdast, M., Korang Beheshti, H., Abbasi, A. R., & Bihamta, M. R. (2025). Seed priming with salicylic acid enhances salt stress tolerance by boosting antioxidant defense in *Phaseolus vulgaris* genotypes. *BMC Plant Biology, 25*(1), 489. https://doi.org/10.1186/s12870-025-06376-2.

Lutts, S., Benincasa, P., Wojtyla, L., Kubala, S., Pace, R., Lechowska, K., Quinet, M., & Garnczarska, M. (2016). Seed priming: New comprehensive approaches for an old empirical technique. En S. Araújo & A. Balestrazzi (Eds.), New challenges in seed biology: *Basic and translational research driving seed technology*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/64420.

Mohajeri, F., Taghvaei, M., Ramroudi, M., & Galavi, M. (2015). The evaluation of the responses of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedling emergence and growth to different seed priming. *Journal of Agricultural Science, 7*(7), 235. http://dx.doi.org/10.5539/jas.v7n7p235.

Uebersax, M. A., Cichy, K. A., Gomez, F. E., Porch, T. G., Heitholt, J., Osorno, J. M., Kamfwa, K., Snapp, S. S., & Bales, S. (2022). Dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a vital component of sustainable agriculture and food security-A review. *Legume Science*, Article e155. https://doi.org/10.1002/leg3.155.

Yruela, I. (2013). Transition metals in plant photosynthesis. *Metallomics*, *5*(9), 1090-1109. https://doi.org/10.1039/c3mt00086a.

Zargar, S. M., Nazir, M., Rai, V., Hajduch, M., Agrawal, G. K., & Rakwal, R. (2015). Towards a common bean proteome atlas: looking at the current state of research and the need for a comprehensive proteome. *Frontiers in Plant Science*, 6, 201. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00201.

CARBONO ORGÁNICO EXTRACTABLE CON AGUA DEL SUELO DE PREDIOS CON DIFERENTE MANEJO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS

Cristo Omar Puente Valenzuela[1*], Eva Aurora Bautista Calderón[1], Karen Lizbeth Domínguez Coronado[2], Selenne Yuridia Márquez Guerrero[2], David Ramiro Aguillón Gutiérrez[3].

[1]Centro de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (RASPA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Gómez Palacio, Durango, México. [2]División de Estudios de Posgrado, Instituto Tecnológico de Torreón, Torreón, Coahuila, México. C. P. 27170. [3]Centro de Estudios e Investigaciones Interdisciplinarios (CEII) de la Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC), Arteaga, Coahuila, México. *puente.cristo@inifap.gob.mx

Introducción

El carbono orgánico extractable con agua (COEA) del suelo es la fracción del carbono orgánico del suelo (COS) que se disuelve y se extrae mediante agitación con agua destilada y posterior filtración (Lieberman et al., 2026; Sohng et al., 2025); puede llegar a representar hasta 0.9 por ciento del COS, haciendo de este una fracción muy pequeña del COS; es de las fracciones más lábiles y activas de la materia orgánica del suelo (L. Li, Fossum, et al., 2025; Liptzin et al., 2022). Su origen proviene principalmente de la descomposición de la materia orgánica, exudados radiculares de las plantas y subproductos del metabolismo microbiano (L. Li, Fossum, et al., 2025); su composición es una mezcla heterogénea de compuestos solubles de bajo peso molecular, como azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos (Guigue et al., 2014; L. Li, Fossum, et al., 2025).

El COEA se ha conceptualizado como un indicador temprano de la calidad edáfica, debido a sus características intrínsecas de reactividad, labilidad y dinámica, pues es considerado como el sustrato principal que brinda energía para los microorganismos del suelo (T. Li et al., 2020; Liptzin et al., 2022). El COEA es considerado dentro de proyectos de escala continental como el NAPESHM (North American Project to Evaluate Soil Health Measurements), donde contrastan al COEA con otros indicadores como el SOC total, el carbono reactivo (POX-C) y la mineralización de carbono, fortaleciendo un nuevo paradigma donde el COEA no solo se interpreta como una fracción lábil de rápido reciclaje, sino como un precursor directo para la formación de materia orgánica asociada a minerales (MOAM) y la estabilización de carbono a largo plazo (X. Li et al., 2025; Rieke et al., 2022; Wacha et al., 2022).

La aplicación de enmiendas orgánicas incrementa de forma significativa y directa los niveles de SOC y sus fracciones activas, incluyendo el COEA; también se ve incrementado por efecto indirecto por biomasa, al estimular el crecimiento vegetal, la producción de raíces y residuos de cultivos, esto por fertilización inorgánica-mineral combinada (Giordano et al., 2026; T. Li et al., 2020; Xing et al., 2024). Entre las prácticas que se han asociado con una disminución del COEA se encuentran la labranza convencional e intensiva, la remoción de residuos de cultivo, el riego excesivo y la infiltración profunda (Abbas et al., 2020; L. Li, Fossum, et al., 2025; L. Li, Schmer, et al., 2025; Wacha et al., 2022). En nuestro trabajo, el objetivo principal fue evaluar la concentración de COEA en predios de la Comarca Lagunera donde se utilizan diferentes enmiendas orgánicas para complementar la fertilización química de sus cultivos.

Materiales y métodos

El área de estudio comprendió los predios ubicados en las siguientes zonas: Rancho Palestina (P) (25.7845 N, 103.321 O), Rancho El Fénix (F) (25.6322 N, 103.5023 O) y Rancho San Esteban, en Luján (L) (25.4426 N, 103.2043 O). Palestina se caracteriza por aportes de materia orgánica (estiércol bovino) con dosis de 200 ton/h sostenidos, además de usar efluente de biodigestor dentro del sistema de riego; en el caso del Rancho El Fénix, se emplea lixiviado de lombricomposta como aporte de materia orgánica al suelo y, finalmente, en el caso de Luján, se usa estiércol bovino como aporte de materia orgánica bajo demanda, es decir, para mantener un 2.5 por ciento de materia orgánica en el suelo. En todos los ranchos se emplea fertilización química y el cultivo en producción es maíz.

Para el muestreo de suelos se realizaron cuadrantes de 20 × 20 m, de 400 m², de cada parcela. Estos cuadrantes fueron aleatorizados para determinar los sitios de muestreo. Se tomaron muestras con profundidad de 0 - 30 y 30 - 60 cm; las muestras fueron secadas al aire y tamizadas con malla de 0.5 mm, y conservadas hasta su análisis, tomando un total de 12 puntos por predio a estudiar.

Para el análisis de COEA se empleó el método 2 reportado por Guigue y colaboradores (Guigue et al., 2014). La determinación del carbono orgánico se realizó mediante el método reportado por Carrillo-Castañeda y colaboradores (Carrillo-Castañeda et al., 2022); finalmente, el análisis de pH y conductividad eléctrica se realizó de acuerdo con los procedimientos AS-02 y AS-18 de la NOM-021-RECNAT-2000, respectivamente. El análisis estadístico consistió en pruebas de normalidad de los datos con la prueba de Shapiro-Wilk y un análisis de ANOVA con comparación de medias mediante la prueba de Tukey.

Resultados y discusión

Los datos mostraron una distribución normal para cada caso (ver Figura 1), por lo que se realizó un análisis de ANOVA con comparación de medias de Tukey. En el Cuadro 1 se muestra el resumen de la estadística descriptiva para cada variable evaluada. El predio del Porvenir (P) muestra un incremento muy significativo del COS, con una estratificación muy marcada, restringiéndose a la capa superior y dejando la inferior con pocos cambios. Si bien su alta concentración de biomasa recalcitrante favorece el secuestro a largo plazo, la fracción lábil (%COEA) queda diluida, por lo cual físicamente el carbono queda inmovilizado, limitando su disponibilidad inmediata para sostener redes tróficas microbianas (Castaldi et al., 2026; Heller et al., 2026; Manzoni et al., 2012).

En el caso del predio El Fénix se observan los niveles más bajos de COS, esto debido a que los aportes de materia orgánica carecen de una matriz estructural; de acuerdo con lo observado, se aprecia una percolación del COEA, evitando el secuestro real de carbono (X. Li et al., 2025).

Finalmente, en el predio de Luján se logra apreciar lo acertado de la práctica sostenida del aporte de materia orgánica para mantenerla en un porcentaje de 2.5. La literatura sostiene que las tasas de aplicación moderadas y periódicas son la estrategia más eficiente para evitar la saturación física, como en el Porvenir. Este manejo balanceado eleva los compartimentos de carbono activo, maximizando el COEA en todo el perfil analizado (Nazia et al., 2019). El resultado es un estado estequiométrico que sostiene de manera continua la biomasa microbiana, evitando la lixiviación.

Cuadro 1. Parámetros analizados en suelo de predios cooperantes

	Porvenir (P)		Fénix (F)		Luján (L)	
Parámetro	0 – 30 cm	30 – 60 cm	30 – 60 cm	0 – 30 cm	0 – 30 cm	30 – 60 cm
pH	8.62 ± 0.13 8.85 - 8.35	8.44 ± 0.13 8.65 - 8.25	8.54 ± 0.14 8.7 - 8.3	8.24 ± 0.31 8.45 - 7.3	8.37 ± 0.15 8.5 - 7.95	8.39 ± 0.11 8.55 - 8.1
CE	2.877 ± 0.739 3.93 - 1.76	1.717 ± 0.356 2.38 - 1.21	2.869 ± 0.801 3.843 - 1.686	1.849 ± 0.7 3.663 - 1.056	0.512 ± 0.068 0.61 - 0.36	0.496 ± 0.056 0.61 - 0.4
COS	29.39 ± 6.64 36.72 - 18.56	12.56 ± 1.67 16.13 - 10.15	13.27 ± 1.4 15.14 - 10.44	6.08 ± 1.76 8.93 - 2.44	17.38 ± 2.92 21.93 - 12.3	10.31 ± 2.18 15.89 - 7.54
COEA	0.074 ± 0.01 0.089 - 0.047	0.054 ± 0.008 0.071 - 0.044	0.077 ± 0.023 0.106 - 0.044	0.075 ± 0.02 0.106 - 0.044	0.106 ± 0.019 0.137 - 0.071	0.081 ± 0.017 0.113 - 0.058
%COEA	0.269 ± 0.086 0.44 - 0.144	0.438 ± 0.075 0.574 - 0.315	0.579 ± 0.148 0.764 - 0.337	1.311 ± 0.367 1.899 - 0.693	0.624 ± 0.146 0.911 - 0.372	0.808 ± 0.227 1.303 - 0.519

En todos los casos se representa la media y desviación estándar (), el valor máximo y mínimo () de una , donde pH es potencial de hidrógeno, CE es conductividad eléctrica en (dS/m), COS es carbono orgánico del suelo (mg CO/g de suelo), COEA es carbono orgánico extractable con agua (mg CO/g de suelo) y %COEA es el porcentaje de COEA con respecto a COS.

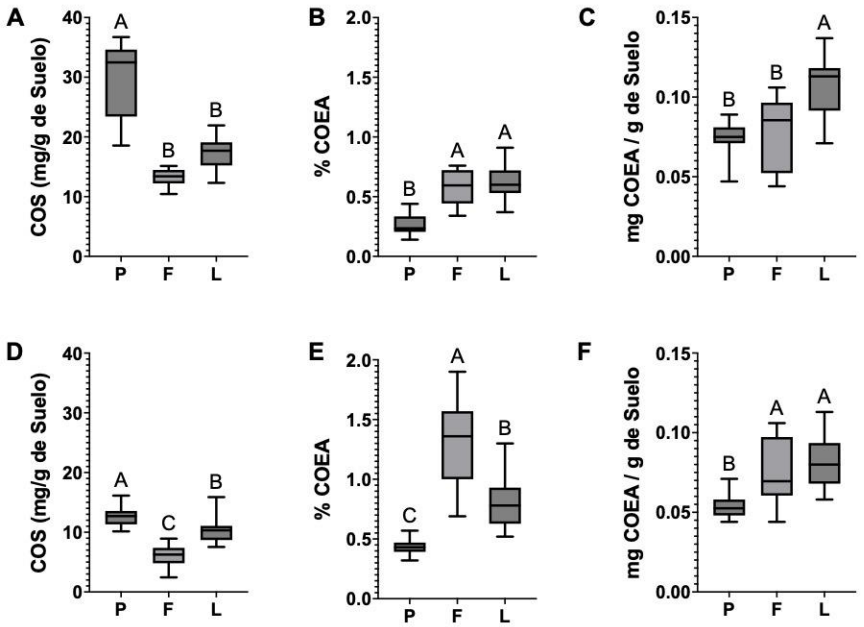


Figura 1. Dinámica y partición del carbono orgánico del suelo bajo tres esquemas de manejo de enmiendas orgánicas.

Los paneles superiores (A, B, C) corresponden a las profundidades de 0–30 cm, y los paneles inferiores (D, E, F), a las profundidades de 30–60 cm. En los paneles A y D se muestra el carbono orgánico del suelo (COS); en los paneles B y E, el porcentaje de carbono orgánico extractable con agua con respecto a COS (%COEA); y en los paneles C y F, el carbono orgánico extractable con agua del suelo. En el eje de las abscisas de cada panel se representan los predios: Porvenir (P), Fénix (F) y Luján (L). Las letras mayúsculas diferentes sobre las cajas indican diferencias estadísticas significativas () entre los tratamientos de cada panel.

Conclusiones

La evaluación del COEA en predios de la Comarca Lagunera demuestra que el tipo y la dosis de la enmienda orgánica determinan la disponibilidad real de energía para los microorganismos. Saturar el sistema edáfico con estiércol sólido inmoviliza el carbono por el gran aporte de material recalcitrante, mientras que el uso de lixiviados líquidos favorece la pérdida rápida del carbono reactivo hacia el subsuelo. El mejor manejo observado es la dosificación con reposiciones controladas de materia orgánica, lo cual incrementa el COEA en todo el perfil, de manera que el uso del COEA como indicador de suministro de sustratos activos al microbiota del suelo es importante para complementar la fertilización química.

Referencias

Abbas, F., Hammad, H. M., Ishaq, W., Farooque, A. A., Bakhat, H. F., Zia, Z., Fahad, S., Farhad, W., & Cerdà, A. (2020). A review of soil carbon dynamics resulting from agricultural practices. *Journal of Environmental Management*, *268*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110319

Carrillo-Castañeda, J. B., Puente-Valenzuela, C. O., Tovalin-Villarreal, M. F., & Domínguez Coronado, K. L. (2022). *Adaptación y Optimización de la técnica de Walkley-Black para la cuantificación de carbono orgánico en suelo por colorimetría*. http://reunionescientificas.inifap.gob.mx/Editor

Castaldi, F., Bertinaria, F., & Toscano, P. (2026). Conservation Agriculture Enhances Soil Organic Carbon: A 5-Year Assessment Using Sentinel-2 and Machine Learning. *Soil Use and Management*, *42*(2). https://doi.org/10.1111/sum.70226

Giordano, M., Miosi, P. G., Foley, E. R., Taskin, E., Pesce, G. R., Cicero, I., Cesco, S., Mimmo, T., Rossi, G., Paulon, G., & Maucieri, C. (2026). Short-Term Effect of Different Agronomic Managements on Soil Carbon Fractions Content. *Soil Use and Management*, *42*(2). https://doi.org/10.1111/sum.70216

Guigue, J., Mathieu, O., Lévêque, J., Mounier, S., Laffont, R., Maron, P. A., Navarro, N., Chateau, C., Amiotte-Suchet, P., & Lucas, Y. (2014). A comparison of extraction procedures for water-extractable organic matter in soils. *European Journal of Soil Science*, *65*(4), 520–530. https://doi.org/10.1111/ejss.12156

Heller, O., D'Hose, T., Euteneuer, P., Fér, M., Goberna, M., Jarvis, N., Munkholm, L. J., Arrázola-Vásquez, E. M., Bragazza, L., Ghiasi, S., Guilaume, T., van der Heijden, M. G. A., Koestel, J., Lindahl, A., Mayer, J., Mayerová, M., Pullens, J. W. M., Mehdi-Schulz, B., Santín, I., … ten Damme, L. (2026). Carbon Input and Tillage Intensity Modulate Pedo-Climatic Controls of Topsoil but Not Subsoil Physical Properties. *Soil Use and Management*, *42*(3). https://doi.org/10.1111/sum.70247

Li, L., Fossum, B., Sleem, M., Awada, T., Hiller, J., & Kaiser, M. (2025). Soil organic carbon fractionation in sandy soils in the semiarid grasslands and forested areas of Nebraska Sandhills. *Soil Science Society of America Journal*, *89*(3). https://doi.org/10.1002/saj2.70084

Li, L., Schmer, M. R., Ramirez, S., Córdova, S. C., Freidenreich, A., Birru, G., Jin, V. L., Awada, T., Ferguson, R. B., & Wienhold, B. J. (2025). Manure application mitigates soil organic carbon loss from decade-long stover removal in no-till continuous corn. *Agronomy Journal*, *117*(5). https://doi.org/10.1002/agj2.70179

Li, T., Zhang, Y., Bei, S., Li, X., Reinsch, S., Zhang, H., & Zhang, J. (2020). Contrasting impacts of manure and inorganic fertilizer applications for nine years on soil organic carbon and its labile fractions in bulk soil and soil aggregates. *Catena*, *194*. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104739

Li, X., Guo, Q., Jia, R., & Gao, Y. (2025). Revegetation drives the accrual and stabilization of organic carbon in biocrusts and subsoils in the Tengger Desert, north China. *Geoderma*, *460*. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2025.117437

Lieberman, H. P., von Sperber, C., Harman-Denhoed, R., Grandy, A. S., & Kallenbach, C. M. (2026). Seasonal Flooding Disrupts Expected Depth-Dependent Patterns of Mineral Associated Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Across Land Uses. *Global Change Biology*, *32*(4), e70860. https://doi.org/10.1111/gcb.70860

Liptzin, D., Norris, C. E., Cappellazzi, S. B., Bean, G. Mac, Cope, M., Greub, K. L. H., Rieke, E. L., Tracy, P. W., Aberle, E., Ashworth, A., Bañuelos Tavarez, O., Bary, A. I., Baumhardt, R. L., Borbón Gracia, A., Brainard, D. C., Brennan, J. R., Briones Reyes, D., Bruhjell, D., Carlyle, C. N., … Honeycutt, C. W. (2022). An evaluation of carbon indicators of soil health in long-term agricultural experiments. *Soil Biology and Biochemistry*, *172*. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108708

Manzoni, S., Taylor, P., Richter, A., Porporato, A., & Ågren, G. I. (2012). Environmental and stoichiometric controls on microbial carbon-use efficiency in soils. In *New Phytologist* (Vol. 196, Number 1, pp. 79–91). https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04225.x

Nazia, R., Liang, F., Huang, S., Wang, B., Xu, M., Li, J., Gao, H., & Zhang, W. (2019). LONG-TERM FERTILIZATION ALTERED LABILE SOIL ORGANIC CARBON FRACTIONS IN UPLAND SOILS OF CHINA. *The J. Anim. Plant Sci*, *29*(5), 2019.

Rieke, E. L., Bagnall, D. K., Morgan, C. L. S., Flynn, K. D., Howe, J. A., Greub, K. L. H., Mac Bean, G., Cappellazzi, S. B., Cope, M., Liptzin, D., Norris, C. E., Tracy, P. W., Aberle, E., Ashworth, A., Bañuelos Tavarez, O., Bary, A. I., Baumhardt, R. L., Borbón Gracia, A., Brainard, D. C., … Honeycutt, C. W. (2022). Evaluation of aggregate stability methods for soil health. *Geoderma*, *428*. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116156

Sohng, J., Sokol, N. W., Whiteaker, S., Schmidt, R., Holzer, I., Goertzen, H., Peña, J., Houlton, B. Z., Montañez, I., O'Geen, A., & Scow, K. (2025). Combining organic amendments with enhanced rock weathering shifts soil carbon storage in croplands. *Science of the Total Environment*, *998*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180179

Wacha, K., Philo, A., & Hatfield, J. L. (2022). Soil energetics: A unifying framework to quantify soil functionality. *Agrosystems, Geosciences and Environment*, *5*(4). https://doi.org/10.1002/agg2.20314

Xing, Y., Zhang, X., & Wang, X. (2024). Enhancing soil health and crop yields through water-fertilizer coupling technology. In *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 8). Frontiers Media SA. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1494819

RENDIMIENTO Y PORCENTAJE DE BULBOS COMERCIALES DE CINCO GENOTIPOS DE AJO BAJO RIEGO EN ZACATECAS

José Ángel Cid-Ríos[1*], Juan José Figueroa-González[1] y Enrique González-Pérez[2]

[1]Campo Experimental Zacatecas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. km 24.5 Carretera Zacatecas-Fresnillo. [2]Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende. *Autor de correspondencia: angelcid0012@gmail.com.

Introducción

El ajo es una de las hortalizas más utilizadas como saborizante o condimento en la preparación de alimentos. Se ha demostrado que su consumo ayuda a prevenir diversas enfermedades en el ser humano, como resfriados, colesterol, cáncer, trastornos metabólicos, hipertensión arterial y diabetes; además, en la agricultura el extracto de ajo tiene efecto insecticida, nematicida y bactericida (Ansary et al., 2020). En México, los estados con mayor superficie sembrada de ajo en 2025 fueron Zacatecas, Guanajuato, Puebla, Sonora, Chihuahua y Baja California, que en conjunto aportaron el 87.59 % de la producción nacional. En ese año, en Zacatecas se sembraron 3,991.47 ha, que aportaron el 43.99 % de la producción del país y un valor de la producción de 1,261,005.01 miles de pesos, lo que ubica al ajo entre las hortalizas de mayor valor económico en el estado (SIAP, 2026). El ajo posee una amplia diversidad genética que favorece la selección masal, individual o clonal; sin embargo, es recomendable que la selección se realice en la región donde se va a utilizar el germoplasma (Mostafa et al., 2015), ya que no solo debe buscarse un mayor rendimiento, sino también tolerancia a las plagas y enfermedades locales (Kamenetsky et al., 2004). Entre los aspectos de manejo que más influyen en la producción está la posición del diente al momento de la siembra: se recomienda colocarlo en forma vertical, ya que en posición horizontal o invertida el rendimiento puede disminuir hasta en un 59 % (Reveles-Hernández et al., 2014). Asimismo, la temperatura, la fertilización y la precipitación determinan en buena medida la calidad comercial y el rendimiento por hectárea (Ávila, 2007). Otro factor que limita la producción de ajo a nivel nacional es la falta de variedades adaptadas a las diferentes regiones (Reveles-Hernández et al., 2014). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento y el porcentaje de bulbos comerciales de cinco genotipos de ajo bajo riego en Zacatecas.

Materiales y métodos

Se estableció un lote comercial de ajo en el Campo Experimental Zacatecas, ubicado en las coordenadas 22° 54' 32.91" N y 102° 39' 46.99" O, a 2,187 msnm. Se evaluaron los genotipos Don Fermín, Tigre, Chino Blanco y Sainero, además de la variedad Platero, que se utilizó como testigo; cada genotipo se estableció en una franja de dos camas. La siembra se realizó el 26 de septiembre de 2025 con dientes provenientes de bulbos calibre ocho. Las camas fueron de 1.80 m de ancho con ocho hileras de plantas, a 10 cm entre plantas y 20 cm entre hileras. El riego se aplicó con cintilla calibre 6,000 de flujo medio, con cuatro cintas por cama, colocadas de manera que cada cinta regara dos hileras de plantas.

Antes de la siembra se aplicó la dosis 80-80-80 de N-P-K, utilizando como fuentes sulfato de amonio, superfosfato de calcio simple y sulfato de potasio. El resto de la fertilización se aplicó a través del sistema de riego durante el ciclo, de acuerdo con la curva de extracción del cultivo, con sulfato de amonio, fosfonitrato y sulfato de potasio, hasta completar una dosis total de 150-100-100-00 kg ha^{-1} de N-P-K-Ca. Esta dosis fue inferior a la recomendada en el paquete tecnológico para el cultivo de ajo en Zacatecas (250-100-265-120 kg ha^{-1} de N-P-K-Ca; Medina-García et al., 2016).

La cosecha se realizó el 27 de mayo de 2026. En cada genotipo se tomaron al azar cinco submuestras de 1.60 m de ancho por 2.00 m de largo (3.2 m²), y los bulbos de cada submuestra se clasificaron por tamaño, se contaron y se pesaron. Se consideró como ajo comercial a los bulbos con diámetro ecuatorial igual o mayor a 45 mm y como ajo industrial a los de diámetro menor a 45 mm, de acuerdo con la NMX-FF-018-SCFI-2020 (Secretaría de Economía, 2022) y con Reveles-Hernández et al. (2009), lo que permitió estimar el rendimiento comercial de cada genotipo. Las cinco submuestras de cada genotipo se tomaron como repeticiones y los datos se analizaron bajo un diseño completamente al azar con el paquete estadístico SAS 9.0; la comparación de medias se realizó con la prueba de Duncan (α = 0.05).

Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre genotipos en el rendimiento por hectárea (P = 0.001). De acuerdo con la comparación de medias, Sainero fue el genotipo de mayor rendimiento con 20,303 kg ha^{-1}, seguido de Chino Blanco con 14,934 kg ha^{-1} (Cuadro 1). Sin embargo, solo Sainero superó estadísticamente al testigo regional Platero, con un rendimiento 98.4 % mayor; Chino Blanco, Tigre y Don Fermín rindieron entre 14.9 y 45.9 % más que el testigo, pero sin diferencias significativas. El coeficiente de variación de esta variable fue alto (38.18 %), por lo que las diferencias entre genotipos deben tomarse con reserva. El nivel de rendimiento obtenido en todos los genotipos puede atribuirse, en parte, a que no se aplicó la dosis de fertilización recomendada en el paquete tecnológico para el estado, lo cual coincide con lo reportado por Shumbulo et al. (2026), quienes señalan que la reducción del fertilizante químico puede afectar considerablemente el rendimiento del ajo. De igual forma, Lee y Kim (2026) indican que una menor dosis de nitrógeno afecta el crecimiento vegetativo, incluyendo la altura de planta, la longitud del brote lateral, la longitud del pseudotallo y el número de hojas, lo que se refleja en un menor rendimiento.

Cuadro 1. Comparación de medias de rendimiento y porcentaje de bulbos comerciales e industriales de cinco genotipos de ajo evaluados bajo riego en Calera, Zacatecas, ciclo otoño-primavera 2025-2026.

Genotipo	Rendimiento total (kg ha^{-1})	Bulbos comerciales ≥ 45 mm (%)	Bulbos industriales < 45 mm (%)
Sainero	20.303^{a}	97.04^{ab}	2.96^{c}
Chino Blanco	14.934^{ab}	91.89^{b}	8.11^{b}
Tigre	13.186^{ab}	98.04^{a}	1.96^{c}
Don Fermín	11.757^{b}	87.71^{c}	12.29^{a}
Platero (testigo)	10.234^{b}	94.44^{ab}	5.56^{bc}
CV (%)	38.18	4.42	32.49

Medias con la misma letra dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes (Duncan, α = 0.05). CV: coeficiente de variación.

En el porcentaje de ajo comercial también se encontraron diferencias significativas entre genotipos (P = 0.020). Tigre presentó el mayor porcentaje de bulbos comerciales (98.04 %), aunque fue el tercero en rendimiento por hectárea. Sainero ocupó el segundo lugar con 97.04 %, sin diferencia estadística con Tigre, y fue también el segundo con menor proporción de ajo industrial (2.96 %).

Don Fermín fue el genotipo con menor porcentaje de ajo comercial (87.71 %). Estos resultados coinciden con lo señalado por Macías et al. (2010), quienes mencionan que los ensayos de rendimiento permiten conocer el potencial productivo de los clones de ajo e identificar aquellos con bulbos de mayor calidad comercial.

Cabe señalar que estos resultados corresponden a un solo ciclo agrícola y a una sola localidad, y que la dosis de fertilización aplicada fue inferior a la recomendada, por lo que los rendimientos obtenidos no reflejan el potencial productivo de los genotipos. Por otra parte, el alto porcentaje de ajo comercial se atribuye a que, de octubre de 2025 a marzo de 2026, las temperaturas fueron favorables para el cultivo, según los registros de la estación agroclimatológica del Campo Experimental Zacatecas, con una temperatura mínima promedio de 2.1 °C y una máxima promedio de 23 °C, lo que permitió la acumulación de frío necesaria para la diferenciación de los dientes en el bulbo. Durante el ciclo no se presentaron problemas de plagas ni de enfermedades.

Conclusiones

Se encontraron diferencias significativas entre genotipos en rendimiento y en porcentaje de bulbos comerciales. Sainero presentó el mayor rendimiento (20,303 kg ha^{-1}) y fue el único genotipo que superó estadísticamente al testigo Platero, con 97.04 % de bulbos comerciales. Tigre tuvo el mayor porcentaje de bulbos comerciales (98.04 %) y Don Fermín el menor (87.71 %).
Sainero es un genotipo prometedor para la región; sin embargo, al tratarse de un solo ciclo, una localidad y una fertilización menor a la recomendada, es necesario evaluarlo en más localidades y ciclos agrícolas, con la dosis completa del paquete tecnológico y con un análisis beneficio/costo, para confirmar su superioridad en rendimiento comercial frente a los demás materiales.

Referencias

Ansary, J., Forbes-Hernández, T. Y., Gil, E., Cianciosi, D., Zhang, J., Elexpuru-Zabaleta, M. y Battino, M. (2020). Potential health benefit of garlic based on human intervention studies: A brief overview. *Antioxidants, 9*(7), 619. https://doi.org/10.3390/antiox9070619

Ávila, G. T. (2007). Factores de manejo del cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) que determinan la calidad del producto a la cosecha. *Avances en Horticultura, 5*, 1–13.

Kamenetsky, R., Shafir, I. L., Baizerman, M., Khassanov, F., Kik, C. y Rabinowitch, H. D. (2004). Garlic (*Allium sativum* L.) and its wild relatives from Central Asia: Evaluation for fertility potential. *Acta Horticulturae, 637*, 83–91.

Lee, J. S. y Kim, D. S. (2026). Effects of nitrogen fertilization levels on the growth, bulb quality, and allicin stability of sliced 'Hongsan' garlic during storage. *Horticultural Science and Technology, 44*. https://doi.org/10.7235/HORT.20260030

Macías V., L. M., Maciel P., L. y Silos E., H. (2010). "San Maqueño": una variedad de ajo blanco. *Investigación y Ciencia, 18*, 4–11.

Medina-García, G., Zegbe-Domínguez, J. A., Reveles-Hernández, M., Mena-Covarrubias, J., Reveles-Torres, L. R. y Echavarría-Cháirez, F. G. (2016). *Tecnología para la producción de cultivos en el área de influencia del Campo Experimental Zacatecas* (Libro Técnico Núm. 16). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas.

Mostafa, H. H. A., Haiping, W., Xinyan, L. y Xixiang, L. (2015). Impact of genetic factor and geographical location on allicin content of garlic (*Allium sativum*) germplasm from Egypt and China. *International Journal of Agriculture and Biology, 17*, 156–162.

Reveles-Hernández, M., Cid-Ríos, J. Á., Velásquez-Valle, R. y Reveles-Torres, L. R. (2014). Orientación de semilla, rendimiento y calidad de ajo (*Allium sativum* L.) en dos variedades para Zacatecas. *AGROFAZ, 14*(3), 73–78.

Reveles-Hernández, M., Velásquez-Valle, R. y Bravo-Lozano, A. G. (2009). *Tecnología para cultivar ajo en Zacatecas* (Libro Técnico Núm. 11). INIFAP-CIRNOC, Campo Experimental Zacatecas.

Secretaría de Economía. (2022). *NMX-FF-018-SCFI-2020. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano – Ajo (*Allium sativum *L.) – Especificaciones (cancela a la NMX-FF-018-SCFI-2006)*. Diario Oficial de la Federación. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5641873&fecha=02/02/2022

Shumbulo, A., Jemal, M. y Bosha, A. (2026). Garlic (*Allium sativum* L.) yield and quality as affected by different integrated fertilizer levels in Wachemo University, southern Ethiopia. *PLoS ONE, 21*(5), e0312222.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2026). *Cierre de la producción agrícola 2025*. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

CALIBRACIÓN DE SENSORES PARA EL MONITOREO DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN ALGODÓN (*Gossypium hirsutum* L.) BAJO RIEGO POR CINTILLA

Antonio Anaya Salgado[1*], Jorge A. Maldonado Jaquez[1], Jorge Maltos Buendia[1], Saúl Santana Espinoza[1], Ramón Trucío Caciano[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias - Campo Experimental La Laguna. Matamoros. Coahuila C.P. 27440. *Autor de correspondencia: anaya.antonio@inifap.gob.mx

Introducción

El uso del recurso hídrico en las actividades económicas ha incrementado la presión sobre su disponibilidad (Aguilar et al., 2017). La agricultura utiliza más del 60% del agua destinada a estas actividades a nivel mundial (Esparza et al., 2014; CNA, 2019). En regiones áridas y semiáridas, la programación del riego requiere conocer oportunamente la disponibilidad de agua en la zona radical. En algodón, la humedad del suelo influye en el consumo de agua y la productividad hídrica; en la Comarca Lagunera, Inzunza-Ibarra et al. (2024) reportaron respuestas del rendimiento y la productividad del agua a diferentes niveles de humedad aprovechable. Asimismo, Sifuentes-Ibarra et al. (2014) demostraron la utilidad de herramientas de programación para estimar los requerimientos hídricos del algodonero en el norte de México.

Los sensores dieléctricos permiten medir la humedad del suelo de forma frecuente y no destructiva; sin embargo, su respuesta depende de las propiedades del medio, por lo que requieren calibraciones específicas. Spelman, (2013) y Starr, (2002) señalaron la importancia de evaluar la calibración de estos sensores para los suelos agrícolas de cada región. Para el EC-5, Mochizuki y Sakaguchi (2020) desarrollaron y validaron funciones de calibración relacionando la salida del sensor (RAW) con el contenido volumétrico de agua determinado gravimétricamente, confirmando la utilidad de calibraciones específicas para el suelo. Nasta y colaboradores (2024) también mostraron que la calibración específica puede mejorar la estimación del contenido de agua, y que factores como la temperatura y la textura influyen en la respuesta de sensores capacitivos.

El objetivo del presente trabajo fue obtener modelos de calibración para dos sensores empleados en el monitoreo de humedad del suelo en algodón bajo riego por cintilla, relacionando la humedad de referencia obtenida mediante gravimetría con las lecturas de los sensores en dos profundidades del perfil. El análisis se centra en determinar la calidad del ajuste de las ecuaciones y sus implicaciones para el monitoreo del agua disponible en la zona radical.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Campo Experimental La Laguna del INIFAP, ubicado en 25°32´ N y 103°14´ O. En el ciclo del cultivo de algodón primavera-verano 2026, con un sistema de riego por goteo subsuperficial, manejo de la presión de operación de 10 PSI a una separación de 76 cm entre líneas regantes y goteros a 30 cm. Se caracterizó el suelo en los estratos de 0–30 y 30–60 cm, a través de sus propiedades fisicoquímicas relacionadas con el manejo de humedad (Cuadro 1).

Se evaluaron: un sensor EC-5 de METER/Decagon, del tipo Reflectometría en el dominio de la frecuencia, conectado a un datalogger Em50, y una sonda GH3 de Electro visión de tipo de 3 vías con principios similares a los del sensor TDR, con la característica que es un dispositivo muy económico. Para la calibración se prepararon muestras de suelo con volumen conocido y se adicionaron cantidades de agua equivalentes a 25, 50, 75 y 100% de la capacidad de retención de humedad máxima, de acuerdo con el procedimiento descrito por Spelman et al., (2013).

Las muestras se mezclaron y compactaron por capas; posteriormente se insertaron los sensores y se obtuvo una muestra para determinación con el método rectos. La humedad de referencia se determinó mediante el método gravimétrico, considerando el contenido de agua del suelo obtenido por secado en estufa hasta masa constante. El procedimiento se fundamentó en los principios establecidos para la determinación gravimétrica del contenido de agua del suelo (ISO 1146:2014). La humedad de referencia gravimétrica se relacionó mediante regresión con las lecturas de los sensores, Para cada combinación sensor–profundidad se utilizaron 4 repeticiones. El análisis estadístico se realizó en SAS 9.2.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo en las profundidades evaluadas.

Prof. (cm)	DA (g cm^{-3})	Sat. (%)	CC (%)	PMP (%)	CHS (mm h^{-1})	CE (dS m^{-1})	CIC (cmol kg^{-1})	RAS	MO (%)
0–30	1.33	43.6	26.3	16.0	12.53	1.31	42.4	4.45	1.17
30–60	1.32	50.3	39.4	25.4	3.17	2.48	30.7	5.19	0.72

DA=densidad aparente; Sat.= saturación; CC=capacidad de campo; PMP=punto de marchitez permanente; CHS=conductividad hidráulica a saturación; CE=conductividad eléctrica; CIC=capacidad de intercambio catiónico; RAS=relación de adsorción de sodio y MO=materia orgánica.

Resultados y discusión

Los modelos obtenidos presentaron coeficientes de determinación altos en las cuatro combinaciones sensor–profundidad. Para EC-5, el mejor ajuste correspondió a 0–30 cm, con R^2=0.9851, mediante una función polinomial de segundo grado; en 30–60 cm el R^2 fue 0.9765 con el mismo tipo de modelo. Para GH3, el ajuste en 0–30 cm fue lineal, con R^2=0.9654, mientras que en 30–60 cm el mejor modelo fue polinomial de segundo grado, con R^2=0.9529. Por lo tanto, la respuesta observada no fue completamente intercambiable entre sensores ni entre profundidades.

El desempeño superior del EC-5 en 0–30 cm coincide con la utilidad documentada de calibraciones suelo-específicas para transformar la señal RAW en contenido volumétrico de agua. Mochizuki y Sakaguchi (2020) utilizaron precisamente la relación entre RAW y contenido volumétrico obtenido por gravimetría y demostraron que una función de calibración puede ser construida a partir de mediciones específicas del suelo. Spelman y colaboradores (2013), por su parte, observaron que la ecuación proporcionada por el fabricante de un sensor dieléctrico no necesariamente mantiene la precisión esperada en todos los suelos, justificando la calibración bajo condiciones locales.

No obstante, los R^2 obtenidos deben interpretarse con cautela. Un R^2 describe la proporción de variación explicada por el modelo dentro del conjunto utilizado para ajustarlo, pero no constituye por sí mismo una medida de error absoluto ni demuestra capacidad predictiva fuera del intervalo de calibración. Nasta y colaboradores (2024) evaluaron sensores capacitivos mediante métricas de error como RMSE y mostraron que la precisión puede cambiar con la textura, la temperatura y las condiciones de humedad. Por ello, los resultados actuales sustentan la existencia de una relación fuerte entre lectura y humedad de referencia, pero no permiten afirmar, con los datos disponibles, un error de estimación o una exactitud de campo específica.

La comparación entre profundidades mostró una disminución del coeficiente de determinación en ambos sensores al pasar de 0–30 a 30–60 cm. En EC-5, el R^2 disminuyó de 0.9851 a 0.9765, mientras que en GH3 pasó de 0.9654 a 0.9529. Esta variación puede estar relacionada con las diferencias en las propiedades físicas y químicas de los estratos evaluados. En el suelo estudiado se identificaron diferencias entre profundidades en variables como capacidad de campo, punto de marchitez permanente, conductividad hidráulica a saturación y conductividad eléctrica. Estas características pueden modificar la respuesta dieléctrica del suelo y, consecuentemente, la relación entre la señal registrada por el sensor y el contenido de agua.

En GH3 se observó además una limitación en el extremo seco del rango evaluado con lecturas de cero bajo las condiciones de mayor sequedad lo que impidió ajustar modelos logarítmicos o potenciales. Este comportamiento es técnicamente relevante para programación del riego, porque una zona de baja humedad es precisamente donde una pérdida de sensibilidad puede afectar la identificación de umbrales de riego. Por tanto, aunque GH3 mostró R^2 superiores a 0.95, su utilidad operativa debe evaluarse especialmente en el extremo seco y no solamente con el R^2 global.

Desde el punto de vista de manejo del riego por cintilla, las ecuaciones obtenidas representan un paso previo a la estimación de lecturas instrumentales en contenido de agua del suelo. En algodón de la Comarca Lagunera, Inzunza-Ibarra et al. (2024) encontraron que distintas condiciones de humedad del suelo producen respuestas diferentes en rendimiento y productividad del agua; por ello, disponer de sensores calibrados localmente puede facilitar la identificación de cambios de humedad en la zona radical. Sin embargo, el presente estudio no evaluó láminas aplicadas, consumo de agua, rendimiento, productividad del agua ni una estrategia de programación basada en los sensores, por lo que no debe interpretarse que las ecuaciones aquí obtenidas ya demuestran ahorro de agua, pero, son una herramienta de soporte.

Cuadro 2. Coeficientes de determinación (R^2) y modelos de regresión para la calibración de los sensores.

Sensor	Lectura	Prof. (cm)	R^2	Ecuación	Modelo
EC-5	RAW	0–30	0.9851	$WVC = -0.0001\ RAW^2 + 0.2791\ RAW - 138.25$	Polinomial 2.º grado
EC-5	RAW	30–60	0.9765	$WVC = -0.0001\ RAW^2 + 0.3337\ RAW - 161.18$	Polinomial 2.º grado
GH3	LGH3	0–30	0.9654	$WVC = 4.512\ RAW + 3.2947$	Lineal
GH3	LGH3	30-60	0.9529	$WVC = 0.0529\ RAW^2 + 3.7274\ RAW + 3.9262$	Polinomial 2.º grado

VWC=contenido volumétrico de agua; RAW= valor de capacitancia de lectura del EC-5; LGH3=lectura reportada para el sensor GH3. Las ecuaciones y R^2 = coeficiente de determinación.

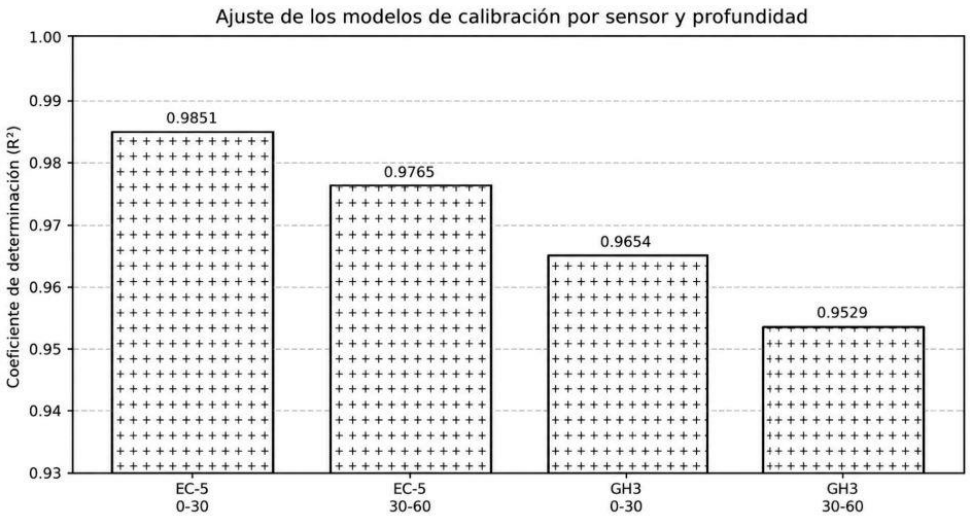


Figura 1. Coeficiente de determinación (R^2) de los modelos de calibración por sensor y profundidad.

La Figura 1 muestra valores de R^2 en las cuatro combinaciones sensor–profundidad, con un intervalo de 0.9529 a 0.9851. El mayor coeficiente de determinación correspondió al sensor EC-5 a 0–30 cm (R^2=0.9851), mientras que el menor se presentó en GH3 a 30–60 cm (R^2=0.9529). En ambos sensores se observa una disminución del ajuste al pasar de 0–30 a 30–60 cm, lo que sugiere que la profundidad y las características particulares del estrato del suelo pueden influir en la relación entre la señal del sensor y el contenido volumétrico de agua.

Conclusiones

Los sensores EC-5 y GH3 presentaron una relación alta entre sus lecturas y el contenido volumétrico de agua de referencia, con coeficientes de determinación (R^2) de 0.9529 a 0.9851. El mayor ajuste correspondió al EC-5 a 0–30 cm (R^2=0.9851), mientras que el menor se obtuvo con GH3 a 30–60 cm (R^2=0.9529).

La forma de los modelos de calibración dependió del sensor y de la profundidad. El EC-5 presentó modelos polinomiales de segundo grado en ambas profundidades, mientras que GH3 presentó un modelo lineal a 0–30 cm y uno polinomial de segundo grado a 30–60 cm. Esto indica que las ecuaciones de calibración deben establecerse de manera específica para cada sensor y profundidad evaluada.

Se observó una disminución del R^2 al pasar de 0–30 a 30–60 cm en ambos sensores, lo que podría estar relacionado con las diferencias en las propiedades del suelo entre los estratos. En el caso de GH3, las lecturas cero observadas bajo condiciones de mayor sequedad representan una limitación para estimar el contenido de agua en el extremo seco del intervalo evaluado.

Las ecuaciones obtenidas constituyen una herramienta para estimar el contenido volumétrico de agua a partir de las lecturas de los sensores bajo las condiciones estudiadas, para trabajos posteriores se puede considerar el uso en campo.

Referencias

Aguilar Ibarra, A., y Pérez Espejo, R. H. (2017). La contaminación agrícola del agua en México: retos y perspectivas. Problemas del desarrollo, 39(153), 205-215.

CNA. Comisión Nacional del Agua. (2019). Estadísticas del agua en México.

Esparza, M. (2014). La sequía y la escasez de agua en México: Situación actual y perspectivas futuras. Secuencia, (89), 193-219 https://doi.org/10.18234/secuencia.v0i89.123

Inzunza-Ibarra, M. A., Sánchez-Cohen, I., Jiménez-Jiménez, S. I., Marcial-Pablo, M. J., & Sifuentes-Ibarra, E. (2024). Cotton and its response to different soil water conditions. Ingeniería Agrícola y Biosistemas, 16(1), 3–12. https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2023.06.035

Mochizuki, H., & Sakaguchi, I. (2020). Linear function for calibrating capacitance and frequency domain reflectometry (EC-5) for soil water monitoring by introducing slope-intercept relationship. Soil Science and Plant Nutrition, 66(4), 531–540. https://doi.org/10.1080/00380768.2020.1774319

Nasta, P., Coccia, F., Lazzaro, U., Bogena, H. R., Huisman, J. A., Sica, B., Mazzitelli, C., Vereecken, H., & Romano, N. (2024). Temperature-corrected calibration of GS3 and TEROS-12 soil water content sensors. Sensors, 24(3), 952. https://doi.org/10.3390/s24030952

Sifuentes-Ibarra, E., Ruelas-Islas, J. del R., Soto-Flores, J. J., Macías, J., & Palacios-Mondaca, C. A. (2014). Planeación del riego en el cultivo de algodonero (*Gossypium hirsutum* L.), mediante un modelo de programación integral en el Distrito 075, Sinaloa, México. Scientia Agropecuaria, 5(2), 93–102. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.02.04

Spelman, D., Kinzli, K.-D., & Kunberger, T. (2013). Calibration of the 10HS soil moisture sensor for Southwest Florida agricultural soils. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 139(12), 965–971. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000647

Starr, J. L., & Paltineanu, I. C. (2002). Methods for measurement of soil water content: Capacitance devices. In J. H. Dane & G. C. Topp (Eds.), Methods of Soil Analysis: Part 4. Physical Methods (pp. 463–474). Soil Science Society of America.

ISO 11461:2001, International Organization for Standardization. (2001). Soil quality—Determination of soil water content as a volume fraction using coring sleeves—Gravimetric method (ISO 11461:2001). International Organization for Standardization.

RESPUESTA PRODUCTIVA Y FISIOLÓGICA DE CUATRO VARIEDADES DE ALGODÓN (*Gossypium hirsutum* L.) BAJO RIEGO POR GOTEO

Antonio Anaya-Salgado[1], Saúl Santana-Espinoza[1]*, Jorge A. Maldonado-Jáquez[1], Jesús S. Becerra-López[1], José L. García Hernández[2], [1]Arturo Reyes González[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias- Campo Experimental la Laguna, Matamoros, Coahuila. [2]Universidad Juárez del Estado de Durango Facultad de Agricultura y Zootecnia Ejido Venecia, Durango. *Autor de correspondencia: santana.saul@inifap.gob.mx

Introducción

El cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) es de importancia agrícola en las regiones áridas del norte de México, donde su productividad está determinada por la interacción entre el potencial genético, la disponibilidad de agua y el desarrollo del dosel. En este contexto, la caracterización de materiales mediante indicadores agronómicos y fisiológicos puede contribuir a un manejo más eficiente de los recursos y al desarrollo de estrategias de agricultura de precisión.

El índice de área foliar (IAF), el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el índice SPAD permiten complementar la evaluación convencional del cultivo. En algodón, Attia y Rajan (2016) observaron que el (IAF) y el (NDVI) respondieron a diferentes niveles de irrigación y se relacionaron positivamente con el rendimiento de fibra. Por su parte, Wood et al. (1992) y Peng et al. (1998) documentaron relaciones entre las lecturas (SPAD)y el contenido de nitrógeno y clorofila, así como con variables fisiológicas y productivas.

La reflectancia del dosel también presenta potencial para el diagnóstico intraestacional del estado nutrimental. Bronson et al. (2005) señalaron la utilidad de la reflectancia multiespectral para caracterizar el estado de nitrógeno en algodón, mientras que Arnall et al. (2016) encontraron que el NDVI obtenido con GreenSeeker alrededor de floración blanca se relacionó con el rendimiento final y que su normalización por grados-día acumulados mejoró su capacidad predictiva. No obstante, la respuesta de estos indicadores puede variar con el genotipo, etapa fenológica y ambiente, por lo que su interpretación debe realizarse de manera conjunta.

El objetivo fue comparar cuatro variedades de algodón en variables productivas, de crecimiento y fisiológicas, así como determinar la capacidad discriminante del IAF, SPAD y NDVI para caracterizar su respuesta bajo riego por goteo en condiciones áridas.

Materiales y métodos

El estudio se realizó durante el ciclo primavera-verano 2026 en el Campo Experimental La Laguna del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado a 25°32´ N y 103°14´ O. Se evaluaron cuatro variedades de algodón (*Gossypium hirsutum* L.): Cian Precoz (CP), GOS 27 (G27), FZ 13, y Delta Pine® (DP), utilizada como testigo. El cultivo se manejó mediante riego por goteo superficial, a una presión de operación de 10 PSI a una separación de 76 cm entre líneas regantes y goteros a 30 cm. Las cuatro variedades recibieron el mismo manejo hídrico durante el ciclo. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por seis surcos de 5 m de longitud y las evaluaciones se realizaron en los dos surcos centrales para reducir el efecto de borde.

La caracterización agronómica se efectuó mediante variables productivas, de crecimiento y fisiológicas. Se determinó el número de capullos por planta y su peso, así como la altura de planta (cm), el índice de área foliar (IAF) durante la máxima cobertura del dosel y durante la senescencia (IAFC). Como indicadores no destructivos de la condición fisiológica y respuesta espectral del cultivo se determinaron el índice relativo de clorofila (SPAD) y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

Las lecturas SPAD se obtuvieron con un medidor SPAD-502+® (Konica Minolta Inc., Japón), en la parte media de hojas completamente desarrolladas, entre las 09:00 y 11:00 h. El NDVI se determinó mediante un sensor GreenSeeker HCS-250® (Trimble, Sunnyvale, CA, EE. UU.), colocado a 50 cm sobre el dosel, durante el mismo horario de evaluación, en etapa de senescencia. El IAF se estimó mediante un ceptómetro PAR/LAI AccuPAR LP-80 (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, EE. UU.), realizando tres puntos de medición por parcela y tres lecturas por punto, por encima y debajo del dosel. Las mediciones se efectuaron entre las 12:00 y 14:00 h, en condiciones de cielo despejado y con el equipo orientado a 45° respecto al surco.

Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) considerando como fuentes de variación la variedad y el bloque. Cuando se detectaron diferencias estadísticas entre variedades, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación de Pearson para determinar las asociaciones lineales entre las variables productivas, de crecimiento y fisiológicas.

Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró que la variedad tuvo efecto significativo sobre el índice de área foliar (IAF; p=0.0036), GreenSeeker (p=0.0030) y (SPAD) (p=0.0071), mientras que no se detectaron diferencias estadísticas para número de capullos (p=0.5924), peso de capullos (p=0.2503), altura de planta (p=0.1003) ni IAFC (p=0.7447) ver Cuadro 1. Por tanto, la diferenciación entre materiales fue más evidente en atributos relacionados con la estructura y condición del dosel que en los componentes productivos evaluados.

El IAF mostró la mayor diferenciación entre materiales. DP presentó el valor más alto (6.43 ± 0.07), superior estadísticamente a CP (5.36 ± 0.39), FZ 13 (5.13 ± 0.68) y G 27 (4.85 ± 0.23), estos últimos en un mismo grupo estadístico. El mayor IAF de DP indica un dosel con mayor superficie foliar potencialmente disponible para interceptar radiación. En algodón, la estructura del dosel y la distribución del área foliar influyen en la intercepción de luz y la capacidad fotosintética (Yao et al*.,* 2016); además, el IAF se relaciona con biomasa, rendimiento y eficiencia en el uso del agua bajo diferentes condiciones de riego y densidad (Chen et al*.,* 2019). Sin embargo, un mayor IAF no implica necesariamente mayor rendimiento o eficiencia hídrica, por lo que debe interpretarse conjuntamente con las variables productivas y fisiológicas.

El GreenSeeker (NDVI) también discriminó entre variedades (Figura 1). G 27 (0.32), CP (0.31) y FZ 13 (0.31) presentaron valores estadísticamente similares y superiores a DP (0.26). Este patrón indica diferencias en la respuesta espectral del dosel entre genotipos. Los sensores ópticos activos pueden integrar información de estructura de la cubierta y verdor, por lo que sus lecturas deben interpretarse conjuntamente con variables de crecimiento y estado fisiológico. En algodón, se ha documentado el uso de (GreenSeeker y SPAD) para caracterizar el estado del cultivo y apoyar el diagnóstico nutrimental (Foote et al., 2016; Karatas & Karademir, 2023).

El (SPAD) mostró un patrón diferente: G 27 alcanzó el mayor promedio (55.05 ± 3.08), seguido de FZ 13 (51.17 ± 0.75), ambos dentro del grupo estadístico superior; CP (49.10 ± 1.98) y DP (46.53 ± 2.97) conformaron el grupo inferior. Esta respuesta sugiere diferencias genotípicas en la condición de verdor foliar. Sin embargo, (SPAD) no debe considerarse por sí solo como una estimación directa de rendimiento, ya que su relación con nitrógeno, clorofila y producción puede depender del momento de medición y del ambiente (Foote et al*.,* 2016).

Cuadro 1. Media ± desviación estándar de las variables evaluadas y significancia del efecto de variedad.

Variable	CP	DP	F Z13	G 27	p (variedad
Num capullos	19.67 ± 5.60a	18.67 ± 3.89a	21.58 ± 1.34a	21.08 ± 5.36a	0.5924
Peso Capullos (g)	99.75 ± 7.32a	110.25 ± 25.59a	119.00 ± 18.46a	99.00 ± 3.37a	0.2503
Altura (cm)	74.50 ± 2.19a	72.67 ± 6.69a	85.78 ± 5.28a	76.33 ± 8.99a	0.1003
Indice Area foliar	5.36 ± 0.39b	6.43 ± 0.07a	5.13 ± 0.68b	4.85 ± 0.23b	0.0036 **
IAFC	1.51 ± 0.00a	1.92 ± 0.69a	1.70 ± 0.07a	1.72 ± 0.59a	0.7447
Green Seeker (NDVI)	0.31 ± 0.04a	0.26 ± 0.02b	0.31 ± 0.01a	0.32 ± 0.03a	0.0030 **
SPAD	49.10 ± 1.98b	46.53 ± 2.97b	51.17 ± 0.75a	55.05 ± 3.08a	0.0071 **

Nota: Letras diferentes dentro de una variable indican diferencias por Tukey (α=0.05). ** p<0.01. Las variables sin diferencias significativas se mantienen en el cuadro para conservar la interpretación integral del ensayo.

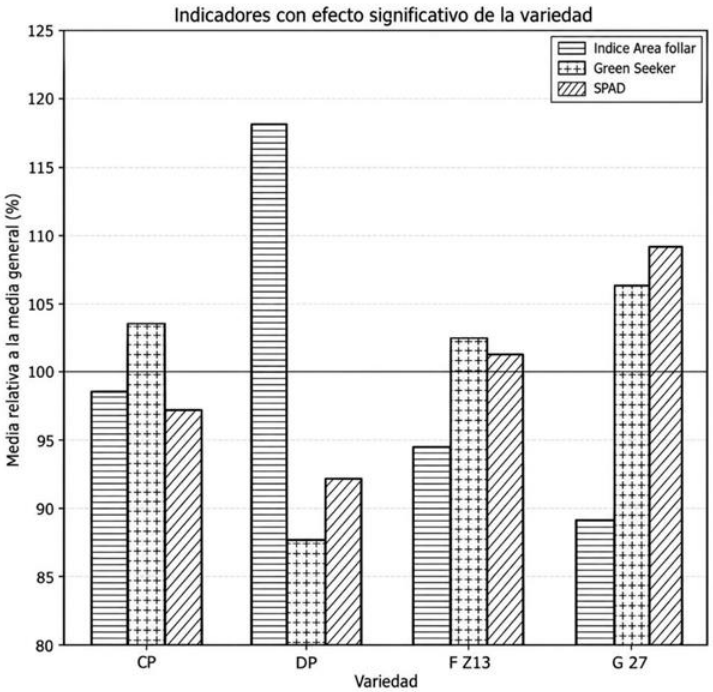


Figura 1. Respuesta relativa de las tres variables con efecto significativo de la variedad. La línea horizontal representa la media general (100%).

Entre las variables productivas, F Z13 presentó el mayor número de capullos (21.58), seguida de G 27 (21.08), CP (19.67) y DP (18.67); no obstante, las diferencias entre variedades no fueron significativas. El peso de capullos siguió un patrón similar, con F Z13 como promedio más alto (119.00), seguido de DP (110.25), CP (99.75) y G 27 (99.00), sin diferencias estadísticas. La altura promedio fue de 85.78 cm en F Z13, 76.33 cm en G 27, 74.50 cm en CP y 72.67 cm en DP; aunque el valor de p (0.1003) sugiere una tendencia, el criterio estadístico empleado no permitió declarar diferencias entre variedades (Cuadro 1).

El IAFC tampoco mostró diferencias entre materiales (p=0.7447), con medias de 1.51 a 1.92. Este resultado contrasta con el IAF, indicando que una mayor superficie foliar no necesariamente estuvo acompañada por una diferencia detectable en el indicador (IAFC) Desde la perspectiva de selección, esta distinción es importante: la respuesta de los genotipos no fue uniforme para todos los indicadores de arquitectura y actividad del dosel.

El análisis por bloques mostró un efecto significativo para número de capullos (p=0.0396) y GreenSeeker (p=0.0072), mientras que no fue significativo para peso de capullos, altura, (IAF), (IAFC), (SPAD) Esto confirma que parte de la variabilidad observada en algunas variables estuvo asociada con la posición o condición del bloque, por lo que la comparación de variedades debe interpretarse a partir del modelo de bloques y no únicamente de las medias aritméticas.

Relaciones entre indicadores. La matriz de correlaciones de Pearson mostró tres asociaciones significativas entre los indicadores: (IAF) con GreenSeeker (r=-0.62; p=0.0109), (IAF) con (SPAD) (r=-0.55; p=0.0265) y GreenSeeker con SPAD (r=0.58; p=0.0176). Las restantes correlaciones no fueron significativas. La relación positiva entre (GreenSeeker) y (SPAD)es consistente con que ambos indicadores incorporan información relacionada con el verdor foliar; en contraste, las asociaciones negativas del IAF con ambos indicadores sugieren que, en este conjunto de datos y bajo las condiciones particulares del ensayo, una mayor superficie foliar no se correspondió necesariamente con mayores lecturas espectrales o de (SPAD). Estas asociaciones deben considerarse exploratorias, debido al tamaño muestral reducido (n=16) y a que correlación no implica causalidad.

Conclusiones

Las cuatro variedades presentaron comportamiento estadísticamente semejante en número de capullos, peso de capullos, altura e (IAFC), por lo que las diferencias numéricas observadas en estas variables no deben interpretarse como superioridad varietal. En contraste, (IAF), (GreenSeeker y SPAD) fueron sensibles a diferencias entre genotipos. DP destacó por su mayor IAF, pero presentó la menor lectura de GreenSeeker y uno de los menores valores de SPAD; G 27 mostró la mayor lectura de SPAD y GreenSeeker, aunque el menor IAF. F Z13 combinó el mayor promedio numérico de capullos, peso de capullos y altura con valores intermedios de los indicadores fisiológicos.

En términos de fitomejoramiento y manejo de cultivos en zonas áridas, los resultados respaldan el uso conjunto de variables agronómicas y sensores de dosel para caracterizar materiales, evitando seleccionar genotipos con base en un solo indicador. Los indicadores GreenSeeker, (SPAD e IAF) constituyen variables potencialmente útiles para estudios posteriores que integren genotipo × producción.

Referencias

Arnall, D. B., Abit, M. J. M., Taylor, R. K., & Raun, W. R. (2016). Development of an NDVI-based nitrogen rate calculator for cotton. *Crop Science, 56(6), 3263–3271.* https://doi.org/10.2135/cropsci2016.01.0049

Attia, A., & Rajan, N. (2016). Within-season growth and spectral reflectance of cotton and their relation to lint yield. *Crop Science, 56(5), 2688–2701.* https://doi.org/10.2135/cropsci2015.05.0296

Bronson, K. F., Booker, J. D., Keeling, J. W., Boman, R. K., Wheeler, T. A., Lascano, R. J., & Nichols, R. L. (2005). Cotton canopy reflectance at landscape scale as affected by nitrogen fertilization. Agronomy Journal, 97(3), 654–660. https://doi.org/10.2134/agronj2004.0093

Peng, S., García, F. V., Laza, R. C., & Cassman, K. G. (1998). Chlorophyll meter to predict nitrogen sidedress requirements for short-season cotton (Gossypium hirsutum L.). Field Crops Research, 56(3), 309–314. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00108-1

Wood, C. W., Tracy, P. W., Reeves, D. W., & Edmisten, K. L. (1992). Determination of cotton nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter. Journal of Plant Nutrition, 15(9), 1435–1448. https://doi.org/10.1080/01904169209364409

Yao, H., Zhang, Y., Yi, X., Zhang, X., & Zhang, W. (2016). Cotton responds to different plant population densities by adjusting specific leaf area to optimize canopy photosynthetic use efficiency of light and nitrogen. Field Crops Research, 188, 10–16. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.01.012

Chen, Z., Niu, Y., Zhao, R., Han, C., Han, H., & Luo, H. (2019). The combination of limited irrigation and high plant density optimizes canopy structure and improves the water use efficiency of cotton. Agricultural Water Management, 218, 139–148. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.037

Foote, W. H., Edmisten, K. L., Wells, R., Collins, G. D., Roberson, G. T., Jordan, D. L., & Fisher, L. R. (2016). Influence of nitrogen and mepiquat chloride on cotton canopy reflectance measurements. Journal of Cotton Science, 20(1), 1–7. https://doi.org/10.56454/WJHN3394

Karatas, M., & Karademir, E. (2023). Management of nitrogen stress in cotton (Gossypium hirsutum L.) using GreenSeeker technology. Journal of Applied Life Sciences and Environment, 56(4), 495–507. https://doi.org/10.46909/alse-554075

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS EXCRETAS DE BOVINO-LECHE EN TRES ETAPAS DE MADURACIÓN PARA SU COMPOSTAJE

Alan Javier Tinoco Delgadillo[1], Guillermo González Cervantes[2*], Eva Aurora Bautista Calderon[2], Cristo Omar Puente Valenzuela[2]

[1] Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia, Venecia Durango, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera, Gómez Palacio, Durango, México. [*]Autor por correspondencia: gonzalez.guillermo@nifap.gob.mx

Introducción

En México, la actividad ganadera representa una de las principales fuentes de producción agropecuaria, abarcando una superficie aproximada de 110,000 km², lo que equivale al 5.6% del territorio nacional (Molina et al., 2020). La producción anual alcanza los 12,553,800 litros de leche y 2,079,362 kilogramos de carne en canal, reflejando la importancia económica y social del sector.
Dentro del contexto nacional, la Comarca Lagunera destaca como una de las regiones con mayor concentración de ganado bovino, tanto para carne como para leche, con un total de 976,430 cabezas. En particular, la región lagunera de Coahuila cuenta con 247,440 animales destinados a la producción lechera y 77,956 para carne, mientras que la Laguna de Durango alberga 288,848 bovinos lecheros y 362,186 para carne. En términos productivos, durante el año 2020 se registró una generación de 1,425,632 litros de leche y 28,117 kg de carne en Coahuila, y de 1,187,663 litros de leche y 75,350 kg de carne en Durango (SIAP, 2024).

La Comarca Lagunera constituye una de las principales regiones agropecuarias de México y destaca por la concentración de ganado bovino destinado tanto a la producción de leche como de carne. Esta intensa actividad ganadera genera importantes volúmenes de residuos orgánicos (Merino y Daudén, 2022). Se estima que, en conjunto, la Comarca Lagunera produce aproximadamente 7.5×10^6 toneladas de excretas en fresco por año, con un contenido promedio de 12.3% de materia seca (MS), lo que equivale a unas 925,000 toneladas anuales de estiércol seco (Páez O., 2021).

Las excretas pecuarias no deben considerarse únicamente como residuos, que contienen cantidades importantes de materia orgánica y elementos minerales que deben ser aprovechados dentro de los sistemas de producción agrícolas. Entre los principales componentes de interés, se encuentra el carbono y el nitrógeno, fosforo, potasio, calcio y magnesio y diversos micronutrientes. Un manejo adecuado de estos materiales puede permitir su transformación de residuos contaminantes en productos de valor agronómico.

Dado el impacto ambiental y el potencial de aprovechamiento de estos residuos (Gudiño, 2023), por lo anterior, y considerando tanto la problemática ambiental asociada con la generación de grandes cantidades de excretas como su potencial de aprovechamiento como fuente de materia orgánica y nutrientes, el presente estudio tuvo como objetivo caracterizar químicamente las excretas de bovino dedicadas a la producción de leche en diferentes etapas de maduración, mediante técnicas estandarizadas empleadas en el laboratorio del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera (CENID-RASPA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). La información obtenida permitió identificar los cambios en las principales propiedades químicas del material durante su proceso de maduración y aportar elementos para valorar su manejo, estabilización y posterior aprovechamiento como enmienda orgánica mediante procesos de compostaje. De esta manera, la investigación busca contribuir al aprovechamiento sustentable de los residuos generados por la actividad ganadera y al reciclaje de nutrientes dentro de los sistemas de producción agropecuaria de la Comarca Lagunera.

Materiales y métodos

Las muestras se obtuvieron de la empresa Biotransformadora de Subproductos Orgánicos S.A. de C.V., en Gómez palacio, Dgo. con diferente estado de maduración y representativas del proceso de compostaje de la empresa, (C01) de tres, (C02) cuatro y (C03) y cinco meses, la toma de muestras se realizó de manera aleatoria y en profundidad, siguiendo la metodología propuesta por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 para muestreo de suelos, adaptada a materiales orgánicos. Las muestras se almacenaron en bolsas herméticas en condiciones de refrigeración para evitar alteraciones y se trasladaron al laboratorio del Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Relación Agua – Suelo – Planta - Atmósfera (CENIDRASPA) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el km 6.5 margen derecha, canal sacramento, Gómez Palacio, Durango y se les realizo el análisis químico con técnicas estandarizadas.

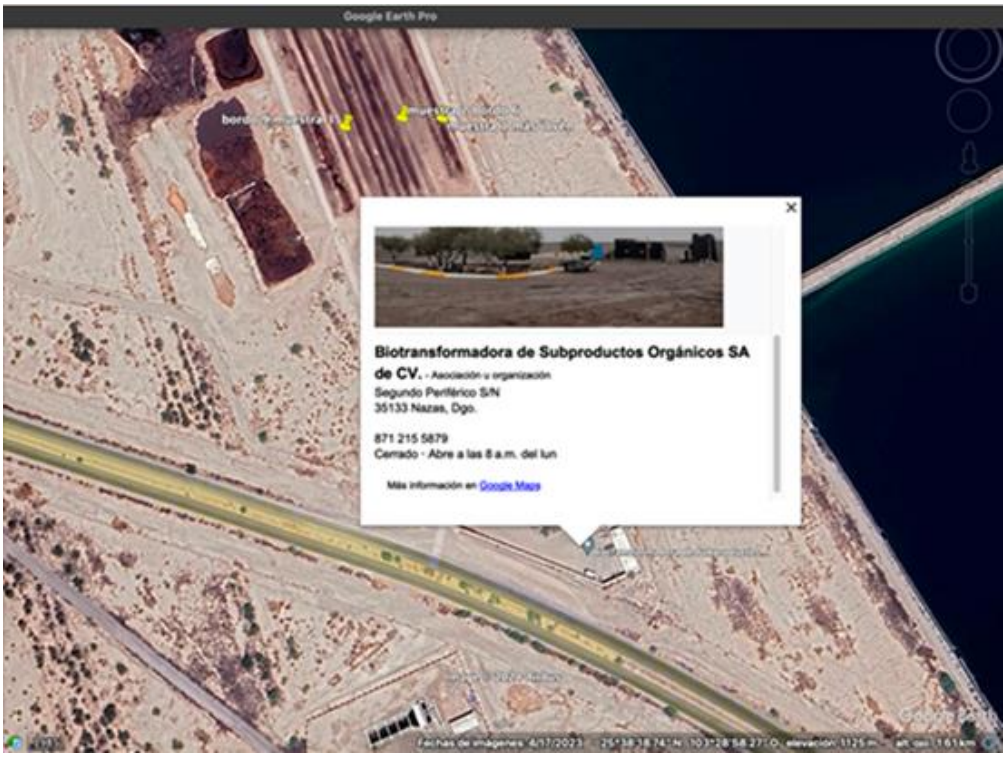


Figura 1. Ubicación de la empresa Biotransformadora.

Control de calidad y análisis comparativo. Todos los análisis se realizaron por duplicado para asegurar la precisión de los resultados. Se utilizó una hoja de cálculo para organizar los datos y generar gráficas comparativas entre muestras. La interpretación de los resultados se basó en criterios de calidad y madurez establecidos por la FAO (2003), así como en referencias técnicas nacionales sobre compostaje.

Resultados y discusión

En el cuadro 1, se presentan los valores obtenidos del análisis químico de las excretas bovino-leche de caracterizar las transformaciones asociadas con la degradación y estabilización de la materia orgánica durante el compostaje. El pH y la conductividad eléctrica (CE), permiten valorar los cambios en la reacción del material y la concentración de sales solubles, la humedad, factor importante para la actividad microbiana, la materia orgánica (M.O.) y el carbón orgánico (CO), permiten evaluar la transformación progresiva de la fracción orgánica, los sólidos minerales (S.M.) son la fracción inorgánica del material y concentración de amonio y el amonio (NH_4^+) representa una forma mineral del nitrógeno.

Cuadro 1. Resultados del análisis químico en estiércol con diferente estado de maduración en el compostaje.

Maduración	pH	CE	Humedad	M.O.	S.M.	CO	Amonio
		dS/m	%	%	%	%	ppm
C01	3.4	5.15	4.3	42	53	24	8272
C02	4.7	5.67	12.7	28	58	16	4439
C03	5.5	4.93	4.5	29	66	17	5094

CE, conductividad eléctrica, M.O. Materia orgánica, S.M. solidos minerales, C.O. carbón orgánico.

La muestra C01, mostró un pH ácido (3.4), una CE moderada (5.15 dS/m) y un contenido bajo de humedad (4.3%). La concentración de amonio fue alta (8272 ppm), lo cual indica una fase inicial de descomposición, donde la actividad microbiana aún es intensa y la materia orgánica no se ha estabilizado completamente.

En contraste, la composta C02, presentó un ligero incremento en la CE (5.67 dS/m), lo cual puede representar un riesgo de salinidad para las plantas si se aplica directamente al suelo. La humedad subió a 12.7%, y el amonio bajó a 4439 ppm, lo que indica un avance en la mineralización del nitrógeno. Sin embargo, el alto contenido salino sugiere una acumulación de sales solubles, posiblemente por una aireación deficiente o lixiviación limitada.

La muestra C03, mostró un mejor balance general. El pH se mantuvo dentro del rango de liberación de los ácidos húmico y fúlvicos adecuado (5.5), la CE disminuyo (4.93 dS/m) y el contenido de materia orgánica alcanzó su punto más alto (66%), lo que sugiere una mayor estabilización del material. El amonio registró un valor de 5094 ppm, menor que en C01, pero ligeramente superior a C02, lo cual puede estar relacionado con la transformación continua de compuestos nitrogenados. Esta muestra presenta características más próximas a una composta madura y estable, potencialmente lista para su uso agrícola.

En el cuadro 2, se presentan los resultados de los micronutrientes y nitratos, se observan cambios diferenciados en su concentración, lo cual es esperable ya que en el proceso de compostaje ocurren simultáneamente procesos de descomposición de la materia orgánica, mineralización inmovilización microbiana y perdida de algunos compuestos. Mientras Cobre, Fierro y Zinc presentan un incremento durante la segunda etapa (CO2) y posteriormente una disminución, el Manganeso mostro un incremento progresivo. En contraste los nitratos presentaron una disminución continua en las tres etapas. Este comportamiento puede estar relacionado con la transformación del nitrógeno durante el compostaje. El nitrógeno orgánico se transforma progresivamente mediante procesos de amonificación y nitrificación también ocurren perdida por volatilización y de otros procesos dependiendo de las condiciones de humedad, temperatura, aireación y pH.

Cuadro 2. Análisis químico en estiércol con diferente estado de maduración en el compostaje.

Maduración	Cobre	Fierro	Zinc Ppm.	Manganeso	Nitratos
CO1	26.26	22951.54	147.78	331.78	79.71
CO2	28.27	29008.81	207.28	487.3	73.33
CO3	27.26	24603.52	172.88	578.02	65.45

Conclusiones

La composta C03 presenta el perfil más equilibrado entre los parámetros evaluados, con un contenido elevado de materia orgánica (66%), pH adecuado, baja conductividad eléctrica (5.5 dS/m) y humedad estable. Esto sugiere un mayor grado de madurez y estabilidad, lo que la hace potencialmente apta para su aplicación agrícola directa, previo a una prueba de fitotoxicidad.

La muestra C01 refleja un estado de descomposición inicial, caracterizado por alta humedad (12.7%) y un contenido elevado de amonio (8272 ppm). Estos valores indican actividad microbiana intensa y una materia orgánica aún inestable. Se recomienda continuar su proceso de maduración y evitar su aplicación inmediata.

La muestra C02, aunque más avanzada en maduración que C01, presenta un problema crítico: una conductividad eléctrica alta (5.67 dS/m), que puede generar toxicidad en el suelo y las plantas. A pesar de un descenso en el amonio, su uso debe posponerse hasta reducir la carga salina.

En general, la evolución de los parámetros indica un proceso progresivo de estabilización, siendo C03 la más avanzada. Sin embargo, para garantizar seguridad agronómica, se recomienda complementar este análisis con una prueba de germinación o respiración microbiana.

C01 se encuentra en una fase inicial de maduración.

C02 muestra avances en descomposición, pero con niveles críticos de sales solubles.

C03 presenta el mejor perfil físico-químico y mayor estabilidad, lo que la posiciona como la más apta para su aplicación en suelos agrícolas, aunque se recomienda una prueba de fitotoxicidad para confirmar su madurez funcional.

Referencias

Gudiño d., (2023). Nanopartículas de óxido de cobre y extracto de vermicompost en el cultivo de acelga.

Merino P, y Daudén A. (2022). Manejo de estiércol y purines y sostenibilidad. Sostenibilidad en la producción ganadera, pp. 67-80, (2022). http://hdl.handle.net/10532/5774

Molina V., Molina V., Espinoza J., Contreras J., y López A. (2020). Viabilidad técnica y económica del uso de calentador comercial de agua a base de biogás en establos lecheros. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas, 11(2), 391–403. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.2078.

Páez O. (2021) Compost y compostaje: Conceptos básicos. Recuperado 17 de abril del 2024 de: https://opanatura.com/compost-y-compostaje/

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2024. Resumen Nacional de producción pecuaria 2020. Recuperado http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecResumen.jsp.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).2024. Bovino para leche población ganadera 2013-2022, Cabezas. Recuperado de: https://nube.siap.gob.mx/poblacion_ganadera

IMPLEMENTACIÓN DE UNA TÉCNICA EN LABORATORIO PARA CUANTIFICAR LA POROSIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMAGEN

Alan Javier Tinoco Delgadillo[1], Guillermo González Cervantes[2*], Eva Aurora Bautista Calderón[2], Cristo Omar Puente Valenzuela[2]

[1] Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez Del Estado de Durango, Venecia Durango México. Tesis de Ingeniería.[2]Centro de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (RASPA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Gómez Palacio, Durango, México. [*]Autor por correspondencia: gonzalez.guillermo@nifap.gob.mx

Introducción

El suelo es un elemento de gran importancia para la vida en general, y para el ser humano en particular, por ser el soporte de las actividades agrícolas como de otras actividades económicas y sociales. Los procesos físicos que se producen en el suelo y que, en gran medida, controlan esas actividades están condicionados por dos características físicas del suelo: su estructura y su textura o distribución del tamaño de las partículas que lo componen.

El análisis de imagen es una técnica que permite extraer información cuantitativa de una imagen. Las técnicas de imagen son muy diversas, desde el recuento visual de objetos hasta la medición con regla de un objeto sobre una fotografía, pasando por estudios más modernos mediante el uso de software para el análisis de imágenes digitalizadas. La digitalización de las muestras de suelo ofrece varias ventajas generales que la hacen necesaria en muchos campos de estudio, incluido el análisis de imagen. Esto facilita el cálculo numérico y simplifica el almacenamiento de la información (Pagliai, M and Vignozzi, N. 2003).

La digitalización consiste en convertir las coordenadas analógicas de cada punto en números. Para almacenar cada coordenada cromática, generalmente se utiliza un byte (8 bits) de memoria, lo que permite un total de 256 niveles de intensidad de iluminación en el caso de la luz cromática. Convencionalmente, en el caso de imágenes monocromáticas, los niveles de intensidad son 0 para el negro (intensidad nula) y 255 para el blanco (intensidad máxima) (Hallaire, 1997). La interpretación de imágenes monocromáticas permite diferenciar el material solido del vacío existente en el suelo, ello facilita la descripción de la porosidad y su organización espacial (González et al, 2004)

En términos ambientales, el uso de esta técnica permite un mejor aprovechamiento del agua y el suelo (de Oliveira et al 2021). La descripción de la porosidad del suelo considerando solo su volumen (densidad aparente) no es suficiente para explicar la dinámica que sigue el agua en el suelo. Por lo tanto, la caracterización del espacio poroso basada en su organización y distribución espacial (estructura) puede ser descrita y cuantificada mediante el análisis de imagen. Esta técnica ya ha experimentado un importante desarrollo en el estudio de la porosidad del suelo (Ringrose-Voase, A.J. and Bullock, P. 1984). La implementación y desarrollo de esta disciplina también ha permitido avanzar en una mayor comprensión de la distribución espacial de los vacíos del suelo, los arreglos de los agregados del suelo (compactación), la utilización agronómica de los suelos (capacidad para retener o dejar pasar el agua y los solutos) y su relación con la biota del suelo (macro organismos y raíces).

El flujo del agua en el suelo se realiza por los espacios vacíos (porosidad); este movimiento depende en gran medida de la abundancia relativa y de la distribución espacial de los vacíos existentes en el suelo; de ahí , que esta Técnica determina las características morfológicas de los poros mediante el análisis de imagen, y consiste en la cuantificación de la porosidad del suelo en muestras sin disturbar, a partir de dos criterios morfológicos: tamaño y forma de los poros y sus variaciones en el perfil, con un nivel de precisión mayor a los métodos clásicos.

Objetivo

Implementar la técnica del análisis de imagen, En el laboratorio del CENID-RASPA INIFAP, que permita caracterizar la organización y distribución espacial de la porosidad a partir de tres criterios morfológicos: tamaño, forma y continuidad, en muestras de suelo sin disturbar.

Materiales y métodos

Este trabajo experimental se llevó a cabo en el laboratorio de física del CENID-RASPA del INIFAP en Gómez Palacio, Durango. Se implementó la técnica del análisis de imagen para cuantificar la porosidad del suelo. Esta técnica consiste en un sistema óptico conectado a una cámara de video o fotográfica, encargada de enviar el campo de visión a un sistema informático que muestra los componentes de laboratorio de imagen, utilizando el programa informático Image Pro Plus®.

Dado que el análisis de imagen se basa principalmente en muestras de suelo no alteradas, se seleccionó un suelo de la comarca Lagunera como estudio de caso para la obtención de monolitos no alterados. Se consideraron tres criterios esenciales: la conservación de la estructura original del suelo, la posibilidad de realizar cortes horizontales y la homogeneidad de la superficie del bloque para su análisis posterior.

Resultados y discusión

Se seleccionó una huerta de nogal pecanero en la Comarca Lagunera como estudio de caso, después se describió su perfil, se seleccionan los horizontes para caracterizar la porosidad y se obtuvieron monolitos no alterados de ese horizonte de 15 x 15 x 15 cm, se añadió parafina liquida entre las paredes del cartón y suelo para no alterar la muestra al cortar a la base y transportar al laboratorio.



Figura 1. Perfil del suelo y obtención de monolitos.

En el laboratorio de física del CENID-RASPA INIFAP, los monolitos se deshidrataron, para ello se diseñó un dispositivo que permite el intercambio de agua por acetona (Figura 2).

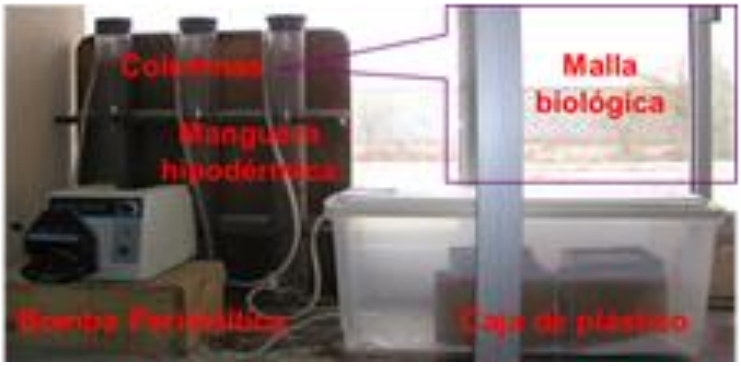


Figura 2. Dispositivo para el intercambio agua por acetona.

Después el monolito se impregno con una mezcla de resina liquida, pigmento fluorescente y un catalizador o secante, ello permitió la solidificación del monolito, finalmente se realizan cortes horizontales de 4 cm de espesor (figura 3) y se pulieron las superficies para su análisis y caracterización morfológica de la porosidad.

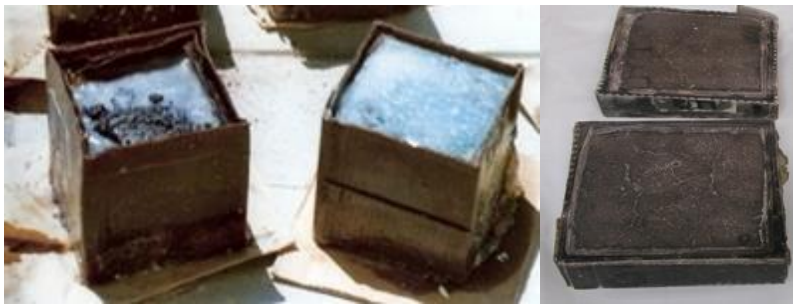


Figura 3. Monolito impregnado con resina y cortes horizontales.

Finalmente, en el laboratorio de imágenes (figura 4) la superficie de cada corte horizontal se eliminaron luz ultravioleta, para cuantificar la porosidad del suelo



Figura 4. Laboratorio de Análisis de imagen CENID-RASPA INIFAP

Posterior a la digitalización de la imagen, son procesadas en la computadora bajo un software Image Pro Plus®. Dicho programa se fundamenta en la identificación y determinación automática del número total de objetos negros que configuran una imagen.

Conclusiones

En la búsqueda de técnicas y/o metodologías que permitan caracterizar el suelo a través de su porosidad con fines productivos y ambientalistas, condujo a implementar una técnica de análisis de imagen en el laboratorio del CENID-RASPA del INIFAP. Esta técnica permito la caracterización y cuantificación de la porosidad del suelo a través de su tamaño, forma y continuidad.

En términos ambientales el uso de esta técnica permite incrementar la precisión en la determinación de la porosidad del suelo y aumentar el aprovechamiento del agua por los cultivos, al caracterizar la individualidad de los poros, por otra una descripción morfológica de los mismos, lo que permite considerar su utilización para las condiciones de circulación del agua en el suelo y la colonización de raíces que son fuertemente dependientes de estos parámetros.

Este método, por otra parte, permite robustecer las estimaciones del transporte de agua y de solutos en la modelación hidrológica de cuencas.

Referencias

de Oliveira, J. A. T., Cássaro, F. A. M., & Pires, L. F. (2021). *Estimating soil porosity and pore size distribution changes due to wetting-drying cycles by morphometric image analysis*. Soil and Tillage Research, 205, 104814. https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104814.

González Cervantes G. Sánchez Cohen I., Rossignol J.P. 2004. Morfología de los poros de circulación preferencial del agua en el suelo mediante técnicas del análisis de imagen. Revista Ingeniería Hidráulica de México, Vol XIX,num 3.

Hallaire, V. 1997. Description of microcrack orientation in a clayey soil using image analysis. (A.j. Ringrose-Voase, Gs Humphreys, eds) Elsiver, Amsterdam.

Morais, P. A. de O., Souza, D. M. de, Carvalho, M. T. de M., Madari, B. E., & Oliveira, A. E. de. (2019). *Predicting soil texture using image analysis*. Computers and Electronics in Agriculture, 146, 455–463.

Pagliai, M., Vignozzi, N. 2003. Image analysis and microscopic techniques to characterize soil pore system. College on Soil Physics. Trieste. Italy. 3 al 21 de marzo 2003. www.agenda.ictp.trieste.itlagenda/

Ringrose-Voase, A.J. and Bullock, P. 1984. The automatic recognition and measurement of soil pore types by image analysis and computer programs. *Journal of Soil Science* 35, 673–684.

RESTAURACIÓN DE LOS ALMACENES DE CARBONO EN SUELOS DE ZONAS ÁRIDAS POR DIFERENTES MANEJOS DEL SUELO

Valeria de los Ángeles Díaz-Balderas[1], Erika Nava-Reyna[1*], María del Rosario Jacobo-Salcedo[1], Luis Ángel González-Espíndola[1], Rubén Guadalupe Rivera Gutiérrez[2]

[1]Insitituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias CENID-RASPA, Gómez Palacio, Dgo., México; [2]Universidad para el Bienestar Benito Juárez García, Sede Tlahualilo, Tlahualilo, Dgo., México. *Autor por correspondencia: nava.erika@inifap.gob.mx

Introducción

En la actualidad, la deforestación, el sobrepastoreo y las prácticas agrícolas intensivas han degradado gran parte del suelo a nivel mundial, haciendo que se pierda la materia orgánica del suelo (MOS), oxidando el carbono y produciendo mayor cantidad de bióxido de carbono (CO_2) dirigido a la atmósfera (Lal, 2004; IPBES, 2018). Este problema es aún más frecuente en ecosistemas de zonas áridas, los cuales son más susceptibles a la erosión del suelo.

Las zonas áridas cubren un 40% de la superficie terrestre y almacenan una proporción significativa de COS y CIS global (Plaza et al., 2018; FAO, 2019). No obstante, con la deforestación de estos ecosistemas, el suelo se ve expuesto a la degradación, erosión y disminución de carbono orgánico en el suelo. Por lo tanto, la conservación de la vegetación nativa en estos ecosistemas, incluidos los mezquites (*Prosopis* spp), que al ser una leguminosa aporta en gran medida hojarasca rica en nitrógeno y retención hídrica en la rizósfera, es crucial (Castro et al., 2022).

Por otro lado, la búsqueda de sistemas agroecológicos es otra herramienta de interés para restaurar la calidad y fertilidad de suelos degradados en zonas áridas, los cuales a su vez contribuyan a la mitigación del cambio climático y calentamiento global, así como la búsqueda de cultivos alternativos como el nopal (*Opuntia* spp.) (Oduor et al., 2024; Greco et al., 2026). El nopal cuenta con un metabolismo que ayuda a tener usos eficientes de agua, promueve la incrementación de la MOS y exudados al suelo lo cual también influye en el almacén de carbono.

Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficacia de la conservación de plantas nativas de zonas áridas, así como la implementación de cultivos alternativos bajo manejo agroecológico para la restauración de los almacenes de carbono en el suelo.

Métodos y materiales

Descripción del sitio de estudio. El estudio se realizó en el campo experimental de la Universidad Benito Juárez García, Sede Tlahualilo, en la localidad de Pamplona, Tlahualilo, Durango. La región se caracteriza por ser árido y semiárido y suelos arcillosos, la temperatura media es de 21°C con un rango que oscila entre los 34 - 36 °C en verano y 7 - 9 °C en invierno, con una precipitación anual de 211 mm.

Toma y manejo de las muestras. Se seleccionaron tres usos de suelo diferentes (Cuadro 1). Para la recolección de las muestras se usó un muestreo sistemático en forma de 5 de oros omitiendo el punto central, dejando cuatro puntos para la toma de las muestras por tipo de suelo con una profundidad de 0-20 cm, mismas que se trasladaron al laboratorio de suelos de CENID RASPA almacenadas en bolsas de polietileno y rotuladas para su identificación. Las muestras fueron secadas y tamizadas a 2 mm y .5 mm para posteriores determinaciones.

Cuadro 1. Descripción de los sitios de estudio.

Tratamiento	Descripción	Coordenadas
AgroE	Suelo cultivado con nopal *Opuntia* SPP e implementación de composta bovina por 3 años consecutivos	26.1001486, -103.3963700
Degradado	Suelo deforestado y nula vegetación.	26.1002793, -103.3966446
Conservado	Suelo original sin intervención humana con mezquite *Prosopis* spp nativo	26.1000363, -103.3964767

Cuantificación del contenido de COS y CIS. La determinación de COS se llevó a cabo por digestión húmeda (Walkley y Black, 1934), mientras que el CIS se determinó a partir del contenido de carbonatos por el método volumétrico del calcímetro de Bernand (Loeppert y Suarez, 1996).

Determinación de almacén de Carbono Orgánico del Suelo (COS) y almacén de Carbono Inorgánico del Suelo (CIS). Para determinar el almacén de COS y CIS, se aplicó la ecuación descrita por Fan et al 2024:

$$Almacen\ de\ COS(CIS) = COS(CIS) \times DA \times P \times 10$$

Donde: COS y CIS es el contenido de carbono orgánico e inorgánico del suelo, respectivamente, DA es la densidad aparente, P es la profundidad y 10 es el factor para ajustar las unidades.

Análisis estadístico. Los datos fueron analizados mediante una prueba de Shapiro-Wilk para evaluar su normalidad, seguida por una prueba de Levene para la homogeneidad de varianza. Aquellos datos que no cumplieron los supuestos estadísticos, fueron transformados con Log10 para posteriormente, realizar una prueba de ANOVA de una vía al 95% de confianza y una prueba Tukey posthoc, utilizando el programa IBM SPSS Statistics.

Resultados y discusiones

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas en el almacén de COS entre los tratamientos (F= 12.79, p=0.002). En el tratamiento agroecológico con cultivo de nopal e incorporación de composta bovina (AgroE) se presentó el almacén de COS más elevado (Figura 1), alcanzando un valor de 1.55 g C kg^{-1} suelo, superando significativamente los otros dos tratamientos, probablemente debido a la estimulación de la formación de microagregados que protegen al carbono de la mineralización oxidativa (Barré et al., 2017; Diniz et al., 2021). Resultados similares, fueron aportados por Mendoza-González et al., (2020) quienes observaron un aumento de COS al implementar nopal junto a enmiendas orgánicas en suelos de zonas áridas.

Por otro lado, no existió diferencia entre el suelo conservado con mezquite (Con) y el suelo degradado sin vegetación (Deg) registrando valores de 1.25 g C kg^{-1} 1.15 g C kg^{-1} suelo respectivamente. Esto, podría responder a la marcada heterogeneidad espacial de suelos bajo vegetación nativa en zonas áridas donde el COS solo se acumula por las llamadas “Islas de fertilidad” (Paredes-Aguilar et al., 2021). Estos ecosistemas, limitan la acumulación de COS por la fotodegradación de la hojarasca expuesta y las raíces profundas del mezquite (Throop y Archer, 2009).

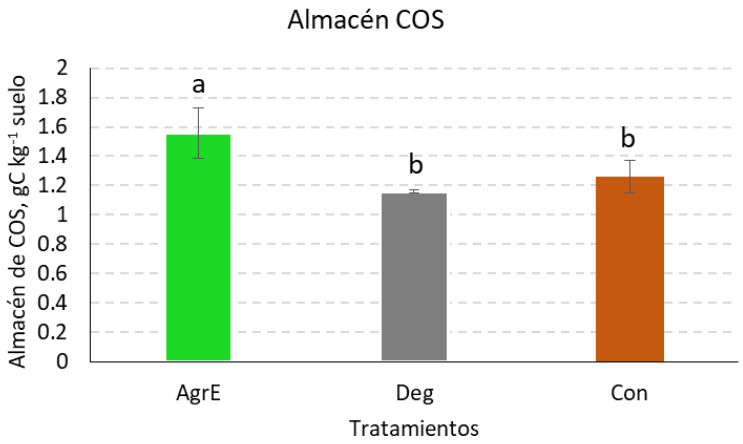


Figura 1. Almacén de COS bajo diferentes usos de suelo: AgrE – manejo agroecológico de cultivo de nopal con incorporación de composta bovina; Deg – suelo sin vegetación; Con – mezquital conservado.

Para el almacén de CIS, el análisis estadístico no presentó diferencias significativas entre los tres tratamientos (F=0.57, p=0.59). Los valores del almacén de CIS fueron de 7.0 en AgroE, 7.5 en Deg y 9.2 en Con (Figura 2). Esta falta de variación se podría atribuir al buffer químico que impone las condiciones alcalinas del medio edáfico (Plaza et al., 2018; Wang et al., 2021), lo que permitió que el CIS permanezca homogéneo.

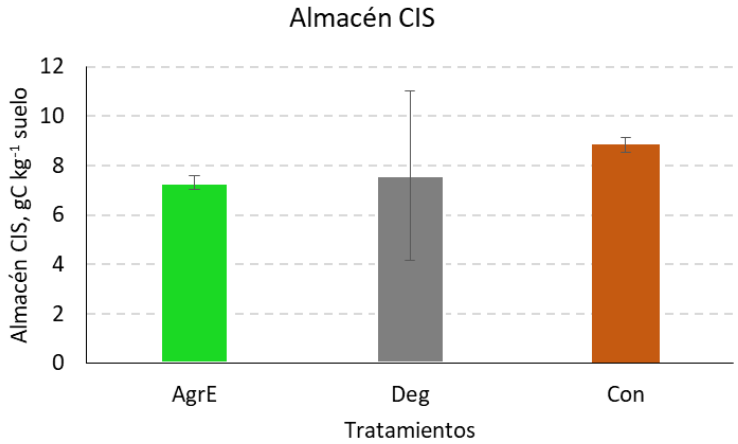


Figura 2. Almacén de CIS bajo diferentes usos de suelo: AgrE – manejo agroecológico de cultivo de nopal con incorporación de composta bovina; Deg – suelo sin vegetación; Con – mezquital conservado.

Estos resultados nos muestran que la implementación de un cultivo alterno como el nopal (*Opuntia* spp.), y la implementación de enmiendas orgánicas como la composta favorecen la recuperación de suelos degradados en zonas áridas a través del incremento del almacén de COS desde el mediano plazo. Asimismo, el nopal cultivado bajo manejo agroecológico cuenta con un metabolismo ácido (CAM) y tiene una alta eficiencia en el uso de agua y cuenta con un sistema radicular denso que libera exudados y mucílago a la rizósfera, que pudieran favorecer a la estabilidad de los agregados y acumulación de carbono lábil en el suelo, resultados consistentes con lo reportado por Diniz et al. (2021), quienes también encontraron que el nopal *Opuntia ficus-indica* bajo manejo agroecológico permite mantener el carbono en zonas áridas.

Conclusiones

La implementación del manejo agroecológico con cultivo de nopal e incorporación de enmiendas orgánicas (AgroE) es una estrategia eficiente para la restauración de suelos degradados de zonas áridas, ya que incrementa de manera significativa el carbono orgánico del suelo. Así, se considera que el cultivo de nopal puede ser un cultivo alternativo para la mitigación de la degradación del suelo y favorecer la captura de COS en ecosistemas áridos a mediano plazo.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias bajo el proyecto no. 120198329 “Diagnóstico Integral de Fertilidad y Salinidad de Suelos para la Producción Sustentable Agrícola en México”.

Referencias

Plaza, C., O’Brien, S., van Groenigen, G., & et al. (2018). Direct evidence for organic carbon preservation in dryland soils. Nature Communications, 9(1), 2223. https://doi.org/10.1038/s41467-018-04585-3

FAO. (2019). Trees, forests and land use in drylands: The first global assessment – Full report (FAO Forestry Paper No. 184). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/3/ca7121en/ca7121en.pdf

Diniz, W. J. S., Silva, T. G. F., Santos, D. C., Dubeux Jr, J. C. B., & Santos, M. V. F. (2021). Opuntia ficus-indica as a sustainable alternative for soil organic carbon sequestration and nutrient cycling in dryland agroecosystems. Agriculture, Ecosystems & Environment, 312, 107356. https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107356

Sales, A. T., et al. (2016). Materia orgánica y estabilidad de agregados en suelos cultivados con Opuntia. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7(8), 1985-1996.

Barré, P., Angers, D. A., Basile-Doelsch, I., Bispo, A., Cécillon, L., Chenu, C., ... & Derrien, D. (2017). The theoretical framework of soil carbon persistence. Biogeochemistry, 136(3), 275-288. https://doi.org/10.1007/s10533-017-0385-2

IPBES. (2018). The IPBES assessment report on land degradation and restoration. Scholes, R., Montanarella, L., Brainich, A., Barger, N., ten Brink, B., Cantele, M., Erasmus, B., Fisher, J., Gardner, T., & Xi, H. (Eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 744 pages. https://doi.org/10.5281/zenodo.3237392

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science, 304(5677), 1623-1627. https://doi.org/10.1126/science.1097396

Castro, A., Gómez, R., & Montaña, C. (2022). Nitrogen fixation and rhizospheric effects of Prosopis species in arid lands. Journal of Arid Environments, 201, 104740. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104740

Throop, H. L., & Archer, S. R. (2009). Resolving the effects of woody plant encroachment on soil carbon and nitrogen stocks in drylands. Ecology Letters, 12(10), 1042–1054. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01358.x

Mendoza-González, G. E., Valdez-Cepeda, R. D., & Magallanes-Quintanar, R. (2020). Soil organic carbon pools under Opuntia ficus-indica plantations and organic amendments in semiarid environments. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 20(3), 1420–1432. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00223-w

Wang, X., Wang, J., & Zhang, J. (2021). Responses of soil organic and inorganic carbon storage to agricultural practices in dryland farming systems. Land Degradation & Development, 32(8), 2510–2522. https://doi.org/10.1002/ldr.3912

ANALISIS ECONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN DE ALGODÓN CON Y SIN TECNOLOGÍA DE RIEGO EN LA REGIÓN LAGUNERA

Damián Torres Hernández[1]*, Antonio Anaya Salgado[1], José de Jesús Espinoza Arellano[2].

[1]Campo Experimental La Laguna-INIFAP. Boulevard José Santos Valdés, 1200 poniente, Matamoros, Coahuila, México. CP. 27460. [2]Universidad Autónoma de Coahuila. Boulevard Revolución 153 oriente, Torreón, Coahuila. CP.27000. *Autor para correspondencia: torres.damian@inifap.gob.mx

Introducción

La contaminación del agua y la sobreexplotación de los mantos acuíferos hacen más severa la escasez de los recursos hídricos. En México tanto el crecimiento poblacional como el desempeño de las actividades productivas han propiciado una extracción desmedida del vital líquido sin considerar que los potenciales han sido rebasados. La competencia por el recurso está determinada por los distintos tipos de consumidores y por la poca y decreciente disponibilidad del recurso (Esparza et al., 2014; CNA, 2019). y es que el líquido está involucrado en los aspectos sociales económicos, ambientales, políticos y culturales del ser humano (Aguilar et al., 2017), de ahí que es uno de los recursos naturales que al verse escaso provoca conflictos, distorsiona el habitad y pone en riesgo a todo tipo de existencia que dependa del agua. Siendo que el recurso hídrico es vital para cualquier ser vivo este no tiene un precio asignado como los bienes y servicios del mercado, situación que conlleva al desperdicio y mala administración de su manejo. Si en México se llegará a pagar una tarifa monetaria por el consumo de agua agrícola esto no sería suficiente para hacer un uso eficiente del agua.

La ingeniería de riego y drenaje agrícola se ha enfocado en desarrollar sistemas que provean de agua en forma calculada y sistematizada a fin de aplicar solo el agua necesaria en la agricultura, sin embargo, estos sistemas siguen siendo ignorados por los productores, y consecuentemente persistiendo el desperdicio del recurso hídrico debido a que no tiene un precio por unidad de medida si no que las tarifas establecidas se cobran por una determinada cantidad de agua regada superficialmente (por inundación). La presente publicación tiene como objetivo realizar la evaluación económica del uso de la tecnología de riego por cintilla en la producción de algodón en la Región Lagunera.

Materiales y métodos

En el INIFAP, Campo Experimental La Laguna, ubicado en 25°32´ N y 103°14´ O, se establecieron tres hectáreas para la producción de algodón durante el ciclo primavera-verano 2026, donde se evaluaron tres variedades de algodón (Gossypium hirsutum L.): Cian Precoz (CP), GOS 27 (G27) y Delta Pine® (DP), utilizada como testigo. El cultivo se manejó con un sistema de riego mediante cintillas para goteo sub-superficial, a una presión de operación de 10 PSI, separación de 76 cm entre líneas regantes y goteros a 30 cm. Las tres variedades recibieron el mismo manejo hídrico durante el ciclo. Se caracterizó el suelo en los estratos de 0–30 y 30–60 cm, a través de sus propiedades fisicoquímicas relacionadas con el manejo de humedad. La caracterización agronómica se efectuó mediante variables productivas.

La metodología utilizada para la evaluación económica del riego por goteo corresponde al análisis marginal desarrollada en 1976 por el Programa de Economía Agrícola del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Esta metodología permite obtener los costos y beneficios económicos de los tratamientos alternativos y agregación de valor en los experimentos agrícolas, y determinar la diferencia relativa del cambio en los costos y beneficios marginales (CIMMYT, 1988).

Resultados y discusión

Para realizar la evaluación económica se requiere considerar un presupuesto parcial, el cual incluye todos los ingresos, pero no todos los costos de producción, solamente los costos que se están adicionando y posterior el análisis marginal. El Cuadro 1, presenta la información sobre el presupuesto parcial con y sin el uso de la tecnología de riego con cintilla en la producción de algodón.

Cuadro 1. Presupuesto parcial con y sin tecnología de riego en la producción de algodón

Concepto / Actividad	Sin tecnología	Con tecnología
Rendimiento promedio algodón pluma (ton/ha)	1.57	2.55
Precio de venta ($/ton)	32,058	32,058
Rendimiento ajustado (ton/ha)		0.98
Beneficios brutos ($/ton)	50,411.21	81,844.07
Costo del sistema de riego ($/ha)		10,998.00
Costo de la mano de obra para instalar la cintilla ($/ha)		1,890.00

El rendimiento promedio del algodón sin tecnología de riego en la región lagunera es de 4.25 toneladas por hectárea producidas con riego por inundación, considerando un rendimiento industrial de 37% siendo 1.57 ton/ha^{-1} de algodón pluma, que a un precio promedio de 81.19 centavos dólar por libra, es decir, 32.058 pesos por kilogramo, el productor obtuvo 50,411.21 pesos por su rendimiento. Cabe mencionar que el tipo de cambio utilizado fue el precio futuro de 17.91 pesos por dólar (Banxico, 2026). El ingreso bruto obtenido

En cuanto al rendimiento de algodón obtenido con la tecnología de riego por cintilla fue de 6.9 toneladas por hectárea, que en consideración del rendimiento industrial de 37% se obtuvieron 2.55 ton/ha^{-1} de algodón pluma con un valor de económico de 81,844.07 pesos, generándose así una diferencia de 0.98 ton/ha^{-1} en favor de la producción con riego por cintilla con respecto a la producción con riego por inundación.

Además de la información del Cuadro 1, la metodología considera realizar el análisis marginal mediante la tasa de retorno marginal (Cuadro 2), la cual examina la diferencia relativa del cambio en los costos y beneficios ante un cambio productivo como aquí sucede.

Cuadro 2. Análisis Marginal con y sin tecnología de riego en la producción de algodón

Análisis marginal	Sin tecnología	Con tecnología
Beneficios netos ($/ha)	50,411.21	68,956.07
Costos que varían marginales ($/ha)		12,888.00
Beneficios netos marginales ($/ha)		18,544.87
Tasa de Retorno Marginal (%) {(Beneficios/Costos) *100}		143.89

El análisis marginal mostrado en el Cuadro 2, permite realizar una comparación en cuanto al beneficio neto de 50,411.21 pesos obtenidos con la producción sin tecnología de riego y el uso de la cintilla para la producción de algodón, la cual generó un rendimiento marginal de 0.98 ton/ha^{-1} y un beneficio económico de 68,956.07 pesos para el productor una vez descontados los costos del sistema de riego y la mano de obra de instalación ($12,888.00).

La diferencia económica generada con y sin tecnología de riego, descrita como beneficios netos marginales, es de 18,544.87 pesos en favor de la producción de algodón con la tecnología de riego por cintilla.

La evaluación económica considera una Tasa de Retorno Mínima Aceptable (TREMA) del 100% a la inversión adicional (CYMMYT, 1988), la cual es menor que la Tasa de Retorno Marginal de 143.89% del Cuadro 2. Esta comparación indica que se recupera el 100% de la inversión y adicionalmente se genera un 43.89% sobre ese desembolso, es decir por cada peso invertido el productor lo recupera y esa inversión genera 0.43 pesos.

Conclusiones

Además de que los sistemas de riego controlado contribuyen al ahorro del agua de uso agrícola, la evaluación económica realizada en el presente indica que la inversión en el sistema de riego por cintilla es económicamente factible ya que se recupera y además genera una ganancia adicional debido a que se incrementan los rendimientos hasta en un 38%.

Referencias

Aguilar Ibarra, A., y Pérez Espejo, R. H. (2017). La contaminación agrícola del agua en México: retos y perspectivas. Problemas del desarrollo, 39(153), 205-215.

CIMMYT. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D.F. México.

CNA. Comisión Nacional del Agua. (2019). Estadísticas del agua en México.

Esparza, M. (2014). La sequía y la escasez de agua en México: Situación actual y perspectivas futuras. Secuencia, (89), 193-219 https://doi.org/10.18234/secuencia.v0i89.123

CARACTERIZACIÓN DE PRODUCTORES Y PREFERENCIAS PARA LA ADOPCIÓN DE VARIEDADES CULTIVADAS DE FRIJOL EN DURANGO

Leslie Carnero-Avilés [1]*, Rigoberto Rosales-Serna [1], Mercedes Borja-Bravo [2], Saúl Santana-Espinoza [3], José Carlos Monárrez-González [1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias–Campo Experimental Valle del Guadiana. Carr. Durango – El Mezquital km 4.5. C. P. 34170. Durango, Durango, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias–Campo Experimental Pabellón. Carretera Aguascalientes-Zacatecas km 32.5. C. P. 20660. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias–Campo Experimental La Laguna. Boulevard José Santos Valdéz 1200 Pte. C. P. 27440. Matamoros, Coahuila, México. *Autor de correspondencia: carnero.leslie@inifap.gob.mx

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es el cultivo de importancia más alta en algunas áreas del estado de Durango, como la Región de los Llanos. Las clases comerciales más populares para la siembra de frijol son pinto y negro brillante; mientras que, las variedades sobresalientes son Pinto Saltillo y Negro San Luis. Existen otras variedades de frijol pinto, como Pinto Centauro y PID 2 que son cultivadas en Durango, aunque por cuestiones comerciales se conocen de forma genérica como Pinto Saltillo. De igual manera existen variedades de frijol negro (Negro Querétaro, Negro Rajuela) agrupadas en la denominación de Negro San Luis y la variedad que generó esa denominación, en algunas áreas, es conocida como Negro Bola. Con base en lo anterior, se considera necesario establecer las proporciones de adopción y persistencia de uso de las variedades de frijol desarrolladas por el INIFAP en Durango. Se ha observado que la selección de la variedad que será sembrada por parte de los productores depende del nivel de recursos económicos disponibles, fecha de inicio del periodo de lluvias y accesibilidad a fuentes de semilla de calidad. Con base en ello, se establece la superficie sembrada con frijol y la variedad que será utilizada en un determinado ciclo de siembra, tanto a nivel parcelario como a nivel región. De esta manera, los productores con recursos económicos altos siembran superficies superiores a 100 has; mientras que, los de bajo nivel económico siembran superficies inferiores a 10 ha.

Los productores grandes siembran las variedades que son de su agrado, con base en el nivel de productividad y opciones de venta con los comercializadores, al mayoreo y menudeo, que son sus clientes en forma recurrente. Por su parte, los productores pequeños siembran variedades de frijol proporcionadas dentro de los programas de apoyo federal y estatal, entre las que sobresalen Pinto Saltillo y Negro San Luis (por ejemplo, Plan Frijol en Durango-SADER). En 2026, se implementó el Plan Frijol en Durango, en el cual se entregó semilla certificada con subsidio de la variedad Pinto Saltillo (1,000 toneladas) y habilitada de Negro San Luis (500 toneladas). Con ello, se tiene la expectativa de sembrar 29 mil hectáreas de frijol Pinto Saltillo y 12,500 ha de Negro San Luis. Además, se mencionó que los productores que utilizaran esta semilla en su parcela tendrán oportunidades altas para que su producto sea seleccionado en los programas de acopio de grano para abastecer la demanda nacional de esta leguminosa. Se ha reconocido que la variedad de frijol Pinto Saltillo se convirtió en un éxito productivo y comercial en México, por lo que se busca replicar dichos resultados en otras variedades de frijol generadas por el INIFAP (Rosales et al., 2026). El objetivo fue caracterizar a los productores de frijol de la Región de Los Llanos de Durango y establecer las preferencias para la adopción de variedades cultivadas de frijol en Durango.

Materiales y métodos

Obtención de datos. Se diseñó y aplicó una encuesta estructurada a los productores asesorados por el personal técnico encargado de las Escuelas de Campo (ECAs) en la Región de Los Llanos de Durango, principalmente en el sur de Cuencamé. La encuesta fue contestada por 52 productores de frijol en diversas localidades de dicha región. La selección de los encuestados fue por muestreo no probabilístico por conveniencia, a partir de su disposición y aceptación para contestar la encuesta.

Las variables que se incluyeron en el instrumento de recolección de información fueron: superficie sembrada, variedad preferida, fuente de adquisición de la semilla, nivel de facilidad para comercializar, canales de comercialización y sitios principales para la venta del producto. Las encuestas se aplicaron en los meses de marzo y abril de 2026 y los datos fueron capturados en una base de datos del programa Excel®.

Análisis de la Información. El análisis estadístico de los datos se realizó con técnicas de la estadística multivariada, obtenida con el software SPSS 27.0 para Windows (IBM, 2022) y Minitab 15. Primero se utilizó el Análisis de Conglomerados (AC) jerárquico para identificar el número de grupos de productores de forma gráfica (dendrograma), basado en el algoritmo de Ward. Posteriormente, el análisis se complementó con el análisis de conglomerados K-medias, para obtener una mejor identificación de los grupos. Finalmente, para comprobar y validar los resultados obtenidos con K-medias, se evaluó la clasificación y asignación de cada individuo al grupo formado con un Análisis Discriminante (Díaz, 1998; Borja et al., 2025).

En el Análisis Discriminante, se determinaron las variables independientes que más favorecieron la diferenciación de cada grupo y se verificó que la conformación de conglomerados fuera robusta. En el Análisis Discriminante, se utilizó el método de selección de variables mediante la regresión por pasos (stepwise). Para seleccionar las variables, se utilizó el estadístico Lambda de Wilk, considerando que, si su valor era cercano a cero, la variabilidad total se debió a las diferencias entre grupos. Por su parte, si el valor era próximo a uno, los grupos estaban mezclados y el conjunto de variables independientes, era inadecuado para construir las funciones discriminantes (Vivanco et al., 2010).

Resultados y discusión

Con el análisis de Conglomerados por el método jerárquico se identificaron dos grupos principales de productores de frijol de forma gráfica (Figura 1). Posteriormente, se con el análisis de conglomerados mediante el método de K-medias, los agricultores encuestados pudieron tipificarse como pequeños y medianos. Los resultados del análisis discriminante mostraron la bondad de ajuste durante la clasificación y con base en ello, se determinó que todos los entrevistados se tipificaron de forma correcta y válida. La interpretación del valor del estadístico Lambda de Wilks de 0.28, valor cercano a cero, demostró que los grupos formados fueron estadísticamente diferentes.

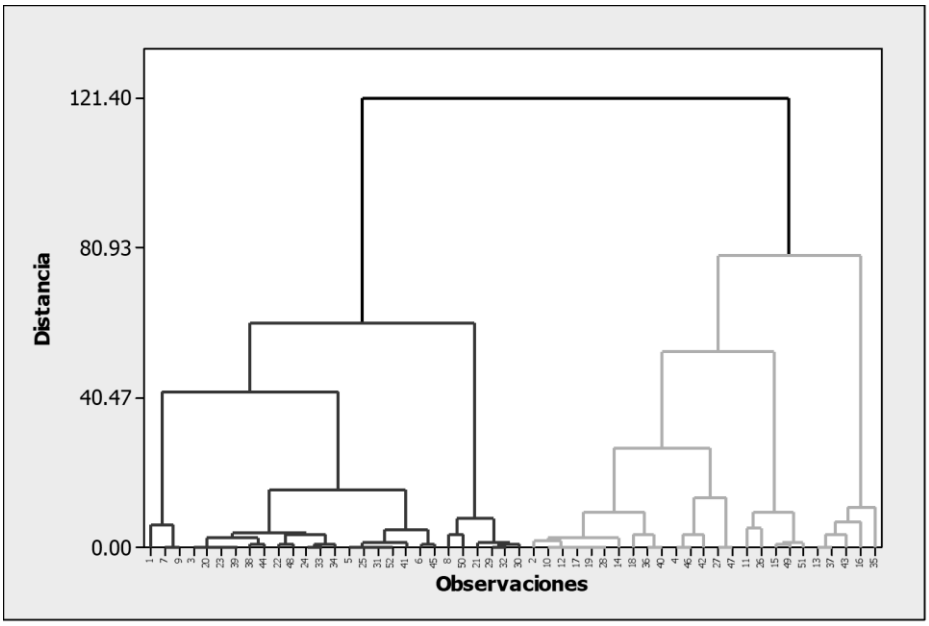


Figura 1. Dendrograma de los tipos de productores de frijol incluidos en el estudio realizado en la Región de Los Llanos de Durango.

Los grupos con separación clara fueron los pequeños y medianos productores, lo que se ha relacionado con la disponibilidad de terrenos de cultivo, uso de variedades y facilidades para la comercialización del frijol. Las variables que contribuyeron mayoritariamente en la separación de grupos de productores fueron la superficie sembrada, siembra de variedades de frijol diferentes a Pinto Saltillo; así como, la fuente de donde obtienen la semilla y el lugar donde comercializan el grano de frijol producido en su parcela. Estas variables obtuvieron un nivel de p <0.05 y valor de F mayor a 3.84; mientras que, la facilidad de comercialización (p= 0.270; F= 0.954) y la siembra de Pinto Saltillo (p= 0.276; F= 0.011) tuvieron aportación pobre a la separación entre los grupos de productores.

Grupo 1: Pequeños productores. Se conformó con el 44.2% de los productores entrevistados y entre ellos, el 47.8% siembran entre 5 a 10 ha; 21.7% de 10 a 15 ha, 17.4% menos de 5 ha y el resto (13.0%) siembra más de 15 ha. Se observó predominancia de las superficies sembradas con valores mayores a 5 ha, con niveles bajos para las superficies mayores a 15 ha. A pesar de lo anterior, existen fuera de este grupo de productores, que participan en las ECAs, agricultores que siembran cientos de hectáreas con frijol, pero evitan su inclusión en este tipo de agrupaciones promovidas por el gobierno. Se determinó que 30.4% de los entrevistados siembra frijol Pinto Saltillo, pero el 100% de los productores de este grupo siembran variedades de frijol negro, la variedad sobresaliente fue Negro San Luis (69.6%), seguido del Negro Querétaro (17.4%) y la variedad Brujan (13%). En este grupo, se observó declive de la preferencia por la siembra de Pinto Saltillo, a favor de las variedades que producen grano negro, debido a la dispersión de semilla en los programas de gobierno y la demanda ejercida por esa clase comercial en el centro y sur de México. Los productores de este grupo siembran, en su mayoría, semillas de cosecha propia (74%) y en menor proporción (26%) de semillas compradas a productores vecinos. Lo anterior, se relacionó con la facilidad de producir semilla de frijol, proporcionada previamente en los programas gubernamentales, debido a su mecanismo de reproducción sexual (autógama). Se debe considerar la calidad de la semilla, debido a la omisión generalizada de la limpieza del grano previo a la siembra de frijol en ciclos posteriores.

Por ello, en 2025-2026 se tuvieron problemas, en los centros de acopio, para la aceptación de grano de frijol por la presencia de variedades similares y contrastantes. Por ello, el 52.2% de los productores de este grupo le resultó muy difícil comercializar su producto y para el resto (47.8%) le fue medianamente difícil vender el grano de frijol. Los agricultores realizaron la comercialización del frijol principalmente en el centro de acopio de programas federales (56.5%) y otros venden a un intermediario rural ("coyote") (26.1%), comerciantes en la ciudad (8.7%) y en mercados locales (8.7%). El programa de acopio del gobierno federal (Alimentación para el Bienestar) favoreció la comercialización del frijol producido en Durango y Zacatecas. Con ello, mejoró el ingreso económico obtenido por los pequeños productores de frijol en varios municipios del estado de Durango.

Grupo 2: Grandes productores. Este grupo se integró por 55.8% de los productores de frijol incluidos en la encuesta. Se caracterizaron por ser agricultores con superficies más amplias de siembra, donde el 58.6% siembra más de 20 ha de frijol, 24.1% entre 15 a 20 has, 10.3 % de 10 a 15 ha y 6.9 % de 5 a 10 ha. Este grupo de productores tiene mayor superficie de siembra, con predominancia de lotes superiores a 15 ha. Se asume que cuentan con mayor disponibilidad de recursos económicos, lo que les proporciona la posibilidad para decidir la variedad que sembrarán en cada ciclo de cultivo, sin depender completamente de programas gubernamentales de subsidio. Por ello, el 73.9% de los productores siembran frijol Pinto Saltillo y para el 20.7% de los productores es la única variedad que siembran; el resto, combina su producción de Pinto Saltillo con la variedad de frijol Negro San Luis (79.3%). Se observó nivel alto de adopción de la variedad de frijol Pinto Saltillo, lo cual ha persistido por más de dos décadas, debido a su adaptación, nivel alto de rendimiento y calidad del grano (Rosales et al., 2026). El 55.2% del grupo de productores medianos siembran semilla propia y 27.6% la adquieren con productores vecinos, el resto la adquirieron a través de programas gubernamentales (10.3%) y comercializadoras de semilla (6.3%).

En este grupo se observó una proporción más alta de uso de la variedad de frijol Pinto Saltillo, debido a sus características morfo-agronómicas que la hacen atractiva para productores, comerciantes y consumidores. Este grupo de agricultores visualizan la producción de frijol como una actividad empresarial encaminada al abastecimiento del mercado nacional de frijol. La comercialización es un problema común para ambos tipos de productores (pequeños y medianos), a quienes les resulta difícil vender el frijol en la temporada de cosecha. Se observó que una proporción alta (51.7%) de los productores entrevistados venden a los centros de acopio de programas federales, 27.5% a comercios locales, 10.3% a comerciantes de la ciudad y 10.3% a intermediarios rurales ("coyotes"). Los programas federales de acopio de frijol han beneficiado a pequeños y medianos productores de frijol en la Región de Los Llanos de Durango. Con ello, quedó de manifiesto el impacto socio-económico que han tenido este tipo de programas que han despertado el interés del productor para explorar otras opciones para la comercialización de sus productos.

Conclusiones

La característica más importante en la tipificación de los productores fue la superficie sembrada con frijol. El grupo de pequeños productores tienden a diversificar las variedades de frijol que producen y resguardan su semilla para siembra; mientras que, los productores medianos centran la producción en Pinto Saltillo y Negro San Luis, mostrando una mayor autonomía para la adquisición de la semilla. Ambos grupos poseen dificultades para comercializar, aunque los grandes productores mostraron tener mayor porcentaje del mercado local, regional e incursionan en el mercado nacional.

Referencias

Díaz de R., V. 1998. Diseño de tipologías de consumidores mediante la utilización conjunta del análisis clúster y otras técnicas multivariantes. Economía Agraria (182): 75-104. https://www.mapa.gob.es/ministerio /pags/Biblioteca/Revistas/pdf_reea%2Fr182_02.pdf.

Borja B., M., E. Baltazar B. y S. Arellano A. 2025. Tipología de productores de maíz en Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo 22(4): 1-16. https://doi.org/10.22231/asyd.v22i4.1747

IBM (Corporation). 2022. SPSS (versión 27.0) [software]. https://www.ibm.com/mx-es/analytics/ spss-statistics-software.

Rosales S., R., C. M. Reyes R., M. Borja B., D. Sierra Z., S. Santana E., I. A. Ortiz S., S. Valdez O., C. A. Nava B., H. D. García S. 2026. Effective adoption of the Pinto Saltillo common bean variety (Phaseolus vulgaris L.) in Durango and other states of México. Agro Productividad 19(4): 25-38. https://doi.org/10.32854/as3xny50

Vivanco, M., F. J. Martínez y I. C. Taddei. 2010. Análisis de la competitividad de cuatro sistemas producto estatales de tilapia en México. Estudios Sociales 18(35): 166-207. https://www.redalyc. org/pdf/417/41712074005.pdf.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE ENSILADOS ELABORADOS CON CANOLA (*Brassica napus*) Y TRITICALE (*X. Triticosecale* wittmack)

Miguel Angel Mata-Espinosa[1]*, Alexander García-Felipe[1], David Hernández-Sánchez[2], Mauricio Velázquez-Martínez[3], Gonzalo Hernández-Ibarra[1].

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas; km 40 Carretera Gómez Palacio, Dgo.-Cd. Juárez, Chih.; CP 35230. Bermejillo, Mapimí, Durango, México.[2]Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Edo. México. CP 56230.[3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental San Luis, km 14.5 Carretera San Luis Potosí-Matehuala. Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. CP 78430. *Autor de correspondencia: mata@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

La Comarca Lagunera esta geográficamente localizada al norte de México, se compone de 15 municipios del estado de Durango y Coahuila, esta región es la cuenca lechera más importante del país. Según datos del SIAP (2022) esta región cuenta con un inventario total de 536,288 cabezas de ganado, es decir el 20% del inventario nacional. Dicho ganado genera en la región una fuerte demanda tanto de forraje como grano para su alimentación. Para atender parte de esta demanda para el 2023 se cosecharon 125,007 ha de cultivos forrajeros, destacando maíz, alfalfa, sorgo y avena y en proporción menor avena, triticale y pastos y praderas (SIAP, 2023). Los principales patrones de forrajes están conformados de maíz y/o sorgo en primavera o verano, y avena en otoño-invierno (Ochoa et al., 2022). Las regiones áridas y semiáridas de México se caracterizan por tener una disponibilidad de agua limitada, y a esto se suman los cambios climáticos generados en los años recientes, por lo que es necesario establecer cultivos alternativos como triticale, cebada, trigo, canola, cártamo, girasol, entre otros (Flores et al., 2016).

El triticale (*X. triticosecale* Wittmack), es considerado una opción forrajera que se adapta fácilmente a las condiciones adversas (Ochoa et al., 2022; López-Jara et al., 2022). Este cultivo muestra un buen desarrollo aun en temperaturas bajas, es resistente a la sequía y tiene una producción de biomasa y rendimiento de grano altos, en comparación con otros cereales (Perales et al., 2020). Por otro lado, el cultivo de canola (*Brassica napus*) destaca por su eficiencia en el consumo de agua, adaptación climática amplia y tolerancia a temperaturas bajas en su etapa vegetativa (Sánchez et al., 2018). La canola supera considerablemente a los cereales tradicionales con aproximadamente un 7% más de proteína cruda y un 12% menor contenido de fibra detergente neutro comparado con otros cultivos forrajeros como el mismo triticale, cebada y avena (López-Jara et al., 2022; López et al., 2025). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la factibilidad de elaborar ensilados con mezclas de canola y triticale, así como determinar su contenido de nutrientes y contar con un forraje conservado para su uso en la época de invierno.

Materiales y métodos

Localización. El estudio se realizó en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo en Bermejillo, Durango, México. La cual se ubica entre los 101° 41’ y 104° 61’ LO y 24° 22’ y 26° 23’ LN, a una altitud media de 1, 100 m. Con clima de tipo árido caliente desértico, seco, con lluvias en verano e inviernos fríos, clasificado como BW (h) HW (e), la precipitación pluvial media anual es 258 mm y la evaporación media anual de 2,000 mm, la temperatura media anual de 21 °C con máxima de 33.7 °C y mínima 7.5 °C (García, 1973).

Establecimiento del experimento. El estudio se estableció en el ciclo agrícola otoño - invierno 2025 – 2026 en dos tendidas de 1,667 m^2, la siembra para ambos cultivos (triticale y canola) se realizó en seco el día 27 de noviembre de 2025 con una sembradora de grano pequeño de 17 hileras, a una profundidad de 3 cm, a una densidad de 120 kg por hectárea para triticale y 7.0 kg por hectárea para canola; se utilizó una fertilización base de 150 kg de MAP (12-52-00). Las variedades que se establecieron fue Eronga para triticale y comercial para canola. El riego de aniego se realizó el 27 de noviembre de 2025, con una duración de 3.5 horas por tendida lo que representa una lámina de 25.69 cm. Posteriormente, se realizaron 3 riegos de auxilio; el primer riego se realizó el día 19 de diciembre de 2025, aplicándose una lámina de 18.35 cm, también se aplicaron 50 kg de fertilizante sulfato de amonio $(NH_4)_2SO_4$. por tendida (1,667 m^2). El segundo riego de auxilio fue de 18.35 cm el día 14 de enero de 2026 y el tercer riego de auxilio de 18.35 cm el 13 de febrero de 2026. A los 105 DDS (días después de la siembra) se realizó el corte de la biomasa para la elaboración de los ensilados.

Elaboración de los mini-ensilados. Del material cortado, picado y molido que se obtuvo de las recolectas de canola y triticale se elaboraron 9 mini-ensilados. Los mini-silos fueron hechos de material plástico PVC con dimensiones de 10.16 cm de diámetro y 18 cm de longitud. Los mini-silos fueron llenados con el material molido y se compactaron de forma manual. Una vez que se llenaron los contenedores fueron cerrados a presión e identificados, posteriormente se colocaron en un lugar fresco y seco para que se llevara a cabo la fermentación de forma natural.

Tratamientos. Se diseñaron 3 tratamientos (mezclas de canola y triticale) con 3 repeticiones (mini ensilados) (Cuadro 1). La Unidad Experimental correspondió a cada uno de los mini ensilados elaborados.

Cuadro 1. Tratamientos para evaluar la conservación de los forrajes elaborados con canola y triticale.

Tratamiento	Inclusión de forraje, % base húmeda (p/p)		
	Canola	Triticale	Total
1	50	50	100
2	100	0	100
3	0	100	100

Procesamiento de los ensilados. Después de 45 días de ser elaborados, se abrieron los contenedores; se pesó la biomasa y se determinó el pH con un potenciómetro Conductronic pH 120®. Con la utilización de una estufa de circulación forzada de aire Thermo Scientific® se determinó el contenido de materia seca (MS), la biomasa se sometió a una temperatura de 65 °C, durante un lapso de 72 horas. La MS se molió en un molino Thomas Wiley® con una criba de 2 mm. Los análisis bromatológicos se realizaron en el laboratorio de planta, agua y suelo de la URUZA. Empleando para la determinación de cenizas totales (Ce) y Materia orgánica (MO) el Análisis Proximal: para determinar la concentración de proteína cruda (PC) se enviaron las muestras al laboratorio de la Cooperativa Agropecuaria, Gómez Palacio, Durango.

La Digestibilidad de Materia Orgánica (DMO) y el contenido energético fueron determinados utilizando las ecuaciones recomendadas por Vicente et al. (2015): DMO = 53.37 + 0.17* PC; EM= 3.75*PC + 8.09* EE – 6.95*FC + 3.94* NIFEX, donde NFINEX=ELN; ELN= 100 – (EE+ PC+ FC+CT), CT=Ce; EN = 3677.89 – 50.21*EM + 0.29*EM^2; ENm = 1.37 x EM-0.14EM^2 + 0.01EM^3 – 1.12; ENg = 1.42 x EM – 0.17EM^2 + 0.012EM^3 – 1.65; ENl = -0.12 + 0.0245 * (%DMO*%MO/100).

Análisis estadístico. Los datos obtenidos se analizaron con el uso del paquete estadístico SAS® (2014), generando un Diseño Completamente al Azar con 3 Tratamientos y 3 repeticiones para cada uno. Para determinar la diferencia entre la media de los tratamientos evaluados, se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de α=0.05 (Steel y Torrie, 1980).

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se muestran la información obtenida para las variables MS, densidad (MV y MS), pérdidas totales, pH, y ceniza de los ensilados. El contenido de MS fue diferente entre los ensilados (p≤0.05) de los tratamientos evaluados. El tratamiento con mayor valor de MS fue el de 100% triticale (T3) con 46.17% comparado con el tratamiento de 50% canola 50% triticale (T1) con 34.59% y 100% canola con 25.88% (T2); los valores para los tratamientos T1 y T3 son superiores a los que se recomiendan para llevar a cabo una buena fermentación, que son del orden de 30 a 35% (Améndola et al., 2018). En ensilados elaborados con canola el contenido de materia seca fue de 39.32% (Lopez et al., 2025), y 38.92 (Sánchez, 2022) los cuales se encuentran por encima a los presentados en esta investigación. En ensilados hechos con triticale se encontraron datos de 39.57% (Lopez et al., 2025) y 36.76% (Sánchez, 2022), valores por debajo de los obtenidos en el presente estudio. Una combinación de 50/50 triticale:canola, perfila una concentración de MS adecuada (34.59%) para una fermentación favorable.

Cuadro 2. Variables físicas y químicas en ensilados elaborados a base de canola y triticale.

Variable	Tratamientos			CV
	Canola/Triticale	Canola	Triticale	
MS de ensilados (%)	34.59^{b}	25.88^{c}	46.17^{a}	5.09
Densidad de MV (kg m^{-3})	775.55^{a}	853.79^{a}	635.99^{b}	5.70
Densidad de MS (kg m^{-3})	254.68^{a}	216.15^{a}	254.21^{a}	10.09
pH	3.72^{b}	4.63^{a}	4.00^{ab}	7.19
Pérdidas (%)	0.88^{b}	3.37^{a}	1.37^{b}	25.49

CV=Coeficiente de variación (%); MV=Materia Verde; MS=Materia Seca. Diferente literal por línea, indican diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos evaluados. T1: Canola/Triticale 50%/50%, p/p. T2: Canola; 100%. T3: Triticale 100%.

El pH de los ensilados indica una relación directa de una buena fermentación. En el presente estudio se obtuvieron diferencias significativas para esta variable, el pH más bajo fue observado en la combinación canola/triticale (3.72) y el más alto cuando solo se utilizó canola (4.63). Con solo canola, es posible que la alta concentración de proteína y baja de carbohidratos haya amortiguado la disminución del pH. Se recomienda que para ensilados bien conservados un pH entre 3.8 a 4.2 como adecuado (Ribeiro et al., 2007), este intervalo solo fue superado por los ensilados de canola. En estudios similares como los de López et al. (2025) y Sánchez (2022) los valores encontrados son más altos, con intervalos de 4.97 a 5.0 para triticale, y de 5.16 a 5.13 para canola.

La materia seca contenida (kg m^{-3}) en un ensilado refleja la densidad (peso/volumen) de los mismos, tanto en materia verde (MV) como seca (MS), es decir el grado de compactación que se logró al en su elaboración. En un estudio realizado por Sosa et al. (2025) se determinó que una compactación de 735 kg de MV m^{-3} (equivalente a 227 kg de MS m^{-3}) genera un ambiente favorable para una buena fermentación. La densidad (MV y MS) fue diferente (p≤0.05) entre los tratamientos evaluados. La cantidad de humedad afecto este comportamiento. Con solo canola, la densidad de MV aumento (853.79 kg MV m^{-3}) y disminuyo la densidad de MS (216.15 kg MS m^{-3}). En los ensilados hechos solo de canola también se observó una mayor pérdida total (MS, lixiviados) con 3.37%. En general solo los ensilados con 100% canola estuvieron por debajo de lo recomendado por Sosa et al. (2025), explicado a su vez por la cantidad mayor de agua que contiene la planta de canola al momento del corte.

Los valores obtenidos de proteína cruda (PC) fueron similares en los tratamientos evaluados; sin embargo, se observa una diferencia numérica superior para ensilados con solo canola (14.96%) y menor cuando solo se ensiló solo triticale (12.97), la combinación de canola/triticale perfilo una concentración intermedia de PC con 13.85% (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables químicas y digestibilidad de la materia orgánica en ensilados hechos a base de canola y triticale.

Variable	Tratamientos			CV
	Canola/Triticale	Canola	Triticale	
PC (%)	13.85	14.96	12.97	6.49
MO (%)	89.66	88.38	89.33	0.70
Dig. MO (%)	55.72	55.91	55.57	0.27
Cenizas (%)	10.34	11.62	10.67	5.77

CV=Coeficiente de variación (%). PC=Proteína Cruda; MO=Materia Orgánica; Dig. MO=Digestibilidad de la Materia Orgánica. T1: Canola/Triticale 50%/50%, p/p. T2: Canola; 100%. T3: Triticale 100%.

Los resultados de triticale son más altos que en los estudios de Lan et al. (2026) y Niu et al. (2026) con 7.91% y 11.2%. La cantidad de MO no presentó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, por lo general se mantuvieron en un intervalo de 88.36% a 89.66%, con relación a la digestibilidad de MO todos los valores fueron similares y estuvieron cercanos al 55%. La concentración de cenizas registradas fue de 10.34% para la mezcla de canola/triticale, 11.62% para canola y 10.66% para triticale, estos valores no tuvieron diferencias significativas entre sí; en los estudios de López et al. (2025) y Sánchez (2022) se encontraron valores de 12.83 a 14.12 % para canola y de 14.19 a 14.95% para triticale los cuales se encuentran por encima de los encontrados en el presente estudio.

Cuadro 4. Contenido energético de ensilados hechos a base de canola y triticale.

Variable	Tratamientos			CV
	Canola/Triticale	Canola	Triticale	
EM, Mcal kg^{-1} MS	1.84	1.81	1.82	0.81
ENm, Mcal kg^{-1} MS	0.99	0.96	0.97	1.52
ENg, Mcal kg^{-1} MS	1.13	1.09	1.11	3.04
ENl, Mcal kg^{-1} MS	1.10	1.09	1.08	0.91

CV=Coeficiente de variación (%). EM= Energía Metabolizable, ENm= Energía Neta para mantenimiento, ENg= Energía Neta para ganancia, ENI= Energía Neta para lactación.

El contenido energético de los ensilados no presentó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Una tendencia numérica hacia un incremento en los valores de la partición del contenido energético se identificó en la combinación de canola y triticale (50/50). Sin embargo, son menores a los reportados por Wei et al. (2017) quienes informan para EM (2.11), ENm (1.26), ENg (0.69), para ensilados de maíz forrajero.

Conclusiones

Los resultados obtenidos bajo las condiciones del presente estudio indican que es factible elaborar ensilados mezclando triticale y canola en una proporción de 50/50% (p/p). Esta combinación presentó un contenido de MS del 34.59%, una densidad mayor de MS m^{-3} (775.55). El pH fue el más bajo (3.72) y las pérdidas totales fueron también las menores con 0.88%. No se afectaron las concentraciones de PC, MO, Dig MO, Cenizas ni tampoco los valores del contenido energético en estos ensilados. Se recomienda hacer ensayos con rumiantes menores para evaluar el comportamiento productivo y su aceptabilidad.

Referencias

Améndola, R.D., González, R., & Topete, P. (2018). Bases del ensilaje de maíz y alfalfa. *Avances de la Investigación sobre Producción Animal y Seguridad Alimentaria en México.* 117-131.

Flores-Nájera, M., Sánchez-Gutiérrez, R., Echavarría-Chairez, F., Gutiérrez-Luna, R., Rosales-Nieto, C. A., & Salinas-González, H. (2016). Producción y calidad de forraje en mezclas de veza común con cebada, avena y triticale en cuatro etapas fenológicas. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 7(3), 275-291.

García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática Köppen. (Para adaptarlo a las condiciones climáticas de la república mexicana). Universidad Autónoma de México.

Lan, M., Li, M., Lei, Y., Cheng, Q., Wang, J., Zhao, Y., He, X., Hu, G., & Chen, C. (2026). Efectos de la etapa de crecimiento y el contenido de humedad en el perfil de fermentación, la composición química y la estructura de la comunidad bacteriana del ensilaje de triticale. *AMB Express,* 16. https://doi.org/10.1186/s13568-026-02045-1

López, A. G., Reta, D.G., Santana, O. I., Reyes, A., Rodríguez, K., Granados, J. A., López, M. J., & Sánchez, J. I. (2025). Rendimiento de forraje y valor nutritivo del ensilado de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno. Revista mexicana de ciencias pecuarias, 16(1), 208-223. https://doi.org/10.22319/rmcp.v16i1.6301

López-Jara, Anabel Guadalupe, Reta-Sánchez, David Guadalupe, Reyes-González, Arturo, Santana, Omar Iván, López-Calderón, Magali Jeaneth, & Sánchez-Duarte, Juan Isidro. (2022). Composición nutritiva y productividad de forrajes alternativos de otoño-invierno en diferentes fechas de siembra del norte de México. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 13(28).125-135. https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3268

Niu, Y., Wang, C., Kuang, Y., X., Nan, S., Zhang, P., Lu, Q., Qi, Y., Nie, C., Wu, Y. y Zhang, W. (2026). Conocimientos multiómicos sobre el ensilaje de triticale como alternativa sostenible al ensilaje de maíz en dietas para novillas. *Fronteras en microbiología, 17*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2026.1761287

Ochoa-Espinoza, X. M., Reta-Sánchez, D. G., Cano-Ríos, P., Sánchez-Duarte, J. I., Ochoa-Martínez, E., García-Martínez, J. E., Reyes-González, A., & Quiroga-Garza, H. M. (2022). Rendimiento y valor nutritivo de cereales y cártamo forrajero en la Comarca Lagunera. *Biotecnia*, 24(2), 142–148. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1620

Perales-García, M. V., Alvarado-Martínez, L. F., Hermosillo-Salazar, L. J., Hermosillo-Alba, M. C. y Vega-Sotelo, F. (2020). Impacto de la agricultura de conservación y la aplicación de Zinc en la rentabilidad sostenible de forraje de maíz-triticale en la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 47, 607-616.

Ribeiro, L. G. P., Gonçalves, L. C., Rodríguez, N. M., & Tomich, T. R. (2007). Ensilaje de girasol como opción forrajera. In Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Jornada sobre producción y utilización de ensilajes, Bahía Blanca, Argentina. Conferencias. Universidad Nacional del Sur.

Sánchez, L.M. (2022). Fermentación, valor y productividad del ensilado de canola y remolacha en comparación con forrajes de otoño-invierno en la región lagunera. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Sánchez, R.A., Espinoza, A., Muro, A. & Gutiérrez H. (2018). Crecimiento y producción de forraje de canola (*Brassica napus* L.) de otoño-invierno en Zacatecas, México. Revista Fitotecnia Mexicana,41(2), 211-216. https://doi.org/10.35196/rfm.2018.2.211-216

SAS Institute Inc. (2014). SAS/STAT, Ver 9.3 User Guide. Cary, NC.

SIAP (Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera) (2022, 2023). Anuario estadístico de la población ganadera. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/poblacion_ganadera/. Consultado: 04 de septiembre 2023.

Sosa, E., Mendoza, S. I., Vázquez, V., Crosby, M. M., & Monzón, J. M. (2025). Efecto de la compactación en la calidad nutricional del ensilado de maíz. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12 (1). https://doi.org/10.19136/era.a12n1.4113

Steel, R., & Torrie, J. (1980). *Principles and procedures of statistics a biometrical approach*. Michigan, E.U.A.: McGraw-Hill.

Vicente, R., Avendaño, L., Álvarez, F. D., Correa, A., Meza, C. A., Mellado, M., Quintero, J. A. & Macias, U. (2015). Productive performance, nutrient intake and productivity at lambing of hair breed ewes supplemented with energy in the pre-partum during summer and winter. Arch. Med. Vet. 47(3). 301-309.

Wei, M., Chen, Z., Wei, S., Geng, G., & Yan, P. (2017). Comparación entre métodos de evaluación de la energía efectiva del ensilaje de maíz para ganado vacuno. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 31*, 851-858. https://doi.org/10.5713/ajas.17.0538

PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE NOPAL CON VARIEDADES DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE *Opuntia* sp. DE LA URUZA-UACh

Marco Andrés López Santiago[1], Sahara Xolocotzi-Acoltzi[1*], Fabián Rosales-Noriega[1], Blanca Isabel Sánchez Toledano[2]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Gómez Palacio - Ciudad Juárez, km 40. C.P. 35230, Bermejillo, Durango. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, km 24.5 Carretera Zacatecas-Fresnillo, C.P. 98500, Zacatecas. *Autor de correspondencia: sahara.xolocotzi@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

El nopal es un comestible que ha formado parte de la dieta de los mexicanos desde tiempos inmemoriales al ser un producto rico, nutritivo, económico y saludable (Sandoval-Trujillo, Ramírez-Cortés, & Hernández-Bonilla, 2019). Recientemente, su consumo ha incrementado en el país y popularizado en países como Estados Unidos, Corea del Sur, Japón, entre otros, representando ingresos superiores a los 30 millones de dólares (SIAP, 2024). Dicho producto es conocido por sus diversos usos alimenticios, así como sus propiedades nutraceúticas, por su contenido de carbohidratos, vitaminas A, B y C y su alto contenido de fibra (Méndez Gallegos & García Herrera, 2013).

Ante la demanda de alimentos de alto valor nutritivo, se hace necesario el desarrollo de productos que ayuden a atender problemas de salud provocados por el sedentarismo y malnutrición que han provocado el aumento en enfermedades crónicas no trasmisibles (FESNAD, 2016) como el sobrepeso, la obesidad, enfermedades cardiovasculares, algunos tipos de cáncer y la diabetes (OMS, 2024). Una alternativa viable para atender estos problemas es incrementar la producción de alimentos de alta calidad que sean capaces de brindar fuentes de empleo, seguridad alimentaria y bienestar social a los sectores más vulnerables de la población (Méndez Gallegos & García Herrera, 2013), por lo que la implementación de cultivos multipropósito como el nopal y con él la elaboración de alimentos funcionales, son una opción para atender estas demandas. Se considera a un alimento funcional a todo aquel que, además de su valor nutritivo, contiene componentes que aportan algún efecto beneficioso para la salud (Meléndez-Sosa et al., 2020).

En varias regiones de México se ha desarrollado un abanico de productos usando como base el nopal fresco como en la elaboración de galletas, pudding, cereales, tortillas y en suplementos alimenticios (Sáenz, 2018). La oferta de estos productos aún se encuentra regionalizada, ´por lo que el objetivo de trabajo es desarrollar el proceso para la elaboración de harina de nopal de diferentes variedades del Banco de Germoplasma de la URUZA-UACh para su implemento en la elaboración de alimentos funcionales.

Materiales y métodos

Ubicación. El nopal verdura para la elaboración de harina se obtuvo de la colección del Banco de Germoplasma de *Opuntia* sp. de la URUZA-UACh en Bermejillo, Durango, ubicada en las coordenadas geográficas 25.8° LN y 103.6° LW a una altitud de 1,130 m. La plantación se desarrolla en un clima seco desértico con una temperatura media anual de 20 a 25 °C (INIFAP, 2023). El proceso de elaboración de harina se realizó en instalaciones de la universidad.

Selección de cladodios. Para la cosecha de nopal verdura se seleccionaron las variedades Jalpa, Copena F1, Copena V1, Atlixco, Chicomostoc, Diabetes Zacatecas y Milpa Alta ya que han sido las mejor adaptadas a las condiciones climáticas y de suelo en el Banco de Germoplasma. Se cosecharon cladodios de 10 a 15 días de crecimiento sin importar su longitud y daños por deformidad. Los cladodios con daños por enfermedades o plagas se desecharon. Del nopal fresco colectado se homogenizó una muestra de 1 kg por variedad para poder obtener el rendimiento de la harina.

Limpieza y picado. Se llevó a cabo el desespinado de los nopales con ayuda de un cuchillo cebollero, retirando las espinas de los bordes del cladodio y las de ambas caras. Posteriormente se realizaron 2 lavados, el primero con agua corriente para el retiro de las espinas y residuos del desespinado; el segundo lavado se realizó con agua y desinfectante para alimentos (plata coloidal) en una proporción de 10 gotas por cada litro de agua durante 15 minutos. Los nopales ya desinfectados y secos se cortaron en tiras de aproximadamente 5 cm de largo por 2 cm de ancho.

Secado y almacenamiento. Las tiras de nopal se colocaron en un deshidratador de alimentos eléctrico marca Sunix a 58 °C durante 8 a 10 horas, hasta obtener tiras completamente secas y de un color verde cenizo. El nopal seco se molió en una licuadora marca Oster modelo M6799-13 hasta obtener un polvo fino. La harina se pasó por un colador estándar de metal para retirar residuos de fibras que no se molieron. Las harinas se almacenaron en bolsas Mylar para evitar daños por la luz y humedad, y se etiquetaron con el nombre de la variedad y fecha de elaboración. La información obtenida de rendimiento por variedad se procesó y analizó en el programa Excel de Microsoft.

Resultados y discusión

Se obtuvo el siguiente esquema con la metodología para la elaboración de harina de nopal, el cual se implementará para futuros trabajos enfocados a la formulación de alimentos funcionales:

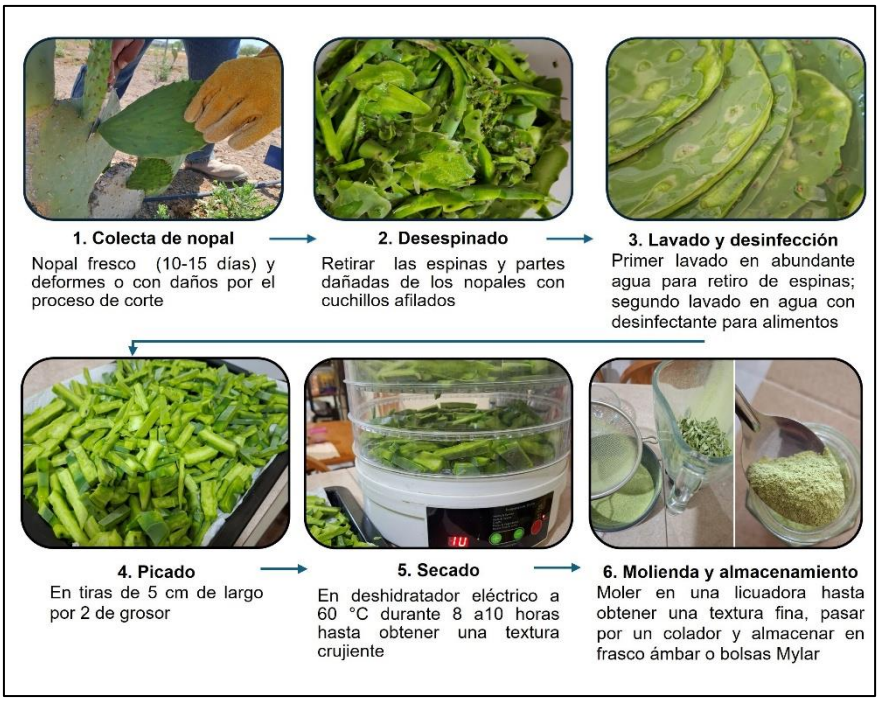


Figura 21. Esquema de elaboración de harina de nopal.

En cuanto al rendimiento por variedad se observaron diferencias entre variedades, siendo la Copena V1 la de mayor rendimiento obteniendo 8.6 % de materia seca por cada kg de peso seco, es decir, 86 g; en tanto, la variedad con menor rendimiento fue Jalpa con 5.6 % de materia seca, es decir, 56 g de harina por cada kg de nopal fresco (Cuadro 1). El conocer el aporte de materia seca por variedad ayudará a hacer las proyecciones de la producción de harina de nopal para establecer plantaciones con las variedades y rendimientos esperados de los productores interesados en la transformación de su producto y comercialización.

Cuadro 1. Obtención de materia seca y harina de nopal por variedad por cada kilogramo de cladodios frescos.

Variedad	Materia seca (%)	Harina de nopal (g)
Jalpa	5.6	56.5
Copena F1	6.8	67.9
Copena V1	8.6	86.4
Atlixco	5.8	58.4
Chicomostoc	6.5	65.5
Diabetes Zacatecas	7.1	71.1
Milpa Alta	8.4	84.4

La harina de nopal es un producto que ha empezado a incorporarse en productos alimenticios funcionales de fácil preparación aportando principalmente a la dieta de las personas fibra y antioxidantes, previniendo algunas enfermedades relacionadas a la obesidad (Aparicio-Ortuño, 2024). Algunos productos desarrollados han sido un panqué hecho con harina de trigo con harina de nopal al 10 % (Bautista-Justo et al., 2010) , galletas con harina de trigo adicionadas con 5, 25, 50, 75 y 100 % de nopal en polvo (Nabil et al., 2020), pasta de trigo con la incorporación de un 20 % de harina de nopal (Attanzio et al., 2019), así como el desarrollo de una harina para hotcakes lista para prepararse (Gladín-Landín et al., 2024), siendo los productos mejor aceptados los que contienen en su formulación de un 5 al 10 % de harina de nopal.

Estas referencias apoyan la viabilidad de la producción de harina de nopal en zonas áridas, permitiendo un mejor aprovechamiento del cultivo alargando su vida de anaquel e introduciendo su consumo en una región con poco consumo del nopal fresco.

Conclusiones

El análisis productivo de las variedades de nopal en diferentes regiones es necesario para poder establecer aquellas con mejor adaptación y productividad, así mismo, desarrollar alternativas de un aprovechamiento sustentable a nivel regional.

Referencias

Aparicio-Ortuño, R. (2024). *Evaluación de las propiedades bioactivas y la fibra dietética de cladodios de nopal en polvo (Opuntia ficus-indica variedad Atlixco), su utilización en alimentos funcionales y su efecto en la dieta de la población infantil con sobrepeso u obesidad.* México: Universidad de las Américas Puebla.

Attanzio, A., Diana, P., Barraja, P., Carbone, A., Spano, V., Parrino, B., . . . Montalbano, A. (2019). Quality, functional and sensory evaluation of pasta fortified with extracts from Opuntia ficus-indica cladodes. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 99*(9), 4242-4247. doi:https://doi.org/10.1002/jsfa.9655

Bautista-Justo, M., Pineda-Torres, R. I., Camarena-Aguilar, E., Alanís- Guzmán, G., Da Mota, V., & Barboza-Coron, J. (2010). El Nopal fresco como fuente de fibra y calcio en panqués. *Acta Universitaria, 20*(3), 11-17.

FESNAD. (2016). *Guía de alimentos funcionales .* Puleva Food y SENC.

Gladín-Landín, M., Martínez Rodríguez, M., Flores-Chaires, L. A., Fraire-Hernández, M. Á., & Pérez-Galaviz, M. G. (2024). Elaboración de harina para hotcakes fortificada con harina. *LATAM Revista Latinoamericana de ciencias Sociales y Humanidades, 5*(1), 3313-3323. doi:https://doi.org/10.56712/latam.v5i1.1836

INIFAP. (2023). *Reporte anual 2023 Ciencia y Tecnología para el Campo Mexicano, CIR Norte Centro, Región Laguna.* México : INIFAP.

Méndez Gallegos, S. d., & García Herrera, J. E. (2013). Aprovechamiento, usos y aplicaciones del nopal. En C. Gallegos Vázquez, S. d. Méndez Gallegos, & C. Mongragón Jacobo, *Producción sustentable de la tuna en San Luis Potosí* (págs. 6-23). San Luis Potosí: Colegio de Postgraduados, Fundación Produce San Luis Potosí, A. C. .

Nabil, B., Ouaabou, R., Ouhammou, M., & Mahrouz, M. (2020). Functional Properties, Antioxidant Activity, and Organoleptic Quality of Novel Biscuit Produced by Moroccan Cladode Flour “Opuntia ficus-indica”. *Journal of Food Quality, 2020*(1), 1-12. doi:https://doi.org/10.1155/2020/3542398

OMS. (2024). *Organización Mundial de la Salud* . Obtenido de Malnutrición : https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition

Sáenz, C. (2018). Procesamiento y utilización de frutos, cladodios y semillas. En P. Inlese , J. Candelario-Mondragón, A. Nefzaoui, & C. Sáenz, *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal* (págs. 139-154). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Sandoval-Trujillo, S. J., Ramírez-Cortés, V., & Hernández-Bonilla, B. E. (2019). Alternativas de producción del nopal en el Estado de México. *Vinculatégica EFAN, 5*(2), 1346-1361.

SIAP. (2024). *Panorama Agroalimentario 2018-2024.* México: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Obtenido de https://online.pubhtml5.com/rsarc/ybnl/

ADAPTACIÓN Y PRODUCTIVIDAD DEL FRIJOL COMÚN (*Phaseolus vulgaris* L.) EN AMBIENTES ÁRIDOS Y SEMIÁRIDOS DEL ALTIPLANO DE DURANGO, MÉXICO

Omar Alejandro Palacios Villa[1], Saúl Santana-Espinoza[2*], Rigoberto Rosales Serna[2], Nuria Aidé López-Hernández[3], Gustavo López- Romero[4], Jorge Alonso Maldonado Jaquez[2], Rafael Ruiz Hernandez[4]

[1]Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, calle Chihuahua 269, Zona Centro, C.P. 35150, Ciudad Lerdo, Durango. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna Blvd. José Santos Valdés 1200 Pte. C.P. 27440, Matamoros, Coahuila. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango. [4]Colegio de Postgraduados Campus Veracruz Km. 88.5 Ctra. Federal Xalapa-Veracruz, vía Paso de Ovejas entre Puente Jula y Paso San Juan Predio Tepetates, Municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz. C.P. 91690. *Autor para correspondencia: santana.saul@inifap.gob.mx

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) constituye uno de los cultivos de mayor importancia alimentaria y económica en México, particularmente en las regiones áridas y semiáridas donde representa una alternativa fundamental para la producción de alimentos y la generación de ingresos para los productores (Ruiz Ibarra et al*.,* 2026). Sin embargo, su productividad en estas regiones está limitada por la baja y errática precipitación, las altas temperaturas y la presencia recurrente de periodos de déficit hídrico durante el ciclo del cultivo.

En el estado de Durango, el cultivo de frijol se desarrolla principalmente en ambientes del Altiplano árido y semiárido, donde predominan sistemas de producción de temporal y una marcada variabilidad ambiental. En estas condiciones se utilizan materiales nativos, variedades tradicionales y cultivares modernos, los cuales representan diferentes etapas del proceso de mejoramiento genético y poseen características contrastantes de adaptación, precocidad, rendimiento y calidad de grano.

Entre los materiales nativos destacan Negro San Luis y Flor de Mayo Media Oreja, apreciados por los productores debido a su adaptación regional, disponibilidad de semilla y aceptación para autoconsumo y comercialización. Asimismo, algunas variedades desarrolladas durante las primeras etapas del mejoramiento genético han mostrado características favorables para las condiciones productivas de Durango.

El mejoramiento genético ha permitido desarrollar cultivares con características relacionadas con precocidad, plasticidad fenológica, adaptación al déficit hídrico y calidad de grano. Entre los cultivares modernos destacan Pinto Villa, Pinto Saltillo y Pinto Centauro, desarrollados para diferentes ambientes de producción y tipos comerciales de grano. Estas características permiten reducir la exposición del cultivo al estrés hídrico y mejorar la estabilidad productiva en ambientes restrictivos (Rosales et al., 2025).

La evaluación de materiales genéticos en diferentes ambientes permite identificar genotipos con mayor potencial productivo y determinar las características que favorecen su adaptación a condiciones de disponibilidad limitada de agua. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la adaptación y productividad de líneas y cultivares nativos y mejorados de frijol común bajo diferentes condiciones ambientales del Altiplano árido y semiárido del estado de Durango, México.

Materiales y métodos

El estudio se realizó durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2025 en cuatro localidades del estado de Durango, México: La Granja, municipio de Simón Bolívar; Huarichic, municipio de Lerdo; Ceballos, municipio de Mapimí; y Poanas. Se evaluaron líneas y cultivares de frijol común pertenecientes a diferentes tipos comerciales de grano. Los materiales fueron seleccionados considerando su importancia productiva y aceptación para autoconsumo y comercialización en los mercados regionales.

La siembra se realizó del 24 al 28 de julio de 2025. Durante el desarrollo del cultivo se proporcionó asistencia técnica para el manejo agronómico. En condiciones de temporal se aplicó una dosis de fertilización de 25-30-00 (N-P_2O_5-K_2O), mientras que bajo condiciones de riego se utilizó 35-50-00. En Poanas se implementó un manejo agroecológico mediante la aplicación de enmiendas orgánicas. El control de malezas se efectuó mediante dos labores mecánicas complementadas con una escarda manual. En Huarichic se aplicó un riego de auxilio para evitar un estrés hídrico severo durante el desarrollo del cultivo.

Se registraron los días a madurez fisiológica (DMF), rendimiento de semilla y peso de 100 semillas (P100S). Para estimar el rendimiento se utilizó una parcela de muestreo de dos surcos de 5 m de longitud, separados 0.81 m, equivalente a una superficie de 8.1 m². En cada localidad, los datos fueron analizados mediante un diseño completamente al azar con tres repeticiones. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico SAS versión 9.4.

Resultados y discusión

Los materiales evaluados presentaron diferencias en la duración del ciclo biológico. Los días a madurez fisiológica variaron de 75 a 100 días después de la siembra. El ciclo más corto correspondió a AD 1, con 75 días en La Granja, mientras que el más prolongado correspondió a Pinto Saltillo, con 100 días en Poanas. En La Granja, PID 2, NOD 1, PID 1 y Negro San Luis alcanzaron la madurez fisiológica a los 90 días, mientras que NGO14013 y NGO14014 lo hicieron a los 85 días.

La duración del ciclo presentó variación entre ambientes. En Poanas, donde se registró una temperatura media anual aproximada de 18 °C, se observaron ciclos de hasta 100 días, mientras que, en Ceballos, con una temperatura media anual cercana a 20 °C, se observó una reducción del ciclo biológico. La precocidad representa una característica de importancia en ambientes con disponibilidad limitada de agua, ya que permite reducir el periodo durante el cual el cultivo permanece expuesto al déficit hídrico.

El rendimiento de semilla mostró diferencias entre materiales y localidades (Cuadro 1). Huarichic presentó el mayor rendimiento promedio, con 866.0 kg ha^{-1}. En esta localidad, Pinto Centauro alcanzó 880.9 kg ha^{-1}, mientras que Pinto Villa registró 851.1 kg ha^{-1}. Ambos cultivares presentaron un comportamiento productivo similar, lo que evidencia su adaptación a las condiciones ambientales y de manejo de esta localidad.

En La Granja, PID 2 presentó el mayor rendimiento, con 700.1 kg ha^{-1}, seguido de AD 1 con 666.7 kg ha^{-1}. Las líneas NGO14013 y NGO14014 alcanzaron 647.1 y 647.5 kg ha^{-1}, respectivamente, mientras que NOD 1 presentó 586.8 kg ha^{-1}. PID 1 y Negro San Luis registraron 458.0 y 441.6 kg ha^{-1}, respectivamente. El rendimiento promedio de la localidad fue de 593.5 kg ha^{-1}.

En Poanas se obtuvo un rendimiento promedio de 829.9 kg ha^{-1}. PID 2 nuevamente presentó el mayor rendimiento, con 938.7 kg ha^{-1}, seguido de PID 1 con 805.7 kg ha^{-1} y Pinto Saltillo con 745.3 kg ha^{-1}. El comportamiento de PID 2 en La Granja y Poanas permite identificarlo como un material con respuesta productiva favorable en ambientes contrastantes. En Ceballos se obtuvo el menor rendimiento promedio, con 395.7 kg ha^{-1}. Pinto Americano presentó 458.2 kg ha^{-1}, mientras que Flor de Mayo Media Oreja alcanzó 333.2 kg ha^{-1}. El menor rendimiento de estos materiales puede estar asociado con su ciclo de crecimiento y con una mayor exposición al estrés hídrico bajo las condiciones ambientales y productivas de esta localidad.

El peso de 100 semillas presentó diferencias entre los materiales evaluados. En La Granja, PID 2 mostró el mayor valor, con 33.3 g, seguido de AD 1 y PID 1, con 32.5 y 32.1 g, respectivamente. En Poanas, PID 2 alcanzó 36.3 g por 100 semillas, mientras que PID 1 y Pinto Saltillo presentaron 34.6 y 33.1 g, respectivamente. Las líneas NGO14013 y NGO14014 presentaron valores de 26.4 y 27.0 g por 100 semillas. Estos valores son inferiores a los registrados en PID 1 y PID 2, pero corresponden a las características del tipo comercial de grano negro opaco, en el cual el tamaño de semilla generalmente es menor y se encuentra relacionado con las preferencias del mercado.

En conjunto, los resultados evidencian una respuesta diferencial de los materiales entre ambientes, lo que confirma la importancia de considerar la interacción genotipo × ambiente en la selección de cultivares para las regiones áridas y semiáridas. Los materiales con ciclos relativamente cortos y buen rendimiento pueden presentar ventajas en condiciones donde la disponibilidad de agua constituye una de las principales limitantes para la producción.

Cuadro 1. Días a madurez fisiológica, rendimiento de semilla y peso de 100 semillas de líneas y cultivares de frijol común evaluados en cuatro localidades de Durango, México, durante 2025.

Línea o variedad	DMF	Rendimiento (kg ha^{-1})	P100S (g)
La Granja, Simón Bolívar			
PID 2	90 a	700.1 a	33.3 a
AD 1	75 c	666.7 ab	32.5 a
NGO14013	85 b	647.1 ab	26.4 b
NGO14014	85 b	647.5 ab	27.0 b
NOD 1	90 a	586.8 b	27.0 b
PID 1	90 a	458.0 c	32.1 a
Negro San Luis	90 a	441.6 c	22.8 b
Media	**86**	**593.5**	**28.7**
Huarichic, Lerdo			
Pinto Centauro	85	880.9	31.2
Pinto Villa	85	851.1	30.5
Media	**85**	**866.0**	**30.9**
Ceballos, Mapimí			
Pinto Americano	90	458.2	27.0
Flor de Mayo Media Oreja	90	333.2	26.4
Media	**90**	**395.7**	**26.7**
Poanas			
PID 2	95	938.7 a	36.3
PID 1	95	805.7 ab	34.6
Pinto Saltillo	100	745.3 c	33.1
Media	**97**	**829.9**	**34.7**

DMF: días a madurez fisiológica; P100S: peso de 100 semillas. Medias con letras diferentes dentro de una misma localidad y variable son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

La respuesta observada entre materiales también permite identificar diferencias relacionadas con el tipo comercial de grano. Los materiales de grano negro presentaron menor peso de semilla, pero esto no necesariamente representa una desventaja productiva, debido a que el tamaño de semilla responde a las características y preferencias específicas de cada mercado.

El comportamiento de los materiales modernos, particularmente Pinto Centauro, Pinto Villa y Pinto Saltillo, muestra el avance obtenido mediante el mejoramiento genético para las condiciones de producción de las regiones áridas y semiáridas. De igual manera, las líneas PID 2, PID 1, AD 1, NGO14013 y NGO14014 muestran características que justifican su continuidad en procesos de evaluación y selección.

La presencia de materiales nativos continúa siendo importante debido a su aceptación regional y disponibilidad de semilla. Sin embargo, su respuesta productiva puede variar considerablemente entre ambientes. Por ello, la integración de materiales nativos y mejorados dentro de los programas de evaluación permite ampliar la diversidad genética disponible y detectar combinaciones de características favorables para sistemas de producción con restricciones ambientales.

Conclusiones

Los materiales evaluados presentaron respuestas diferenciadas en días a madurez fisiológica, rendimiento de semilla y peso de 100 semillas entre las localidades estudiadas.

Las líneas PID 2, PID 1, AD 1, NGO14013 y NGO14014 presentaron características productivas favorables bajo condiciones áridas y semiáridas de Durango.

PID 2 destacó por su rendimiento, con 700.1 kg ha^{-1} en La Granja y 938.7 kg ha^{-1} en Poanas, además de presentar un peso elevado de semilla.

Los cultivares Pinto Centauro y Pinto Villa presentaron los mayores rendimientos en Huarichic, con 880.9 y 851.1 kg ha^{-1}, respectivamente.

La evaluación de materiales genéticos en diferentes ambientes permite identificar genotipos con características de adaptación y productividad para sistemas de producción con disponibilidad limitada de agua.

La precocidad, plasticidad fenológica y capacidad de adaptación al déficit hídrico, junto con la calidad y aceptación comercial del grano, constituyen características relevantes para continuar fortaleciendo el mejoramiento genético del frijol destinado a las regiones áridas y semiáridas de México.

Referencias

Rosales Serna, R., Avendaño Arrazate, C. H., & Sierra Zárate, D. (2025). *Mejoramiento genético de frijol: Sus protagonistas, variedades e impacto para la soberanía alimentaria en México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Rosales-Serna, R., Nava-Berumen, C. A., Acosta-Gallegos, J. A., & Trejo-Calzada, R. (2021). Fenología y productividad del agua en variedades mejoradas de frijol pinto cultivadas en Durango, México. *Agrociencia, 55*(4), 511–526. https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i4.2514

Ruiz Ibarra, G., Mojica Sánchez, J. P. y Langarica Rivera, V. M., 2026. Análisis de la Producción de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México y Jalisco: Tendencias y Evolución. *Scientia Tecnológica*. Vol. 3, no. 4. Disponible en: tecmm.mx

POTENCIAL DE RENDIMIENTO DE HÍBRIDOS COMERCIALES DE SORGO FORRAJERO EN LA REGIÓN LAGUNERA

Esmeralda Ochoa Martínez[1*], Juan Isidro Sánchez Duarte[1], Jorge Alberto Granados Niño[2], Karla Rodríguez Hernández[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna. Blvd. José Santos Valdez 1200. Col. Centro. 27440. Matamoros, Coahuila. [2]Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. C.P. 35111. *Autor de correspondencia: ochoa.esmeralda@inifap.gob.mx

Introducción

El cambio climático propicia fenómenos meteorológicos como las olas de calor y sequías, las cuales se caracterizan por una marcada escasez de agua de lluvia (Fontanet-Manzaneque et al., 2025). En este contexto, las altas temperaturas intensifican el estrés hídrico en la planta, aceleran su desarrollo fenológico e incrementan el riesgo de pérdidas en rendimiento y valor nutritivo del forraje (Rezaei et al., 2023). Ante esta problemática, el sorgo forrajero es un cultivo alternativo resiliente y estratégico para la producción de forraje (Fontanet-Manzaneque et al., 2025); ya que tiene mayor eficiencia en el uso del agua que el maíz forrajero (Rodríguez-Gómez et al., 2023). Sin embargo, las características agronómicas y el potencial de producción varían dependiendo de la variedad de sorgo utilizada.

Una de las decisiones más importantes para los productores de sorgo forrajero es la selección de la variedad a sembrar. Esto debido a que el rendimiento esperado de una variedad permite tener mayor certeza de una mejor ganancia para cubrir los gastos de producción (Ruiz y Carrillo, 2005) y garantiza el inventario de forraje en el establo (White et al., 1988). Granados (2023) describe que entre las variedades de sorgo comercial en la región Lagunera se pueden encontrar los sorgos utilizado para bioenergía, los cuales son de porte alto y rendimiento elevado (más de 60 t ha^{-1}). De igual manera, existen las variedades de sorgo convencional de altura media y con rendimientos que oscilan entre 40 y 60 t ha^{-1}. Adicionalmente, también se cuenta con variedades de sorgo de doble propósito y para grano; los cuales son de porte bajo y con rendimientos que pueden variar de 20 a 30 t ha^{-1}. A pesar de esto, la existencia de variedades de sorgo en esta región sigue siendo limitada y es necesario conocer su potencial de rendimiento para mejores resultados entre los productores. El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de rendimiento de híbridos comerciales de sorgo forrajero en la Comarca Lagunera.

Materiales y métodos

El estudio se realizó durante el ciclo de producción de primavera del 2026 en el Campo Experimental La Laguna localizado en Matamoros, Coahuila a 25°32´ latitud norte y 103° 14´longitud oeste. El suelo donde se estableció el experimento presenta una textura arcillosa, con un pH de 7.7 y una conductividad eléctrica (CE) de 1.2 dS m a una profundidad de 0-30 cm. Se evaluaron ocho híbridos de sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* L. Moench): Selva Amazónica, Sweet Bites, Sweet Bites CL, Silo Sweet, SiloMiel DP III, Silo Miel III, Husky, Red Top Candy, comparados contra el híbrido testigo Silo Miel Convencional (T).

La preparación del terreno consistió en un barbecho, rastreo y nivelación con escrepa. La siembra se realizó a tierra venida (suelo húmedo) el 22 de abril del 2026, utilizando una densidad de siembra de 12 kg ha^{-1} de semilla en semi-comerciales de 600 m^2 por cada híbrido. La dosis de fertilización aplicada fue de 280-80-00 (N-P_2O_5-K_2O), estimada en función del requerimiento del cultivo y meta del rendimiento.

La dosis total de fósforo se aplicó en la siembra, mientras que el nitrógeno se fraccionó aplicando el 20% de la dosis total en la siembra, el 40% antes del primer riego de auxilio y el otro 40% antes del tercer riego de auxilio. Se aplicaron cuatro riegos de auxilio a los 29, 49, 67 y 88 días después de la siembra (DDS). Para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), entre el primero y segundo riego de auxilio se aplicó Clorver® granulado planta por planta, complementado con aplicaciones foliares de Exalt® (120 ml ha^{-1}) e Intrepid® (2300 ml ha^{-1}) antes y después de dichos riegos. Para el control del pulgón verde (*Shyzaphis graminum*) y pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*), se realizaron dos aplicaciones de los insecticidas ENGEO® (150 ml ha^{-1}) e Imidacloprid (100 ml ha^{-1}).

La cosecha se realizó el 17 de agosto del 2026 (118 DDS), cuando el grano alcanzó el estado fenológico lechoso-masoso, con excepción del híbrido Selva Amazónica, el cual no emitió panoja. En cada parcela útil se midió la altura de planta. Para estimar el rendimiento de forraje verde, se cosechó un área útil de 9.12 m^2 (dos surcos de 0.76 m de ancho por 6 m de largo, eliminando 1.0 m en cada extremo para evitar el efecto orilla) y se determinó el peso total. Así mismo, se tomaron tres muestras representativas por parcela, las cuales se secaron en estufa de aire forzado a 60°C hasta obtener un peso constante para determinar el contenido de materia seca. El rendimiento de materia seca (t ha^{-1}) se calculó multiplicando el rendimiento de forraje verde por el contenido de materia seca obtenida.

La información se analizó en el programa SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2013), mediante ANOVA. Se aplicó la prueba de DMS (diferencia mínima significativa) a un nivel de significancia $P \leq 0.05$.

Resultados y discusión

La precipitación acumulada durante el desarrollo de los híbridos fue de 48.6 mm, la cual se concentró principalmente a finales de mayo, así como a principios, medidos y finales de junio y principios de agosto. El pico de precipitación más importante ocurre a mediados de junio (15 de junio), superando los 10 mm. Las temperaturas en general son favorables para el cultivo del sorgo, aunque se presentaron algunos días específicos donde las temperaturas máximas rebasan el límite biológico de 37.7°C. Por otro lado, la precipitación fue escasa e irregular a lo largo del ciclo del cultivo, por lo que el desarrollo del cultivo dependió principalmente del riego complementario para suplir las deficiencias hídricas de la región (Figura 1).

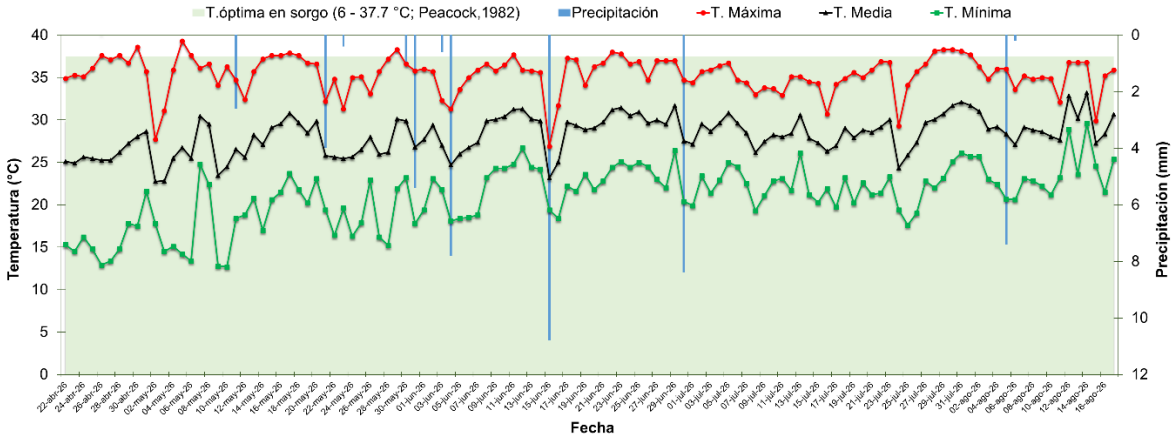


Figura 1. Condiciones climáticas durante el desarrollo del cultivo de sorgo. Ciclo agrícola primavera 2026. INIFAP-Campo Experimental La Laguna.

La altura de planta fue diferente entre híbridos (Cuadro 1; P<0.05). El sorgo Sweet Bites CL presentó la mayor altura de planta (4.25 m) que el resto de los híbridos. El híbrido Selva Amazónica mostró buena altura de planta (3.69 m) y este solo fue igualado por Silo Sweet y Red Top Candy. El híbrido Silo Miel Convencional tuvo una altura de 3.32 m y este fue igualado por Silo Sweet y superior a Sweet Bites, Silo Miel DP III, Silo Miel II y Husky.

El rendimiento de forraje en base verde también fue diferente entre los híbridos evaluados (Cuadro 1; P<0.05). Selva Amazónica presentó el mayor rendimiento de forraje verde (104.3 t ha^{-1}) y solo Silo Miel pudo igualarlo (91.17 t ha^{-1}). El mayor rendimiento de Selva Amazónica está asociado al mayor contenido de humedad a la cosecha, ya que este acumuló 21.51% de materia seca. El menor rendimiento de forraje en verde lo tuvo Sweet Bites (55.28 t ha^{-1}) y este solo fue igualado por Silo Miel DP III (61.33 t ha^{-1}).

El rendimiento de forraje seco también fue diferente entre los híbridos evaluados (Cuadro 1; P<0.05). El mayor rendimiento de forraje seco se observó en el híbrido Silo Sweet (27.51 t ha^{-1}) y este solo fue igualado por Sweet Bites CL y por el testigo Silo Miel Convencional (24.80 t ha^{-1}). El menor rendimiento de forraje seco lo mostró Silo Miel DP II (18.22 t ha^{-1}), lo cual es normal ya que este híbrido es de doble propósito para producir forraje y grano. Otros híbridos como Selva Amazónica y Silo Miel III superaron el rendimiento promedio de forraje seco del estudio (22.14 t ha^{-1}). Granados-Niño et al., (2020) reportó que solo un híbrido para bioenergía pudo superar en rendimiento de forraje verde y forraje seco al Silo Miel Convencional cosechado con 26% de MS.

Cuadro 1. Altura de plantas, forraje verde, porcentaje de materia seca (MS) y forraje seco de híbridos de sorgo forrajero. Ciclo agrícola primavera 2026. INIFAP-Campo Experimental La Laguna.

Hibrido	Altura (m)	Forraje verde (t ha^{-1})	MS (%)	Forraje seco (t ha^{-1})
Selva Amazonica	3.69 b	104.39 a	21.51d	22.38 bcd
Sweet Bites	2.65 d	55.28 e	34.90 a	19.28 cd
Sweet Bites CL	4.25 a	76.68 c	33.97 a	26.04 ab
Silo Sweet	3.52 bc	99.23 a	27.83 b	27.51 a
Silo Miel DP III	2.21 e	61.33 de	29.75 b	18.22 d
Silo Miel III	2.62 d	79.94 bc	28.29 b	22.64 bc
Husky	2.59 d	70.14 cd	27.54 bc	19.22 cd
Red Top Candy	3.59 b	80.14 bc	23.89 cd	19.18 cd
Silo Miel Convencional (T)	3.32 c	91.17 ab	27.25 bc	24.80 ab
EE	1.34	61.0	4.77	5.88
DMS	0.20	13.52	3.78	4.20

En la Figura 1 se muestra la proporción de hojas, tallos y panoja de los híbridos de sorgo evaluados. Los híbridos Sweet Bites (25%), Silo Miel III (21%) y Husky (20%) presentaron el mayor porcentaje de panoja (grano) comparado con el testigo Silo Miel Convencional. Una mayor proporción de panoja suele interpretarse en un ensilaje con mayor energía y digestibilidad. En contraste, los híbridos con mayor proporción de tallo fueron Sweet Bites CL (77%) y Selva Amazónica (70%); el cual no presentó desarrollo de panoja debido a su genética. Sin embargo, se ha señalado que, para obtener un ensilaje de sorgo de buena calidad en términos de proteína, se requiere de una elevada proporción de hojas (Atis, et al., 2012). Los híbridos Silo Sweet, Silo Miel DP III y Red Top Candy presentaron una proporción de hojas, tallos y panoja similar al testigo Silo Miel.

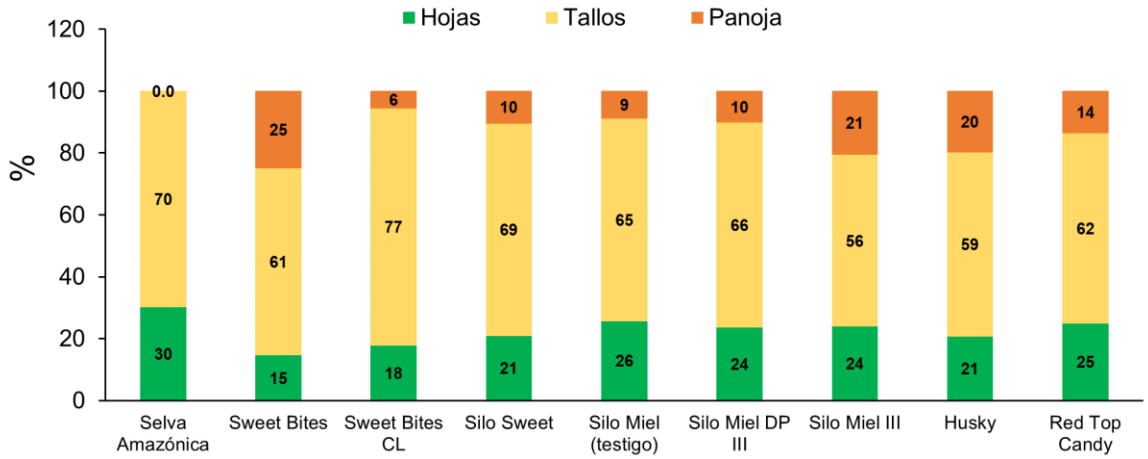


Figura 1. Distribución de hojas, tallo y panoja en híbridos de sorgo forrajero. Ciclo agrícola primavera 2026. INIFAP-Campo Experimental La Laguna.

Conclusión

Comercialmente existen variedades que pueden superar la altura de planta, el rendimiento de forraje en verde y en seco al hibrido Silo Miel Convencional. El hibrido de sorgo Sweet Bites CL tiene una altura superior, el Silo Sweet y Selva Amazónica tienen potencial para tener mayor rendimiento de forraje verde y el Silo Sweet para mostrar mayor rendimiento de forraje seco. No obstante, las otras variedades presentan mejores proporciones de panoja y hojas; lo que es un indicador que estos híbridos son más enfocados a tener mejor valor nutritivo del forraje.

Referencias

Atis, I., Konuskan, O., Duru, M., Gozubenli, H. y Yilmaz, S. (2012). Effect of harvesting time on yield, composition and forage quality of some forage sorghum cultivars. International Journal Agriculture & Biology. ISSN Print: 1560–8530; ISSN Online: 1814–9596 14: 879–886.

Bhattarai, B., Singh, S., West., C.P., Ritchie, G.L., Trostle, C.L. 2020. Water depletion pattern and wáter use efficiency of forage Sorghum, Pearl millet, and corn under wáter limiting condition. Agricultural water management. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106206

Fontanet-Manzaneque, J.B., Hernández, D.M., Giordano, A. y Caño, D.A. (2025). Sorghum as a monocot modelfor drought research. Frontiers in Plant Science. Sec. Plant Abiot Stress. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1665967

Granados-Niño., J.A., Reta-Sánchez, D.G., Santana, O.I., Reyes-González, E., Ochoa-Martínez, E., Sánchez-Duarte, J.I. (2020). Efecto de la altura de corte de sorgo a la cosecha sobre el rendimiento de forraje y el valor nutritivo del ensilaje. Rev Mex Cienc. Pecu. 12(3):958-968. https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5724

Granados, N.J.A. (2023). Efecto de la selección del híbrido y altura de corte a la cosecha en sorgo: Rendimiento de forraje y calidad nutritiva del ensilaje. Tesis de Doctorado. Universidad Juárez del Estado de Durango. Venecia, Durango.

Rezaei, E.E., Webber, H., Asseng, S., Boote, K., Durand, J.L., Ewert, F., Martre, P., MacCarthy, D.S. (2023). Climate change impacts on crop yields. Nature reviewa earth & environment. 4,831-846. https://doi.org/10.1038/s43017-023-00491-0

Rodríguez- Gómez., J.C., De los Santos, G.G., Hernández, L.A., Hernández, M.M. (2023). Evaluación agronómica de sorgos forrajeros en el Bajío, México. Fitotecnia Mexicana. 44(4): 687-691.

Ruiz, V.J. y Carrillo, R.J.C. (2005). Selección de cultivares forrajeros de sorgo (*Sorghum bicolor*) y mijo (*Pennisetum americanum*) por índices de eficiencia de producción y calidad. Agronompia Mesoamericana, 16(2). 153-160.

Sadiki, K.Mohammed, B., Kaoutar, E., Bouazzama, B. (2026). Comparative Assessment of Applied Water Use Efficiency and Agronomic Performance of Sorghum (Sorghum bicolor) and Maize (Zea mays) Cultivated

Under Semi-arid Conditions in Tadla (Morocco). Water Conservation Science and Engineering. https://doi.org/10.1007/s41101-026-00490-4

Tavazoh, M., Habibi, D., Golzardi, F., Ilkaee, M.N., Paknejad, F. 2024. Edffect of drought stres on morpho-physiological characteristics, nutritive value, and wáter-use efficiency of sorghum (Sorghum bicolor (L) Moench) varieties under various irrigation systems. Brazilian Jornal of biology. ISSN 1519-6984 (Print), ISSN 1678-4375 (Online). vol. 84, e286121. https://doi.org/10.1590/1519-6984.286121

SAS Institute. (2013). The SAS System for Windows, Release 9.4. Statistical Analysis Systems Inst., Cary, NC.

White, J., Bolsen, K., Kirch, B., and Ptaff, L. (1988). Selecting forage sorghum cultivars for silage. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports.177-182. DOI:10.4148/2378-5977.2353

ACUMULACIÓN ANUAL DE RAÍCES CON AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN COMO ALTERNATIVA PARA INCREMENTAR LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

Miguel Ángel Martínez-Gamiño[1*], Esteban Salvador Osuna-Ceja[2], Erika Nava-Reyna[3], José Pimentel-López[4], Simón Fonteyne[5], Abel Saldivia-Tejeda[5], Luis Ángel González-Espíndola[3]

[1]CIRNE-CE San Luis, INIFAP, [2]CIRNOC-CE Pabellón, INIFAP, [3]CENID RASPA, INIFAP, [4]Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, [5]El Batan, Texcoco CIMMYT. *Autor para correspondencia: martinez.miguelangel@inifap.gob.mx

Introducción

Por más de 50 años, los suelos del Altiplano de México se han barbechado y rastreado. El resultado de estas acciones es la destrucción de la estructura del suelo y un pobre contenido de materia orgánica y su calidad biológica (Martínez et al., 2019).

La producción agrícola está relacionada con la salud del suelo, y la materia orgánica es un detonante para la actividad biológica del suelo y su principal indicador, además de que un suelo productivo es la mejor defensa de los productores a siniestros climáticos, por lo que al incrementar la materia orgánica y la actividad biológica en el suelo y mejorar su estructura son factores que permitirán dar respuestas sostenibles a la seguridad alimentaria, los efectos del cambio climático y la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.

La agricultura de conservación es una alternativa que permite el incremento de la materia orgánica del suelo (García et al., 2018*)*. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la agricultura de conservación en la acumulación anual de raíces como alternativa para incrementar la materia orgánica del suelo.

Materiales y métodos

En 1995 se estableció, en el Campo Experimental San Luis, un experimento con diferentes métodos de labranza. En los ciclos primavera-verano de 2024 y otoño-invierno 2024-2025, en los cultivos de maíz y triticale, respectivamente, se realizó una evaluación del aporte de raíces al perfil del suelo en los siguientes tratamientos: 1) barbecho más rastra (B+R), 2) recuperación del suelo con agricultura de conservación a partir de 2019 (RAC) y 3) agricultura de conservación desde 1995 (AC). Cada año se ha realizado una rotación de cultivos con maíz en el ciclo de primavera-verano y triticale forrajero durante el otoño-invierno.

El material genético de maíz que se sembró fue el híbrido Espartaco con una densidad de siembra de 70,000 plantas por hectárea y se fertilizó con la fórmula 200(N)-100(P)-00(K)-10(Mg)-48(Fe)-8(B). Para Triticale se sembró la variedad AN32 en una densidad de 100 kg ha^{-1} y una fertilización de 80(N)-40(P). Al final de cada ciclo vegetativo se tomaron tres bloques de suelo 0.30 x 0.30 x 0.30, cada una con una planta de maíz al centro y dos hileras de triticale según el cultivo. Se separó la raíz del cultivo de maíz y del triticale mediante lavado y tamizado. El material vegetativo registrado se pesó en fresco y se secó en estufa a 65°C por 48 horas. Los resultados se analizaron con el paquete estadístico de SAS.

Resultados y discusión

En la Figura 1 se presenta el peso seco (t ha^{-1}) de la raíz al final del ciclo de maíz en primavera-verano del 2024 con diferentes tratamientos de labranza en el Campo Experimental San Luis, y en donde el análisis estadístico reportó diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos, favorable en un 100% en el peso de la raíz en el tratamiento con AC en relación al obtenido con el tratamiento de B+R.

Esta diferencia se explica como un efecto acumulativo de 29 años de no barbechar el suelo y de acumular la biomasa de la raíz del cultivo de maíz en la misma zona de siembra durante el ciclo primavera-verano. Este aporte constante de la biomasa de la raíz del cultivo de maíz en el ciclo primavera-verano incidió en mejorar la calidad del suelo representada por una mayor porosidad, mayor contenido de carbono orgánico, menor compactación, mayor número de lombrices y cochinillas (Onicídeos) y mayor estabilidad de agregados del suelo en seco y húmedo en relación a las mismas variables reportadas en el tratamiento con B+R (Martínez et al., 2022).

Estas condiciones favorecieron para que la raíz de maíz se desarrollara mejor en el tratamiento con AC que con el tratamiento con B+R. Para el caso del tratamiento con AC, las 12.23 t ha^{-1}son un aporte de biomasa al suelo muy importante, pues se quedan localizadas en la zona de siembra, la cual se ha ido mejorando, en cambio, con el tratamiento con B+R, las 6.00 t ha^{-1} se mezclan con el suelo al barbecharse y rastrearse el suelo antes de la siembra de cada cultivo.

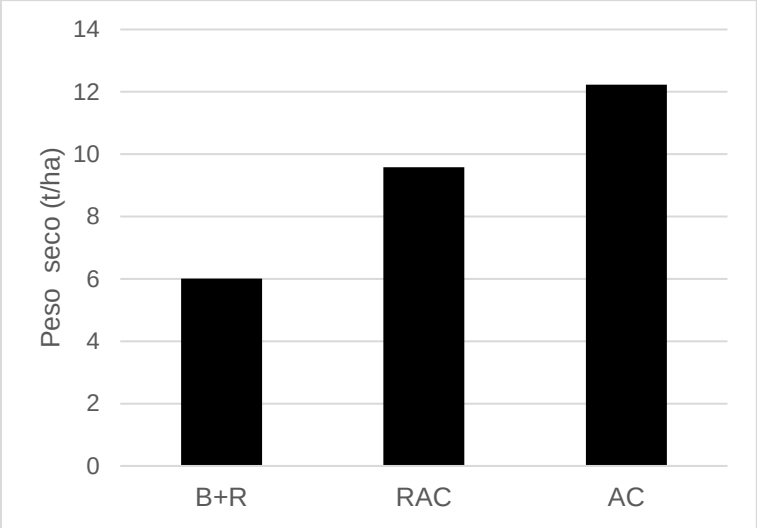


Figura 1. Peso seco de la raíz al final del ciclo de maíz en primavera-verano del 2024 con diferentes tratamientos de labranza en el Campo Experimental San Luis.

Cuando se barbecha un suelo, el volumen de suelo removido en una hectárea, a 0.3 m de profundidad y una densidad aparente de 1.4 g cm^{-3}, es de 4,200 t, por lo que el porcentaje que representan las 6.0 t ha^{-1} de raíces secas del ciclo PV 2024 es de solo 0.1429%, porcentaje menor al 0.4% sugerido por la FAO en 2017 como la cantidad mínima de aporte de biomasa al suelo al año para evitar la degradación del suelo a causa de la disminución de la materia orgánica. Es tradicional, que en el Altiplano de San Luis, los productores de maíz retiren todo el rastrojo, por lo que solo quedan los tocones de las raíces, los cuales al invertir el perfil del suelo con el barbecho prácticamente se pierden por su bajo volumen en peso en relación al volumen de suelo removido, además de que al invertir el perfil del suelo se promueve la oxidación de la materia orgánica y la liberación del carbono orgánico del suelo como CO_2.

En cambio, con la AC, el perfil del suelo no se ha invertido en 29 años, por lo que las raíces de los cultivos de maíz y avena/triticale se han acumulado en zonas fijas de siembra, debido al uso de camas permanentes de 1.65 m de ancho y en donde se siembra en dos hileras separadas 0.825 m entre sí. En estas zonas fijas de siembra, el volumen de suelo que se debe considerar es el comprendido en las franjas de siembra a 0.25 m de ancho por 100 m de longitud, 0.3 m de profundidad y una densidad aparente de 1.1 g cm^{-3}, lo cual da un volumen de suelo de 8.25 t ha^{-1} por hilera o de 998.25 t en las 121 hileras de una hectárea. Para el ciclo PV 2024, la cantidad de material orgánico que se acumuló en esta zona de siembra fue de 12.0 t ha^{-1}, lo que equivale a 1.2021%, es decir, tres veces más que la recomendación de la FAO de 0.4%. Es importante considerar que en las zonas fijas de siembra hay restos orgánicos de raíces de maíz y avena/triticale en proceso de descomposición, los cuales juegan un papel importante en la mejora de la calidad del suelo en este tratamiento en comparación al suelo con B+R.

Para el peso de la raíz (t ha^{-1}) del cultivo de triticale forrajero en el ciclo otoño-invierno 2024-2025 con diferentes métodos de labranza no se detectaron diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos. Sin embargo, en la Figura 2 se observa como al acumular el peso de la raíz del cultivo de maíz y triticale, el aporte anual de raíces si fue estadísticamente diferente entre los tratamientos y favorable al de AC. Lo anterior se explica como la acumulación de la biomasa de raíces en la zona fija de siembra, mientras que al barbechar el suelo dos veces al año impide su acumulación en una zona fija, además de que el peso de la raíz en B+R es menor en cada ciclo al reportado con AC. Es notorio como el tratamiento en recuperación (RAC), supera también al tratamiento tradicional con B+R.

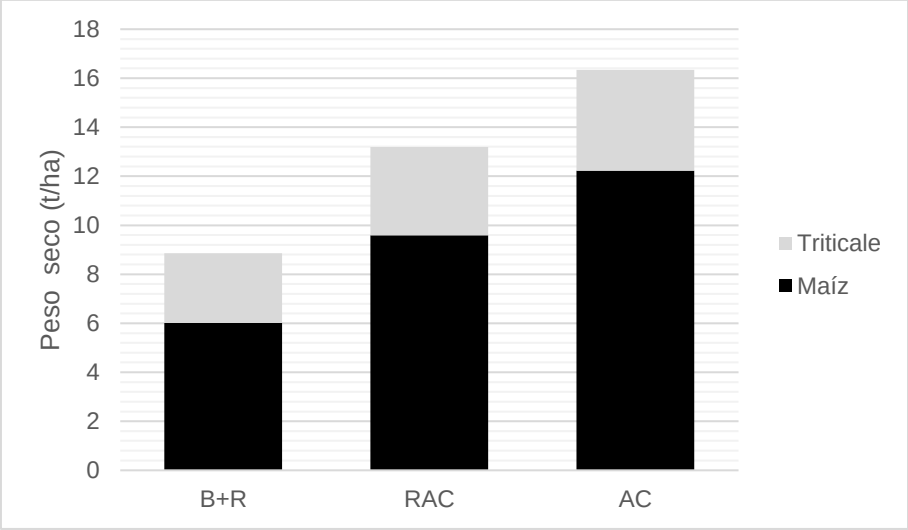


Figura 2. Acumulación anual de raíces en una rotación maíz-triticale con diferentes tratamientos de labranza en el Campo Experimental San Luis durante los ciclos primavera verano 2024 y otoño-invierno 2024-2025.

El incremento de materia seca en relación al volumen del suelo para cada tratamiento representa tan solo 0.223 % para el caso de B+R, 1.712 % para RAC y 2.101 % para AC. Esta cantidad de biomasa acumulada en la zona de siembra con AC genera un ambiente contrastante en materia prima para aportar materia orgánica al suelo, mientras que en el B+R aun cuando se llegan a acumular 9.6 t ha^{-1} de biomasa, está casi se pierde en el volumen de tierra que se mueve al barbechar y rastrear una hectárea.

Conclusiones

La AC favorece una mayor acumulación anual del material vegetativo de las raíces en el perfil del suelo en la zona de siembra en comparación al método tradicional de B+R. Este aporte anual es un detonante para mejorar la calidad del suelo con AC, mientras que es evidente que al continuar barbechando y rastreando los suelos agrícolas, el aporte de materia prima para incrementar la materia orgánica será incipiente. La AC es una alternativa sustentable para incrementar la materia orgánica del suelo y mejorar y mantener su fertilidad.

Referencias

García, D., J. Cárdenas & A. Silva. 2018. Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades físico-químicas y microbiológicas en un inceptisol. Rev. Cienc. Agr. 35(1):16-25. http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.79

Martínez-Gamiño, M.A., E.S. Osuna-Ceja y M. Espinosa-Ramírez. 2019. Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. Rev. Mex. Cienc. Agric. Vol.10, no. 4. 765-778. DOI:https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1640

RESPUESTA MORFOLÓGICA Y BROMATOLÓGICA DEL MAÍZ FORRAJERO (Zea Mays L.), A DIFERENTES DOSIS DE NITRÓGENO

Aracely Espinabarro-Juarez[1], José L. Galarza-Mendoza[1], Manuel Fortis-Hernandez[1], Erika Lorena López-Rodríguez[2].

[1]TecNM-Instituto Tecnológico de Torreón, Maestría en ciencias en suelo, 27170, Torreón Coahuila; [2]Universidad Tecnológica de Torreón, Torreón-Matamoros Km. 10 Ejido El Águila, Municipio de Torreón, Coah. *Autor para correspondencia: espinabarrochely@gmail.com

Resumen

El maíz forrajero (*Zea mays L*.) representa un cultivo estratégico para la alimentación del ganado lechero en regiones áridas de México. Sin embargo, la disponibilidad limitada de agua y nutrientes, así como el uso intensivo de fertilizantes, plantean desafíos para una producción sostenible. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes dosis de nitrógeno sobre el vigor y las características bromatológicas del maíz forrajero en una región árida de Coahuila. La investigación se desarrolló durante el ciclo primavera-verano de 2026 en el Ejido Fresno del Norte, evaluándose cuatro tratamientos: testigo, 150, 200 y 250 unidades de nitrógeno, bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron características fenológicas y bromatológicas, los resultados fueron analizados mediante ANOVA y comparación de medias por DMS ($P \leq 0.05$). Se observaron diferencias significativas entre tratamientos. La fertilización nitrogenada incrementó el largo de hoja, mientras que el ancho presentó una respuesta no lineal. La dosis de 250 unidades de nitrógeno registró los mayores valores de FDN (57.79 %) y FDA (55.73 %). De manera preliminar se concluye que las dosis crecientes de nitrógeno modifican las características morfológicas y bromatológicas del cultivo, aunque aún se requiere integrar el rendimiento de materia seca y otros indicadores para determinar una dosis óptima.

Introducción

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) se distribuye a nivel mundial y constituye una importante fuente de proteína y energía tanto para la ganadería como para el consumo humano. En México, su importancia es aún mayor, ya que aproximadamente el 50% de la producción lechera nacional proviene de sistemas intensivos establecidos en regiones como la Comarca Lagunera, Aguascalientes, Delicias y Querétaro, donde la alimentación del ganado depende en gran medida de la alfalfa y del ensilado de maíz. (Castañeda et al., 2005)

No obstante, la seguridad alimentaria y la producción de forraje en regiones áridas enfrentan desafíos crecientes debido a la baja disponibilidad de agua y a la limitada capacidad de retención de nutrientes en los suelos, factores que restringen la productividad agrícola (Jian et al., 2003). A ello se suma que el uso continuo de fertilizantes químicos ha provocado procesos de degradación del suelo, contaminación ambiental y riesgos para la salud humana (Sosa-Rodríguez, 2018). Los fertilizantes nitrogenados, con eficiencias menores al 50%, presentan pérdidas por lixiviación, adsorción o volatilización, lo cual genera acidificación del suelo, eutrofización de cuerpos de agua y pérdida de biodiversidad (Santiago-Juárez et al., 2025). Ante este contexto, surge la necesidad de herramientas que permitan evaluar la fertilidad del suelo de manera más precisa y eficiente, integrando tanto mediciones directas como tecnologías avanzadas. En este marco, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la fertilidad del suelo integrada mediante mediciones de campo y análisis de laboratorio, para comprender su influencia en el vigor y en el estado nutricional del maíz forrajero en una región árida del país.

Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó en el ciclo agrícola primavera-verano del año 2026 en el Ejido “Fresno del Norte”, del municipio de Francisco I. Madero, Coahuila, México. El cual está ubicado en el suroeste del estado de Coahuila, en las coordenadas 103° 16’ 23’’ longitud oeste y 25° 46’ 31’’ latitud norte, a una altura de 1100 metros sobre el nivel del mar. Presenta un clima en el municipio es de subtipos secos semiáridos.

Se estableció la variedad de maíz “San Lorenzo”, sembrándose a tierra avenida el día 4 de marzo, con una densidad de siembra de ocho plantas por metro lineal. Dicha variedad fue seleccionada por el agricultor por su alta capacidad productiva, uniformidad, buena formación de grano, rápido crecimiento y por ser de doble propósito (grano y forraje). La preparación de terreno fue subsuelo, barbecho y un paso de rastra.

La parcela experimental fue de dos melgas de 15 m de ancho y 157 m de largo, dando un área de 2355 m^2. La aplicación del nitrógeno se realizó en dos etapas aplicando Fosforo MAP (11-52-00) a la siembra y Nitrógeno UREA (46-00-00) en la primera escarda. Las variables evaluadas fueron fenología de la planta y variables bromatológicas, para este análisis fue ensilado el forraje cosechado y posteriormente se realizó su determinación. Los tratamientos fueron: T1 (Testigo); T2 (150 unidades de nitrógeno; T3 (200 unidades de nitrógeno y T4 (250 unidades de nitrógeno).

El diseño experimental fue un Bloques al Azar, evaluando cuatro tratamientos y cuatro bloques completos. Generándose 16 unidades experimentales. Los análisis estadísticos de los resultados fueron Análisis de Varianza (ANOVA), y Prueba de Separación de Medias por DMS con un nivel de significancia del 0.05.

Resultados y discusión

Los resultados estadísticos muestran que hubo diferencias significativas (P≤0.05), en las variables analizadas. En el caso del largo de hoja esta aumentó con la fertilización nitrogenada. El testigo presentó 76 cm, mientras que T2, T3 y T4 registraron 85.75, 83.25 y 84.25, respectivamente. Los tres tratamientos nitrogenados pertenecieron al grupo estadístico superior. Respecto al testigo, los incrementos fueron aproximadamente 12.8, 9.5 y 10.9 %. El ancho de hoja presentó una respuesta menos uniforme, siendo el T2 y T4 los que registraron los valores más altos, 20.27 y 20.55 cm, respectivamente, y fueron estadísticamente superiores al testigo y al tratamiento T3. Esto indica que el aumento de N no produjo una respuesta lineal en esta variable (Cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación de medias del largo y ancho de hoja, Fibra Detergente Neutro (FDN) y Acida (FDA), en plantas de maíz forrajero con dosis creciente de nitrógeno.

Tratamiento	Largo de hoja (LH)	Ancho de hoja (AH)	FDN (%)	FDA (%)
T1 = Testigo	76.00 b*	17.10 b	47.56 b	45.58 b
T2 = 150	85.75 a	20.27 a	50.93 ab	48.95 ab
T3 = 200	83.25 a	19.10 b	50.98 ab	48.93 ab
T4 = 250	84.25 a	20.55 a	57.79 a	55.73 a

*Las letras diferentes indican diferencias estadísticas según la comparación de medias por DMS (*P*≤0.05).

Con respecto a la FDN fue de 47.56 % en el testigo y alcanzó 50.93, 50.98 y 57.79 % en T2, T3 y T4. El tratamiento T4 (200 unidades de nitrógeno) presentó el mayor valor y fue estadísticamente superior al testigo. La FDA mostró el mismo patrón: 45.58 % en el testigo y 48.95, 48.93 y 55.73 % en T2, T3 y T4. Respecto al testigo, 250 unidades de N incrementaron aproximadamente 21.5 % la FDN y 22.3 % la FDA. En este sentido, la respuesta del largo de hoja sugiere que la disponibilidad de nitrógeno favoreció el crecimiento vegetativo.

El N participa en la formación de proteínas, enzimas y componentes asociados con la actividad fotosintética; por ello, una mayor disponibilidad puede favorecer la expansión y permanencia del área foliar. Al respecto, Liimatainen et al. (2022), señalan que la fertilización nitrogenada puede favorecer el crecimiento foliar, aunque la magnitud de la respuesta depende de las condiciones ambientales.

Es importante señalar que la ausencia de una respuesta lineal en el ancho de hoja indica que las características morfológicas no necesariamente presentan la misma sensibilidad al N. El crecimiento foliar está condicionado por la interacción entre nutrición, agua, temperatura, radiación, genotipo y etapa de desarrollo. Por otra parte, la respuesta de FDN y FDA constituye uno de los hallazgos más relevantes. El tratamiento de 250 unidades de N presentó las mayores concentraciones de ambas fracciones, lo que indica una mayor concentración relativa de componentes estructurales bajo las condiciones del experimento. Las Fibras FDN y FDA son indicadores importantes de la calidad del forraje porque se relacionan con consumo y digestibilidad.

Los resultados difieren de algunos estudios recientes, Ma et al. (2023), encontraron que el aumento de N incrementó la proteína cruda y redujo FDN y FDA; Jiang et al. (2024), también reportaron aumento de proteína cruda y disminución de FDA. Liimatainen et al. (2022), en contraste, encontraron respuestas limitadas en varias variables de calidad. Estas diferencias pueden explicarse por el cultivar, la fertilidad inicial del suelo, las dosis y forma de aplicación del N, disponibilidad de agua, densidad de población, ambiente y etapa de cosecha. La madurez modifica la proporción de tejidos estructurales y puede cambiar considerablemente FDN y FDA.

Por ello, la respuesta encontrada en este experimento debe considerarse específica de sus condiciones y no generalizarse. Ya que debe evaluarse la dosis óptima considerando simultáneamente productividad, calidad y eficiencia del fertilizante, sin embargo, en el contexto de la Comarca Lagunera, el trabajo es pertinente porque es necesario generar información de como las condiciones de producción modifican el rendimiento y diversos componentes de la calidad nutricional del maíz forrajero, lo que podría ayudar a generar estrategias de fertilización más ajustadas a las condiciones edafoclimáticas y al destino del forraje.

Conclusiones

De manera preliminar, se puede señalar que la fertilización nitrogenada modificó las características morfológicas y bromatológicas evaluadas. El largo de hoja fue mayor con la aplicación de nitrógeno, respecto al testigo, mientras que el ancho de hoja mostró una respuesta no lineal. La dosis de 250 unidades de nitrógeno presentó las mayores concentraciones de FDN y FDA, y fue estadísticamente superior al testigo. Los resultados sugieren que la respuesta del maíz forrajero al nitrógeno debe analizarse de manera integral. Con las variables disponibles todavía no es posible establecer una dosis agronómicamente óptima; para ello debe integrarse el rendimiento de materia seca y otros indicadores de calidad nutricional.

Referencias

Castañeda, F. G., Ramo, A. P., Hernández, G. N., & González, C. A. J. (2005). Efecto de la densidad y altura de corte en el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *28*(4), 393-397.Husein, H. H. (2021). A Contribution to Soil Fertility Assessment for Arid and Semi-Arid Lands. Soils, 5(3), 42. https://doi.org/10.3390/soils5030042

Jiang, C., Shou, N., Gao, W., & Yang, X. (2023). An optimized nitrogen application rate and basal topdressing ratio improves yield, quality, and water- and N-use efficiencies for forage maize (Zea mays L.). Agronomy, 13(1), 181. https://doi.org/10.3390/agronomy13010181

Jiang, C., You, Y., Lai, X., Zhang, Z., Gao, W., Ma, R., & Yang, X. (2024). Maximizing food equivalent unit yield for forage maize production without notably compromising dry matter yield and feed quality in a semi-arid region. Industrial Crops and Products, 218, 118942. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118942

Liimatainen, A., Sairanen, A., Jaakkola, S., Kokkonen, T., Kuoppala, K., Jokiniemi, T., & Mäkelä, P. S. A. (2022). Yield, quality and nitrogen use of forage maize under different nitrogen application rates in two boreal locations. Agronomy, 12(4), 887. https://doi.org/10.3390/agronomy12040887

Santiago-Juárez, G. A., Trujillo-Tapia, M. N., & Ramírez-Fuentes, E. (2025). Cianobacterias como alternativa de fertilización biológica para el cultivo de maíz. *Biotecnia*, *27*.

Sosa-Rodríguez, B. A., & García-Vivas, Y. S. (2018). Eficiencia de uso del nitrógeno en maíz fertilizado de forma orgánica y mineral. Agronomía Mesoamericana, 29(1), 151–165. https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27127

IMPLICACIONES BIOGEOQUÍMICAS DEL SOBRE-ESTERCOLADO: CASO DE ESTUDIO EL PORVENIR

Karen Lizbeth Domínguez Coronado[1], Cristo Omar Puente Valenzuela[2]*, Eva Aurora Bautista Calderón[2], Selenne Yuridia Márquez Guerrero[1], David Ramiro Aguillón Gutiérrez[3].

[1]División de Estudios de Posgrado, Instituto Tecnológico de Torreón, Torreón, Coahuila, México. C. P. 27170. [2]Centro de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (RASPA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Gómez Palacio, Durango, México. [3]Centro de Estudios e Investigaciones Interdisciplinarios (CEII) de la Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC), Arteaga, Coahuila, México. *Autor de correspondencia. puente.cristo@inifap.gob.mx

Introducción

La práctica del estercolado del suelo suele ser asociada con una serie de beneficios positivos, como el aumento de la fertilidad (FAO, 2017; Li et al., 2025; Ridene et al., 2026), mejora la estructura del suelo a través de la formación y estabilización de agregados(Heller et al., 2026; Rieke et al., 2022), aumentando la aeración e infiltración del agua (Heller et al., 2026; Skadell et al., 2025), promoviendo predominantemente hacia un metabolismo aerobio (Sáez-Sandino et al., 2026). El objeto de promover un metabolismo aerobio en el suelo es para lograr la máxima eficiencia energética para aprovechar y movilizar los nutrientes hacia los cultivos, mediado por la acción de los microorganismos (Zheng et al., 2024); esto se debe a que el aceptor terminal de electrones en el metabolismo aerobio es el oxígeno, el cual posee el potencial redox más alto, proporcionando la mayor ganancia de energía libre de Gibbs por mol de sustrato oxidado (Wirsching et al., 2025).

Cuando las condiciones de aerobiosis cambian en el ambiente edáfico como consecuencia de alteraciones físicas, tales como la inundación, la compactación o la alta demanda biológica generada por la saturación de carbono orgánico en la solución del suelo, se provoca una disminución en la difusión del oxígeno atmosférico en comparación con la tasa de consumo microbiano, lo que genera un rápido agotamiento del oxígeno disuelto y desplaza al sistema edáfico hacia un estado de anoxia o anaerobiosis (Boie et al., 2025; Wang & Kuzyakov, 2024). Bajo estas condiciones, la comunidad microbiana se ve obligada a adaptar sus vías respiratorias utilizando aceptores terminales de electrones alternativos, siguiendo una escala redox predecible: nitratos (NO_3^-), manganeso (Mn^{4+}), hierro férrico (Fe^{3+}), sulfato (SO_4^{2-}) y dióxido de carbono (CO_2) (Boie et al., 2025; Eldor A. Paul & Serita D. Frey, 2025).

Con el cambio del potencial redox del suelo, este pasa de ser un sumidero de carbono a una fuente de emisión de gases de efecto invernadero, como dióxido de carbono (+400 a +800 mV), óxido nitroso (+200 a +300 mV) y metano (-200 a -300 mV), así como de fenómenos de reducción de manganeso (+100 a +200 mV), reducción del hierro (0 a +100 mV) y reducción de sulfato (-100 a -200 mV) (Boie et al., 2025). Esto hace que el correcto manejo del estiércol sea crítico para asegurar la salud del suelo y minimizar el impacto ambiental asociado a la actividad agrícola.

A pesar de los graves pasivos ambientales generados por la acumulación de materia orgánica, existe un vacío en la literatura respecto a evaluaciones longitudinales que cuantifiquen este deterioro biogeoquímico *in situ* bajo condiciones reales de manejo. Por consiguiente, el objetivo del presente estudio fue evaluar las implicaciones biogeoquímicas espaciotemporales del sobre estercolado crónico en un predio agrícola (El Porvenir).

Materiales y métodos

El área de estudio comprendió el predio rancho Palestina, en El Porvenir (P) (25.7845 N, 103.321 O). Este sistema se caracteriza por recibir aportes masivos de materia orgánica mediante dosis sostenidas de estiércol bovino (200 $t \cdot ha^{-1}$), además de la incorporación de efluente de biodigestor en el sistema de riego. Se emplea fertilización química convencional y un esquema de rotación de cultivos establecido con maíz (*Zea mays L*.) o triticale en primavera-verano y avena (*Avena sativa L*.) en invierno.

Para la recolección de los datos, se delimitó una unidad experimental de 4 hectáreas. Se implementó una estrategia de muestreo espacial en cuadrícula (20 × 20 m), aleatorizando los cuadrantes para seleccionar 12 puntos de recolección (centroides) independientes para cada evento de evaluación. En cada punto se extrajeron muestras a dos profundidades (0–30 cm y 30–60 cm). Las muestras de suelo fueron secadas al aire, molidas y tamizadas (malla de 0.5 mm) para su posterior análisis fisicoquímico, de acuerdo con lo establecido en la NOM-021-RECNAT-2000 .

El diseño consistió en un estudio longitudinal retrospectivo con dos series de muestreo realizadas durante el ciclo de primavera – verano de los años 2020 y 2026. Cabe señalar que las coordenadas exactas de recolección no fueron coincidentes entre fechas, por lo que los 12 puntos de muestreo de cada año constituyen unidades experimentales espacialmente independientes para el análisis temporal.

El análisis estadístico se realizó partiendo de pruebas de normalidad de datos de Shapiro – Wilk ($p > 0.05$) seguida de un análisis de varianza no pareada (ANOVA) con comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$)

Resultados y discusión

Los datos reportados en el Cuadro 1 presentaron normalidad de acuerdo con Shapiro-Wilk ($p \leq 0.05$), por lo que se procedió a realizar el análisis de ANOVA, comparando la estratificación y la temporalidad de los datos. Letras iguales dentro del cuadro no representan significancia estadística según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); letras distintas representan datos estadísticamente diferentes. De acuerdo con los resultados, se observa un colapso del potencial de oxidorreducción (ORP), el cual puede asociarse con la carga de carbono disuelto y la alta demanda biológica de oxígeno, que generan las condiciones para cambiar el último aceptor de electrones y promover la solubilización del hierro y el manganeso. Este fenómeno ha sido ampliamente citado en la literatura biogeoquímica (Boie et al., 2025; Keiluweit et al., 2015; Lieberman et al., 2026; Wang & Kuzyakov, 2024).

Diversos estudios han demostrado que este proceso provoca la disolución reductiva de las matrices minerales y de los complejos órgano minerales, transformando especies férricas y mangánicas insolubles en formas solubles reducidas y liberando a la solución del suelo los metales traza previamente retenidos (como el Zn y Cu) (Eldor A. Paul & Serita D. Frey, 2025; Keiluweit et al., 2015; Wang & Kuzyakov, 2024).

Finalmente, bajo anoxia prolongada y agotamiento de aceptores intermediarios, la activación de la metanogénesis, pasando por la desnitrificación con su formación de óxido nitroso, genera la emisión de dos gases con un elevado potencial de calentamiento global, lo que exige que la práctica del estercolado sostenido sea estrictamente vigilada para prever y mitigar impactos ambientales derivados de la actividad agrícola (Boie et al., 2025; Charles et al., 2017; Manzoni et al., 2012; Wang et al., 2026).

Cuadro 1. Dinámica espaciotemporal de parámetros fisicoquímicos, macronutrientes y metales de transición en el perfil del suelo bajo aplicación crónica de estiércol bovino en el predio El Porvenir (2020–2026).

Parámetro	Profundidad	2020	2026
%Sat	0 - 30 cm	52.78 ± 2.11^{C}	64.21 ± 3.06^{A}
	30 - 60 cm	56.33 ± 2.24^{B}	65.18 ± 3.21^{A}
pH	0 - 30 cm	8.44 ± 0.13^{B}	8.62 ± 0.13^{A}
	30 - 60 cm	8.58 ± 0.08^{A}	8.44 ± 0.13^{B}
CE	0 - 30 cm	0.96 ± 0.23^{B}	2.88 ± 0.74^{A}
	30 - 60 cm	1.61 ± 1.44^{B}	1.72 ± 0.36^{B}
ORP	0 - 30 cm	N/A	80.15 ± 4.25
	30 - 60 cm	N/A	-31.51 ± 3.25
MO	0 - 30 cm	2.74 ± 0.43^{B}	5.07 ± 1.14^{A}
	30 - 60 cm	1.34 ± 0.45^{C}	2.17 ± 0.29^{B}
N-NO3	0 - 30 cm	24.65 ± 17.04^{B}	47.53 ± 23.36^{A}
	30 - 60 cm	21.66 ± 10.76^{B}	29.31 ± 16.32^{AB}
P-Olsen	0 - 30 cm	80.06 ± 41.93^{B}	669.1 ± 199.3^{A}
	30 - 60 cm	20.79 ± 9.70^{B}	118.1 ± 62.14^{B}
K extraíble	0 - 30 cm	3341.1 ± 666.9^{AB}	3552.5 ± 641.2^{A}
	30 - 60 cm	2048.6 ± 591.2^{C}	2729.3 ± 775.1^{BC}
Cobre	0 - 30 cm	1.15 ± 0.18^{C}	8.15 ± 1.66^{A}
	30 - 60 cm	1.21 ± 0.15^{C}	3.85 ± 0.71^{B}
Fierro	0 - 30 cm	0.76 ± 0.32^{C}	22.18 ± 5.06^{A}
	30 - 60 cm	1.08 ± 0.40^{C}	14.64 ± 2.28^{B}
Manganeso	0 - 30 cm	5.04 ± 1.55^{C}	48.87 ± 4.91^{A}
	30 - 60 cm	4.49 ± 1.34^{C}	30.46 ± 6^{B}
Zinc	0 - 30 cm	1.66 ± 0.49^{C}	8.44 ± 1.53^{A}
	30 - 60 cm	0.94 ± 0.35^{C}	3.66 ± 0.61^{B}

Los valores representan la media ± desviación estándar ($n = 12$). Letras superíndices distintas para un mismo parámetro indican diferencias estadísticas significativas entre años y profundidades ($p \leq 0.05$). %Sat: porcentaje de saturación (%); CE: conductividad eléctrica ($dS \cdot m^{-1}$); ORP: potencial de oxidación-reducción (mV); MO: materia orgánica (%); N-NO3: nitrógeno nítrico ($mg \cdot kg^{-1}$); P-Olsen: fósforo asimilable ($mg \cdot kg^{-1}$). El K extraíble y los metales (cobre, hierro, manganeso y zinc) se expresan en $mg \cdot kg^{-1}$. N/A: parámetro no evaluado durante el muestreo de 2020.

Conclusiones

Una aplicación sostenida de estiércol bovino transforma el suelo agrícola en un pasivo ambiental. Esta aplicación se asocia con el incremento de la materia orgánica del suelo y de macronutrientes como el fósforo en la capa superficial; también genera salinización. En el subsuelo (capa de 30–60 cm), la sobresaturación orgánica colapsa el potencial redox y genera un ambiente hipóxico que promueve la solubilización de micronutrientes.

Referencias

Boie, F., Shaheen, S. M., Kandeler, E., & Rinklebe, J. (2025). Controlled redox potentials and flooding duration affect microbial community composition and biomass in an arable soil. *Soil Biology and Biochemistry*, *211*. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2025.109962

Charles, A., Rochette, P., Whalen, J. K., Angers, D. A., Chantigny, M. H., & Bertrand, N. (2017). Global nitrous oxide emission factors from agricultural soils after addition of organic amendments: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *236*, 88–98. https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2016.11.021

Eldor A. Paul, & Serita D. Frey (Eds.). (2025). *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry* (Fifth).

FAO. (2017). Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. In *United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat): Addis Ababa, Ethiopia. (2021)*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i6937es

Heller, O., D'Hose, T., Euteneuer, P., Fér, M., Goberna, M., Jarvis, N., Munkholm, L. J., Arrázola-Vásquez, E. M., Bragazza, L., Ghiasi, S., Guilaume, T., van der Heijden, M. G. A., Koestel, J., Lindahl, A., Mayer, J., Mayerová, M., Pullens, J. W. M., Mehdi-Schulz, B., Santín, I., … ten Damme, L. (2026). Carbon Input and Tillage Intensity Modulate Pedo-Climatic Controls of Topsoil but Not Subsoil Physical Properties. *Soil Use and Management*, *42*(3). https://doi.org/10.1111/sum.70247

Keiluweit, M., Bougoure, J. J., Nico, P. S., Pett-Ridge, J., Weber, P. K., & Kleber, M. (2015). Mineral protection of soil carbon counteracted by root exudates. *Nature Climate Change*, *5*(6), 588–595. https://doi.org/10.1038/nclimate2580

Li, L., Schmer, M. R., Ramirez, S., Córdova, S. C., Freidenreich, A., Birru, G., Jin, V. L., Awada, T., Ferguson, R. B., & Wienhold, B. J. (2025). Manure application mitigates soil organic carbon loss from decade-long stover removal in no-till continuous corn. *Agronomy Journal*, *117*(5). https://doi.org/10.1002/agj2.70179

Manzoni, S., Taylor, P., Richter, A., Porporato, A., & Ågren, G. I. (2012). Environmental and stoichiometric controls on microbial carbon-use efficiency in soils. In *New Phytologist* (Vol. 196, Number 1, pp. 79–91). https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04225.x

NOM-021-RECNAT-2000. (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*.

Ridene, S., Khiari, L., Bahri, H., Annabi, M., Menasseri-Aubry, S., Benjannet, R., & Abbes, C. (2026). Biochemical thresholds to differentiate mineralizing and stabilizing organic waste amendments for soil carbon management. *Frontiers in Soil Science*, *6*. https://doi.org/10.3389/fsoil.2026.1754334

Rieke, E. L., Bagnall, D. K., Morgan, C. L. S., Flynn, K. D., Howe, J. A., Greub, K. L. H., Mac Bean, G., Cappellazzi, S. B., Cope, M., Liptzin, D., Norris, C. E., Tracy, P. W., Aberle, E., Ashworth, A., Bañuelos Tavarez, O., Bary, A. I., Baumhardt, R. L., Borbón Gracia, A., Brainard, D. C., … Honeycutt, C. W. (2022). Evaluation of aggregate stability methods for soil health. *Geoderma*, *428*. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116156

Sáez-Sandino, T., Singh, B. K., Xiong, C., Wang, J., Ren, C., & Delgado-Baquerizo, M. (2026). Microbial Functional Genes Help Explain Soil Carbon Sensitivity to Temperature Across Global Biomes. *Global Change Biology*, *32*(9). https://doi.org/10.1111/gcb.71101

Skadell, L. E., Dettmann, U., Guggenberger, G., & Don, A. (2025). Effects of Agricultural Management on Water Retention via Changes in Organic Carbon in Topsoil and Subsoil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *188*(6), 949–963. https://doi.org/10.1002/jpln.70004

Wang, C., & Kuzyakov, Y. (2024). Soil organic matter priming: The pH effects. In *Global Change Biology* (Vol. 30, Number 6). John Wiley and Sons Inc. https://doi.org/10.1111/gcb.17349

Wang, C., Zhu, B., Luo, Y., & Kuzyakov, Y. (2026). 100 Years of Soil Organic Matter Priming Research. In *Global Change Biology* (Vol. 32, Number 1). John Wiley and Sons Inc. https://doi.org/10.1111/gcb.70674

Wirsching, J., Endress, M. G., Di Lodovico, E., Blagodatsky, S., Fricke, C., Lorenz, M., Marhan, S., Kandeler, E., & Poll, C. (2025). Coupling energy balance and carbon flux during cellulose degradation in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry*, *202*. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109691

Zheng, J., Scheibe, T. D., Boye, K., & Song, H. S. (2024). Thermodynamic control on the decomposition of organic matter across different electron acceptors. *Soil Biology and Biochemistry*, *193*. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109364

LABILIDAD E ÍNDICE DE RESERVA DE CARBONO COMO INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO EN SISTEMAS AGRÍCOLAS DE SAN LUIS POTOSÍ

Sayed Alejandra Torres Morales[1], Erika Nava-Reyna[2*], Miguel Angel Martínez-Gamiño[3], María del Rosario Jacobo-Salcedo[2], Ignacio Sánchez-Cohen[2]

[1]Universidad Politécnica de Gómez Palacio, Gómez Palacio, Dgo.; [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias CENID-RASPA, Gómez Palacio, Dgo., México; [3]INIFAP, CIRNE - CE San Luis, Soledad de Graciano Sánchez, SLP, México. *Autor para correspondencia: nava.erika@inifap.gob.mx

Introducción

El manejo agrícola mediante la labranza convencional (LC) emplea labores mecánicas intensivas que alteran profundamente la estructura del suelo. Al romper los agregados edáficos, estas prácticas exponen la materia orgánica a condiciones que aceleran su mineralización y contribuyen significativamente a la emisión de gases de efecto invernadero (Lal, 2018). Como resultado, los suelos sufren pérdida de estabilidad, menor porosidad y una alta susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica, degradando progresivamente su calidad física, química y biológica (Kopittke et al., 2019).

Como alternativa, la agricultura de conservación (AC) reduce o elimina la labranza y mantiene una cobertura superficial de residuos de cosecha (Page et al., 2020). Este enfoque protege el suelo contra la erosión, mejora la capacidad de retención de humedad, incrementa la biodiversidad de la biota edáfica y fomenta un balance positivo de materia orgánica. Sin embargo, si bien el carbono orgánico del suelo (COS) es un indicador fundamental, su dinámica temporal es lenta, por lo que puede tardar años en evidenciar alteraciones derivadas de las prácticas de manejo (Parihar et al., 2018a).

Por esta razón, la evaluación del carbono lábil cobra una importancia crítica en los procesos de restauración. Al tratarse de la fracción más activa y descompuesta rápidamente por los microorganismos, el carbono lábil funciona como un indicador temprano y altamente sensible de la calidad del suelo (Chambers et al., 2024). Su análisis permite detectar cambios a corto plazo en la dinámica de la materia orgánica antes de que se observen variaciones en el carbono total, ofreciendo una herramienta indispensable para monitorear la efectividad de la agricultura de conservación.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de la agricultura de conservación frente a la labranza convencional sobre la labilidad del carbono, generando evidencia técnica precisa para orientar con éxito la transición hacia sistemas agrícolas más sostenibles.

Materiales y métodos

El trabajo de campo se desarrolló en una parcela colaborativa situada en el Ejido El Rosario, perteneciente al municipio de Villa de Reyes, San Luis Potosí, México. Dicha área cuenta con un antecedente de once años aplicando agricultura de conservación (AC) y, durante el ciclo de primavera-verano, se sembró maíz utilizando el genotipo Espartaco. La investigación comparó dos esquemas de manejo: por un lado, la agricultura de conservación (AC), que mantuvo la totalidad de los residuos de cosecha previos cubriendo el terreno; por el otro, la labranza convencional (LC), basada en la usanza local que incluye un barbecho y un rastreo posterior. Con el fin de conformar una muestra compuesta representativa para cada condición, se recolectaron al azar diez submuestras en la capa arable superficial, abarcando una profundidad de 0 a 10 cm.

Determinación de carbono. El carbono total (CT) se determinó empleando un analizador elemental (LECO). Por su parte, el carbono lábil se evaluó mediante la técnica de oxidación con permanganato de potasio establecida por Blair et al. (1995), midiendo la absorbancia de las muestras a una longitud de onda de 565 nm.

El Índice de Gestión de Carbono (CMI) se calculó de acuerdo con el enfoque de Blair et al. (1995), tomando como referencia un suelo conservado de tipo mezquital. Este índice se obtuvo a partir del producto del Índice de Reserva de Carbono (CPI) y el Índice de Labilidad (LI). La labilidad del carbono (L) se definió como la proporción entre la fracción de carbono oxidada por $KMnO_4$ y la porción restante no oxidada.

Análisis estadístico. Se realizó la verificación de la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk con un nivel de confianza del 95 % y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Aquellos datos que no cumplieron con el supuesto de normalidad fueron transformados utilizando log10. Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía con un nivel de confianza del 95 %, empleando para ello el software IBM SPSS Statistics v25®.

Resultados y discusión

De acuerdo con los resultados, existe un efecto significativo del tipo de labranza sobre el contenido de carbono lábil (F=261.495, p=<0.001), donde la agricultura de conservación mostró el mayor nivel a comparación de la labranza convencional (Figura 1) y el mezquital conservado fue el más alto.

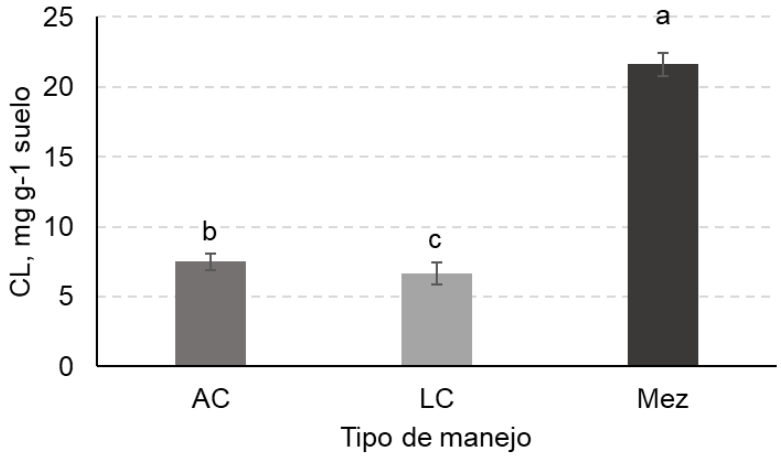


Figura 1. Fracción de carbono lábil de los suelos de estudio con diferente manejo: AC – agricultura de conservación; LT – labranza tradicional; Mez – mezquital conservado.

En cuanto a los índices de labilidad (3.992, p=0.007) y reserva de carbono (t=4.683, p=0.003), existió diferencia significativa entre los diferentes tipos de labranza (Figura 2).

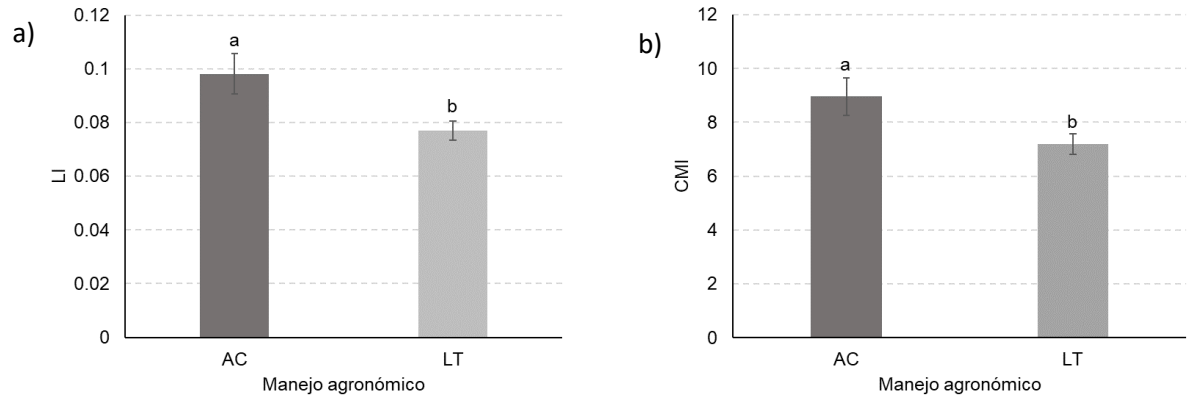


Figura 2. Efecto del tipo de labranza sobre el índice de gestión de carbono (IGC) y el índice de labilidad (LI) bajo agricultura de conservación (AC) y labranza tradicional (LT).

Los valores obtenidos para el LI reflejan diferencias claras entre los sistemas de manejo evaluados, donde el tratamiento bajo AC mostró un valor superior en el LI en comparación con la LT de barbecho más rastra (Figura 2a). Este comportamiento pudo estar relacionado con la ausencia de labranza mecánica y la persistencia de cobertura de residuos vegetales, lo que promueve la acumulación y preservación de las fracciones de carbono más activas o lábiles (Parihar et al., 2018b). Dado que estas fracciones lábiles actúan como la principal fuente de energía y nutrientes para la biomasa microbiana, su mayor presencia en la AC favorece la reactivación de los ciclos biogeoquímicos en el suelo (Parihar et al., 2018a). Por el contrario, la disminución del LI en la LT evidencia cómo el laboreo continuo y la destrucción de los agregados del suelo aceleran la aireación y la oxidación de la materia orgánica lábil, empobreciendo la calidad activa del carbono edáfico (Zhou et al., 2022) .

Esta tendencia continuó de manera integral con el Índice de Reserva de Carbono (CMI), el cual combina los cambios tanto en la cantidad de carbono total como en su labilidad en relación con el suelo nativo de referencia. El CMI fue marcadamente superior bajo AC frente a la LT (Figura 2b). Un CMI más elevado en la AC demostró la alta sensibilidad de este índice para reflejar mejoras en la salud del suelo, evidenciando que el sistema no solo mitiga la pérdida de carbono total, sino que optimiza su calidad y estabilidad relativa. Del mismo modo, (Topa et al., 2021) reportaron un incremento en el CMI bajo AC en comparación de la LT.

Así, en la parcela analizada de las zonas semiáridas de San Luis Potosí, donde los suelos se caracterizan por una fragilidad estructural intrínseca y bajos contenidos basales de materia orgánica, la labranza tradicional de barbecho y rastra generó un impacto altamente degradativo al romper los agregados del suelo y exponer el carbono protegido a la mineralización microbiana. En contraste, los resultados confirmaron que la adopción de la AC representa una estrategia fundamental de manejo agronómico para mitigar los procesos de degradación en ambientes semiáridos. Al amortiguar las fluctuaciones térmicas e hídricas y evitar la perturbación física constante, la AC favorece la recuperación paulatina de los compartimentos orgánicos del suelo, acercando de manera parcial las propiedades bioquímicas del agroecosistema a las condiciones de equilibrio que caracterizan al mezquital conservado adyacente.

Conclusiones

Los resultados demuestran que estos índices son herramientas analíticas altamente sensibles para monitorear la dinámica del carbono en suelos semiáridos de San Luis Potosí. Si bien el carbono orgánico total y el carbono lábil responden consistentemente a favor de la agricultura de conservación (AC), los índices derivados evidencian respuestas complejas y transitorias influenciadas por la heterogeneidad ambiental y la perturbación mecánica. Mientras que la labranza tradicional de barbecho y rastra compromete la estabilidad estructural de las reservas edáficas, la AC se confirma como una práctica agronómica fundamental para mitigar la degradación, amortiguar la fragilidad de estos ambientes semiáridos y orientar la recuperación gradual de los suelos hacia las condiciones funcionales del ecosistema nativo de referencia, aportando elementos técnicos sólidos para la adopción y transferencia exitosa de la tecnología a los productores de la región.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado con recursos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias a través de la Tecnología No. 1119228090 “Implementación de la Determinación de la Labilidad de Carbono como Indicador de la Calidad de Suelos Bajo Diferentes Sistemas de Labranza y Manejo de Residuos”.

Referencias

Blair, G. J., Lefroy, R. D., & Lisle, L. (1995). Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, *46*(7), 1459–1466. https://doi.org/10.1071/AR9951459

Chambers, L. G., Mirabito, A. J., Brew, S., Nitsch, C. K., Bhadha, J. H., Hurst, N. R., & Berkowitz, J. F. (2024). Evaluating permanganate oxidizable carbon (POXC)’s potential for differentiating carbon pools in wetland soils. *Ecological Indicators*, *167*, 112624. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112624

Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, *132*, 105078. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078

Lal, R. (2018). Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. *Global Change Biology*, *24*(8), 3285–3301. https://doi.org/10.1111/gcb.14054

Page, K. L., Dang, Y. P., & Dalal, R. C. (2020). The Ability of Conservation Agriculture to Conserve Soil Organic Carbon and the Subsequent Impact on Soil Physical, Chemical, and Biological Properties and Yield. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00031

Parihar, C. M., Jat, S. L., Singh, A. K., Datta, A., Parihar, M. D., Varghese, E., Bandyopadhyay, K. K., Nayak, H. S., Kuri, B. R., & Jat, M. L. (2018a). Changes in carbon pools and biological activities of a sandy loam soil under medium-term conservation agriculture and diversified cropping systems. *European Journal of Soil Science*, *69*(5), 902–912. https://doi.org/10.1111/ejss.12680

Parihar, C. M., Parihar, M. D., Sapkota, T. B., Nanwal, R. K., Singh, A. K., Jat, S. L., Nayak, H. S., Mahala, D. M., Singh, L. K., Kakraliya, S. K., Stirling, C. M., & Jat, M. L. (2018b). Long-term impact of conservation agriculture and diversified maize rotations on carbon pools and stocks, mineral nitrogen fractions and nitrous oxide fluxes in inceptisol of India. *Science of The Total Environment*, *640–641*, 1382–1392. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.405

Topa, D., Cara, I. G., & Jităreanu, G. (2021). Long term impact of different tillage systems on carbon pools and stocks, soil bulk density, aggregation and nutrients: A field meta-analysis. *CATENA*, *199*, 105102. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105102

Zhou, M., Xiao, Y., Zhang, X., Xiao, L., Ding, G., Cruse, R. M., & Liu, X. (2022). Fifteen years of conservation tillage increases soil aggregate stability by altering the contents and chemical composition of organic carbon fractions in Mollisols. *Land Degradation & Development*, *33*(15), 2932–2944. https://doi.org/10.1002/ldr.4365

CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DE BACTERIAS NATIVAS ASOCIADAS A SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FRIJOL EN ZONAS SEMIÁRIDAS

Aschly Kamila Saracho-Rodríguez[1], Erika Nava-Reyna[2*], María del Rosario Jacobo-Salcedo[3], Oscar Martín Antunez-Ocampo[4], Luis Angel González-Espíndola[1], Perla Belén Torres-Trujillo[1]

[1]Universidades para el Bienestar Benito Juárez García, Sede Francisco I. Madero, Francisco I. Madero, Coah., México; [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENID-RASPA, Gómez Palacio, Dgo., México; [3]INIFAP-CIRPAS, C.E. Iguala, Guerreo, México. *Autor por correspondencia: nava.erika@inifap.gob.mx

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) constituye uno de los cultivos de mayor importancia agrícola y alimentaria, particularmente en México. Sin embargo, su producción en zonas semiáridas enfrenta diferentes limitantes, como la baja disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo, lo que puede afectar el crecimiento y rendimiento del cultivo (Uebersax et al., 2023).

Para compensar la baja disponibilidad de nutrientes y favorecer el desarrollo de las plantas, la agricultura convencional ha recurrido ampliamente al uso de fertilizantes químicos, cuya aplicación excesiva o inadecuada puede generar efectos negativos sobre el ambiente (Gao et al., 2026). Por ello, actualmente existe un interés creciente en desarrollar alternativas que permitan mantener la productividad agrícola y, al mismo tiempo, disminuir los impactos asociados al uso intensivo de insumos químicos.

En este contexto, los microorganismos asociados a las raíces de las plantas, particularmente las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, representan una alternativa de interés. Estas bacterias pueden establecer relaciones benéficas con las plantas y contribuir a su crecimiento mediante diferentes mecanismos, como la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de nutrientes, la producción de fitohormonas y la generación de compuestos que favorecen el desarrollo radicular (Lugtenberg & Kamilova, 2009).

En el caso del frijol, la simbiosis con bacterias del grupo de los rizobios permite la formación de nódulos en las raíces. Las rizobacterias nativas adquieren especial importancia en zonas áridas y semiáridas, debido a que pueden presentar características de adaptación a las condiciones agrícolas locales, por lo que la identificación y caracterización de estas bacterias permite conocer sus capacidades funcionales, como la producción de amonio y la solubilización de fosfatos y sulfatos (Saikia et al., 2023), y determinar su potencial para ser utilizadas como herramientas biotecnológicas en la producción agrícola. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue aislar y caracterizar funcionalmente bacterias promotoras del crecimiento vegetal en suelos de sistemas de producción de frijol.

Materiales y métodos

Sitio de estudio y muestreo. Se recolectaron 10 submuestras de suelo en agroecosistemas de frijol ubicados en Guadalupe Victoria, Durango (24°26’55.6’’ N,103°56’32.6’’ O) para hacer una muestra compuesta de la parcela. Las muestras fueron tomadas a una profundidad de 0 a 20 cm, procurando obtener suelo representativo de la zona de estudio. Posteriormente, las muestras fueron trasladadas al laboratorio del INIFAP CENID-RASPA para su procesamiento microbiológico.

Aislamiento de bacterias heterotróficas. Para el aislamiento de bacterias heterotróficas se realizaron diluciones seriadas decimales del suelo, para el aislamiento de bacterias cultivables presentes. A partir de las placas con crecimiento bacteriano se seleccionaron colonias con características morfológicas diferentes. Estas fueron resembradas en agar nutritivo nuevo mediante estría cruzada para favorecer la obtención de cultivos puros. Los aislamientos se sometieron a resiembras sucesivas hasta observar características homogéneas de crecimiento.

Cuantificación de la producción de amonio. Se empleó un método colorimétrico utilizando el reactivo de Nessler, de acuerdo con la metodología descrita por Dutta et al. (2015). Las muestras se leyeron a una absorbancia a 425 nm y se cuantificó el amonio utilizando una curva de calibración preparada con sulfato de amonio.

Evaluación de la solubilización de fosfatos. Las cepas fueron inoculadas en agar NBRIP como medio específico para la detección de esta actividad, el cual contiene fosfato tricálcico como fuente insoluble de fósforo (Khan et al., 2022). Las placas fueron incubadas por 7 días a 28°C y, midiendo el halo de hidrólisis cada 24 h. La formación de un halo transparente alrededor de la colonia se consideró indicativa de actividad solubilizadora de fosfatos (Chen et al., 2006).

Análisis estadístico. Los datos se procesaron en el software IBM SPSS Statistics. Antes de realizar el ANOVA, se comprobó el cumplimiento de los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene) a un nivel de significancia de 0.05. Los datos que no cumplieron con los supuestos estadísticos se transformaron con Log_{10}. Posteriormente, se realizó la prueba de ANOVA de una cola y una prueba post hoc de Tukey**.**

Resultados y discusión

Los resultados mostraron diferencia significativa entre las cepas estudiadas en la producción de amonio (F=322.124, p=0.000), destacando las cepas INI-S1, INI-S2 e INI-S3. El rango del amonio producido por las 6 cepas fue de 0.2 a 0.6 µmol/ml. Estos valores coinciden con lo reportado por (Fahsi et al., 2021) para otras rizobacterias nativas de zonas áridas y semiáridas, el cual tuvo una actividad máxima de 0.33 µmol ml^{-1} en géneros como *Pseudomonas* y *Bacillus*. La síntesis de amonio representa un mecanismo de suministro indirecto de nitrógeno asimilable para el cultivo en suelos degradados donde las formas nítricas se lixivian o escasean(Kapadia et al., 2022). Mas aún, el amonio liberado en la rizosfera también ejerce funciones de antagonismo metabólico contra fitopatógenos del suelo (Shreshtha et al., 2025).

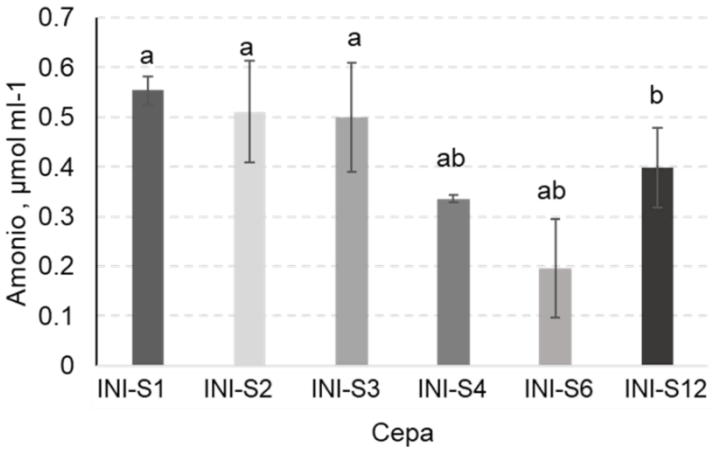


Figura 1. Cuantificación de la producción de amonio de 6 aislados bacterianos de suelos de sistemas de producción de frijol de temporal en zonas semiáridas de Durango, México.

Por otro lado, la solubilización de fosfato de los aislados bacterianos también presento diferencia estadística entre las cepas (F=322.124, p=0.000), donde las cepas INI-S4, INIS6 e INIS12 fueron las de mayor índice de solubilización (Figura 2), las cuales presentaron índices de solubilización superiores a 2.5, lo que refleja su alta capacidad a niveles incluso superiores a los reportados en otras investigaciones con cepas nativas de zonas áridas (Fahsi et al., 2021). Además, únicamente una fracción reducida de la microbiota nativa suele presentar halos claros de solubilización, donde del 20 al 23% de los aislamientos en zonas áridas presentan capacidad solubilizadora de fosfato tricálcico (Beshah et al., 2024; Zouitane et al., 2026). Esta actividad es particularmente importante en zonas áridas y semiáridas, donde el fósforo suele ser un nutriente limitante en el suelo, donde la principal vía fisiológica se relaciona con la secreción de ácidos orgánicos, incluidos el glucónico y cítrico, disminuyendo drásticamente el pH periférico que genera la quelación del calcio fijado (Ding et al., 2021).

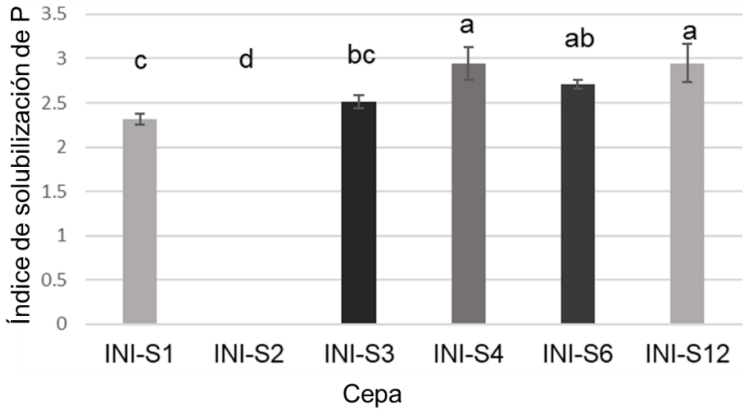


Figura 2. Índice de solubilización de fosfato de los aislados bacterianos de suelos de sistemas de producción de frijol de temporal en zonas semiáridas de Durango, México.

Conclusiones

Las cepas aisladas mostraron un potencial sobresaliente para la promoción del crecimiento vegetal mediante la mejora en la disponibilidad de nutrientes esenciales (nitrógeno y fósforo). Estas características respaldan su viabilidad como base para el desarrollo de biofertilizantes nativos orientados a optimizar la nodulación y la nutrición en cultivos de frijol de temporal en zonas áridas. No obstante, es necesario el estudio de su eficiencia en consorcio y pruebas de su actividad *in vivo*.

Agradecimientos

Esta investigación se financió por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, a través del proyecto “Diagnóstico Integral de Fertilidad y Salinidad de Suelos para la Producción Sustentable Agrícola en México”.

Referencias

Beshah, A., Muleta, D., Legese, G., & Assefa, F. (2024). Exploring stress-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria from groundnut rhizosphere soil in semi-arid regions of Ethiopia. *Plant Signaling & Behavior*, *19*(1). https://doi.org/10.1080/15592324.2024.2365574

Chen, Y. P., Rekha, P. D., Arun, A. B., Shen, F. T., Lai, W.-A., & Young, C. C. (2006). Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Applied Soil Ecology*, *34*(1), 33–41. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.12.002

Ding, Y., Yi, Z., Fang, Y., He, S., Li, Y., He, K., Zhao, H., & Jin, Y. (2021). Multi-Omics Reveal the Efficient Phosphate-Solubilizing Mechanism of Bacteria on Rocky Soil. *Frontiers in Microbiology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.761972

Dutta, J., Handique, P. J., & Thakur, D. (2015). Assessment of Culturable Tea Rhizobacteria Isolated from Tea Estates of Assam, India for Growth Promotion in Commercial Tea Cultivars. *Frontiers in Microbiology*, *6*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01252

Fahsi, N., Mahdi, I., Mesfioui, A., Biskri, L., & Allaoui, A. (2021). Phosphate solubilizing rhizobacteria isolated from jujube *ziziphus lotus* plant stimulate wheat germination rate and seedlings growth. *PeerJ*, *9*, e11583. https://doi.org/10.7717/peerj.11583

Gao, J., Liu, L., & Maraseni, T. N. (2026). Environmental Effects of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Fertilization in Agriculture: A Bibliometric Analysis and Literature Review. *Agriculture*, *16*(16), 1782. https://doi.org/10.3390/agriculture16161782

Kapadia, C., Patel, N., Rana, A., Vaidya, H., Alfarraj, S., Ansari, M. J., Gafur, A., Poczai, P., & Sayyed, R. Z. (2022). Evaluation of Plant Growth-Promoting and Salinity Ameliorating Potential of Halophilic Bacteria Isolated From Saline Soil. *Frontiers in Plant Science*, *13*. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.946217

Khan, M. S., Gao, J., Zhang, M., Xue, J., & Zhang, X. (2022). Pseudomonas aeruginosa Ld-08 isolated from Lilium davidii exhibits antifungal and growth-promoting properties. *PLOS ONE*, *17*(6), e0269640. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269640

Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, *63*(1), 541–556. https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918

Saikia, J., Kotoky, R., Debnath, R., Kumar, N., Gogoi, P., Yadav, A., & Saikia, R. (2023). *De novo* genomic analysis of *Enterobacter asburiae* EBRJ12, a plant growth-promoting rhizobacteria isolated from the rhizosphere of *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of Applied Microbiology*, *134*(2). https://doi.org/10.1093/jambio/lxac090

Shreshtha, K., Prakash, A., Pandey, P. K., Pal, A. K., Singh, J., Tripathi, P., Mitra, D., Jaiswal, D. K., Santos-Villalobos, S. de los, & Tripathi, V. (2025). Isolation and characterization of plant growth promoting rhizobacteria from cacti root under drought condition. *Current Research in Microbial Sciences*, *8*, 100319. https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100319

Uebersax, M. A., Cichy, K. A., Gomez, F. E., Porch, T. G., Heitholt, J., Osorno, J. M., Kamfwa, K., Snapp, S. S., & Bales, S. (2023). Dry beans (<scp> *Phaseolus vulgaris* </scp> L.) as a vital component of sustainable agriculture and food security—A review. *Legume Science*, *5*(1). https://doi.org/10.1002/leg3.155

Zouitane, I., Campana, D. C., Cesaro, P., Massa, N., Novello, G., Gamalero, E., Todeschini, V., Ferioun, M., Derraz, K., Koraichi, S. I., El Ghachtouli, N., & Lingua, G. (2026). Characterization of Multitrait Plant Growth-Promoting Rhizobacteria From *Opuntia ficus-indica* in Different Moroccan Climates. *MicrobiologyOpen*, *15*(3). https://doi.org/10.1002/mbo3.70334

INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS EN EL CULTIVO DE MELÓN

Jesús de Santiago Canizales*, Pablo Preciado Rangel, Rubén Guadalupe Rivera Gutiérrez, Lluvia Karina Rodríguez de la Torre.

[1]Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Torreón, Antigua Carretera Torreón - San Pedro, Km. 7.5, Ejido Ana, C.P. 27170, Torreón, Coahuila, México. * Autor de correspondencia: jesusdesanti@outlook.com

Introducción

Tradicionalmente el cultivo de melón ha estado confinado a las zonas áridas y semiáridas durante todo el año, también en zonas cálidas y húmedas durante la época seca. La planta de melón presenta mejor desarrollo en suelo ricos en materia orgánica, profundos, mullidos, bien drenados con buena aireación y pH entre 6 y 7. Además es moderadamente tolerante a salinidad, y muy sensibles a carencia de macro y microelementos (Escribano, 2010). Sin embargo, el laboreo del suelo y la fertilización química puede conducir al deterioro de la calidad del suelo al producir condiciones físicas desfavorables.

Por ello, las variables densidad aparente, fósforo, velocidad de infiltración, respiración Basal y pH fueron considerados como los índices más sensibles a los tipos de uso, debido a que reflejan cambios en el comportamiento del suelo en función de la intensidad de manejo de la tierra, permitiendo detectar los problemas de degradación (Rodríguez et al., 2009). El melón es un cultivo hortícola de importancia económica en México, particularmente en regiones áridas y semiáridas, su productividad depende de la interacción entre genética, clima, agua, nutrición y suelo.

Las características edáficas determinan las condiciones en que se desarrolla el sistema radicular y regulan la disponibilidad de agua y nutrimentos. Entre las propiedades más relevantes se encuentran textura, estructura, porosidad, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y disponibilidad de nutrimentos. (Preciado-Rangel et al. 2026).

Materiales y métodos

El experimento se estableció el 7 de abril del 2025 en las huertas de melón de Tlahualilo Durango N (26°06´23´´ latitud norte) W (103°26´34´´ longitud oeste ubicados en los predios denominados “Balcones 1 y 2”, “Las rosas 1 y 2” y “Oquendo”. Los tratamientos fueron completamente al azar entre los resultados de los análisis de suelo y físicos del cultivo del melón.

Durante la etapa de cosecha el 26 de junio del 2026 se recolectaron cinco frutos representativos de cada sitio. Posteriormente, las muestras fueron trasladadas para realizar las diferentes evaluaciones de calidad física.

En las características físicas se determinaron el peso del fruto, el diámetro polar, el diámetro ecuatorial, la firmeza de la cáscara y la firmeza de la pulpa. Estas variables permitieron conocer el tamaño, peso y resistencia del fruto, fenoles, flavonoides catalasa y vitamina c así como algunas características relacionadas con su calidad comercial.

En las características fisicoquímicas se determinaron los grados Brix, que permiten estimar el contenido de sólidos solubles y están relacionados principalmente con el grado de dulzor del melón.

Finalmente, se registró el rendimiento de cada sitio de producción, con la finalidad de relacionar la calidad del fruto con su productividad.

Los resultados obtenidos de todas las variables fueron organizados en una base de datos y posteriormente se realizó el análisis estadístico correspondiente para comparar los cinco sitios de estudio y determinar si existían diferencias entre ellos.

Resultados y discusión.

Los resultados obtenidos muestran que las características edáficas pueden estar relacionadas con la expresión de determinadas variables de calidad del melón. La relación negativa observada entre la CE y los °Brix es particularmente relevante, debido a que la salinidad del suelo puede modificar la disponibilidad de agua y nutrientes para la planta y por consecuencia, afectar procesos relacionados con el crecimiento y la acumulación de compuestos en el fruto.

La asociación positiva entre pH y diámetro ecuatorial indica que, en los sitios estudiados, las condiciones de reacción del suelo estuvieron relacionadas con el desarrollo del fruto. No obstante, un pH elevado no necesariamente implica una condición favorable para el cultivo, ya que valores alcalinos pueden modificar la disponibilidad de algunos micronutrientes. Por ello, esta relación debe interpretarse considerando conjuntamente las demás propiedades químicas del suelo.

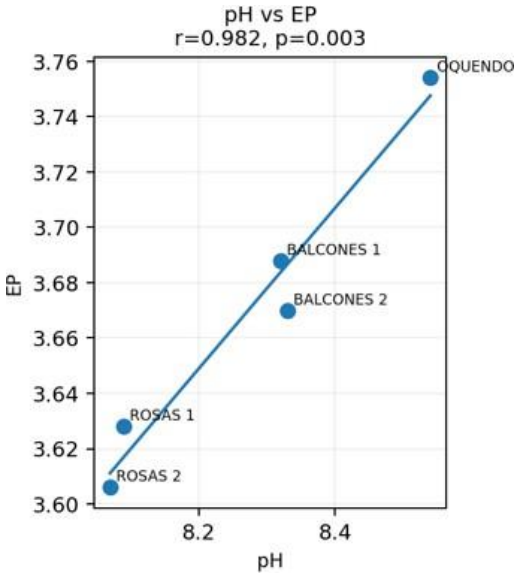


Figura 1. Se observó una correlación positiva y altamente significativa entre el pH y EP (r = 0.982; p = 0.003), indicando que el incremento del pH estuvo asociado con un aumento de EP entre los sitios evaluados.

La relación entre Mg/K y firmeza resulta de interés debido a la participación del potasio y el magnesio en procesos fisiológicos y metabólicos de la planta. El potasio desempeña funciones importantes en la regulación hídrica y en el transporte de foto asimilados, mientras que el magnesio forma parte de la molécula de clorofila y participa en procesos metabólicos. Por esta razón, el equilibrio entre estos elementos podría relacionarse con el desarrollo y las características físicas del fruto.

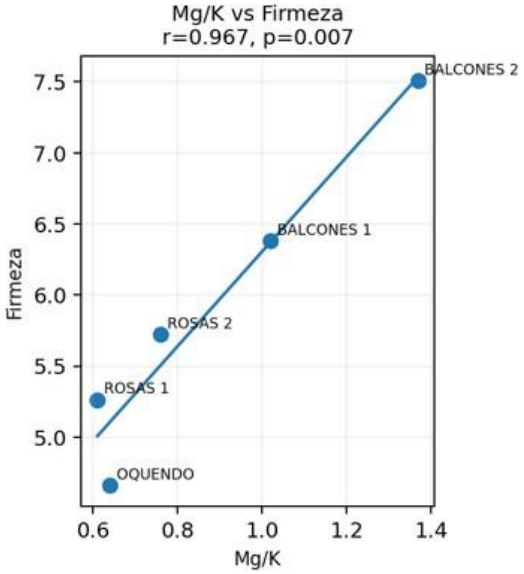


Figura 2. La relación Mg/K presentó una correlación positiva y significativa con la firmeza del fruto (r = 0.967; p = 0.007), mostrando que los sitios con mayor relación Mg/K tendieron a presentar frutos con mayor firmeza.

Conclusión

Los resultados obtenidos muestran que las características edáficas están asociadas con algunas variables de calidad del melón cultivado en los sitios evaluados de Tlahualilo, Durango. Las relaciones más destacadas se observaron entre la conductividad eléctrica y los °Brix, así como entre la relación Mg/K y la firmeza. Estos resultados indican que las condiciones químicas del suelo pueden estar relacionadas con la variación de algunas características físicas y químicas.

En particular, la conductividad eléctrica presentó asociaciones negativas con °Brix, mientras que la relación Mg/K y el manganeso mostraron asociaciones positivas con algunas variables de calidad. Por lo tanto, el conocimiento de las condiciones edáficas puede contribuir a comprender las diferencias en la calidad del melón producido en la región.

Referencias

Escribano Martín, S. (2010). Caracterización etnobotánica, agro-morfológica, sensorial, físico-química, nutricional y molecular de las variedades locales de melón de Villaconejos [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital UPM. https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.4748

García P., J. C., Rodríguez G., Z. F., Lugo G., J. G., & Rodríguez, V. (2009). Efecto del cultivar y distancia entre plantas sobre características fisicoquímicas del fruto del melón (Cucumis melo L.). Revista de la Facultad de Agronomía, 26(2), 141–158.

González-Salas, U., Gallegos-Robles, M. Á., Preciado-Rangel, P., García-Carrillo, M., Rodríguez-Hernández, M. G., García-Hernández, J. L., & Guzmán-Silos, T. L. (2021). Efecto de fuentes de nutrición orgánicas e inorgánicas mezcladas con biofertilizantes en la producción y calidad de frutos de melón. Terra Latinoamericana, 39, e904. https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.904

Preciado-Rangel, P., Gaucin-Delgado, J. M., Zuñiga-Estrada, L., Reyes-Gonzales, A., Buendía-García, A., Torres-Rodríguez, J. A., & Zapata-Sifuentes, G. (2026). Impact of soil characteristics on the nutraceutical composition of melon fruits. Terra Latinoamericana, 44, e2428. https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v44i.2428

Sánchez-Hernández, D. J., Fortis-Hernández, M., Esparza-Rivera, J. R., Rodríguez-Ortiz, J. C., de la Cruz-Lázaro, E., Sánchez-Chávez, E., & Preciado-Rangel, P. (2016). Use of vermicompost in the production of melon fruits and their nutraceutical quality. Interciencia, 41(3), 214–219.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES DEL CRECIMIENTO VEGETAL DE CEPAS AISLADAS DE *Salsola tragus* y *Setaria adhaerens* EN CONDICIONES ÁRIDAS

Martha Briones-Alvarado[1*], Erika Nava-Reyna [2], Judith A. Sánchez-Ledesma[1], María del Rosario Jacobo-Salcedo[2], Ruth de la Peña-Martínez[3], Alfonso Andrade-Sifuentes[1].

[1]Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Torreón. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera, [3]Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de la Laguna. *Autor de correspondencia: martha_briones17@outlook.com

Introducción

La agricultura enfrenta el reto de mantener la productividad ante el cambio climático, la degradación de los suelos y la disponibilidad limitada de agua. En este contexto, las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) representan una alternativa biotecnológica por su capacidad para favorecer la disponibilidad de nutrientes, producir fitohormonas y contribuir a la tolerancia de las plantas frente al estrés abiótico (Hernández et al., 2025; Yepes et al., 2023). La caracterización de estos microorganismos permite identificar atributos funcionales de interés para su aprovechamiento en sistemas agrícolas más sostenibles (Zapata-Gutiérrez, 2025). En este trabajo se evaluaron características funcionales asociadas a la promoción del crecimiento vegetal en aislamientos bacterianos, mediante la determinación de la producción de amonio, ácido indolacético (AIA), así como de la capacidad de solubilización de sulfatos y fosfatos, con el propósito de identificar su potencial funcional para aplicaciones biotecnológicas en agroecosistemas áridos.

Materiales y métodos

Sitio de estudio y material vegetal. Se recolectaron muestras de raíces de dos especies vegetales, *Salsola tragus* y *Setaria adhaerens*, establecidas en el Instituto Tecnológico de Torreón, Coahuila, México (25°36′44.22″ N, 103°22′23.68″ O). El sitio de muestreo se caracteriza por condiciones ambientales áridas, en las que las plantas seleccionadas persistieron bajo estrés salino e hídrico prolongado. Se seleccionaron plantas con crecimiento sano y establecido, y se recolectaron muestras del sistema radicular a una profundidad de 20 cm mediante procedimientos asépticos. Las muestras se transportaron al laboratorio para aislar bacterias asociadas a las raíces.

Aislamiento de bacterias asociadas a las raíces. Se aislaron rizobacterias asociadas a la ectorrizosfera y endorrizosfera a partir de muestras de raíces, siguiendo procedimientos asépticos. Se lavó 1 g de tejido radicular de cada muestra con etanol al 70 % y posteriormente se enjuagó con solución salina tamponada con fosfato (PBS) estéril a una concentración de 0.5×. Las raíces lavadas se maceraron asépticamente en 10 mL de PBS estéril (0.5×), utilizando un mortero y pistilo estériles, para obtener una suspensión bacteriana homogénea.

A partir de la suspensión se prepararon diluciones decimales seriadas y se sembraron alícuotas de 100 µL en placas con agar Luria-Bertani (LB). Las placas se incubaron a 30 °C durante 1–3 días. Posteriormente, se seleccionaron colonias con características morfológicas distintivas y se purificaron mediante siembras sucesivas por estría en medio LB. Los aislados purificados se conservaron en glicerol estéril al 30 % y se almacenaron a −80 °C para análisis posteriores.

Evaluación de atributos funcionales. Se evaluó la producción de amonio y ácido indolacético (AIA), así como la capacidad de solubilización de sulfatos y fosfatos de los aislados bacterianos.

Producción de amonio. Se determinó mediante el uso del reactivo de Nessler. El reactivo se adicionó a los tubos correspondientes a los aislados y sus repeticiones, incluyendo un blanco y un control negativo. La respuesta se evaluó mediante el cambio de coloración y posteriormente mediante espectrofotometría a 450 y 425 nm.

Producción de AIA. La producción de ácido indolacético se evaluó mediante un ensayo colorimétrico utilizando un reactivo preparado a partir de ácido perclórico y cloruro férrico. La respuesta se determinó mediante el cambio de coloración de las muestras.

Solubilización de fosfatos. Se utilizó medio NBRIP (National Botanical Research Institute's Phosphate Growth Medium), suplementado con fosfato tricálcico como fuente insoluble de fósforo. El medio se ajustó a pH 7.0 ± 0.2. Los aislados se inocularon con una suspensión bacteriana ajustada a 0.5 de la escala de McFarland y se incubaron a 28 °C durante siete días. La capacidad de solubilización se evaluó a partir de la respuesta observada alrededor del crecimiento bacteriano.

Solubilización de sulfatos. Se empleó medio Pikovskaya modificado, suplementado con fuentes de azufre y púrpura de bromocresol como indicador. El medio se ajustó a pH 7.0 ± 0.2. Los aislados se inocularon con 50 µL de una suspensión ajustada a 0.5 de la escala de McFarland y se incubaron a 28 °C durante siete días. La capacidad de solubilización se determinó mediante la respuesta de crecimiento y el cambio de coloración del medio.

Análisis estadístico. Los valores de producción de amonio, ácido indolacético (AIA), así como de solubilización de sulfatos y fosfatos, se analizaron utilizando el paquete vegan en R (Oksanen et al., 2015). Las diferencias entre los aislados bacterianos para las variables evaluadas se determinaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, seguido de la prueba de comparación múltiple de Tukey como análisis post hoc. La significancia estadística se estableció con un valor de $p < 0.05$. Las diferencias entre medias se representaron mediante letras, asignándose la misma letra a los grupos que no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

Resultados y discusión

Los aislados bacterianos presentaron las cuatro características de promoción de crecimiento vegetal evaluadas, incluidas la producción de amonio y ácido indolacético (AIA), así como la solubilización de sulfatos y fosfatos (Figura 1). Este comportamiento homogéneo sugiere la existencia de una redundancia funcional en la rizósfera de los suelos de zonas áridas de donde provienen las cepas (Ibarra, 2017). En ecosistemas áridos, las comunidades microbianas desarrollan respuestas metabólicas convergentes como estrategia de adaptación ante condiciones ambientales restrictivas (García Roldán et al., 2026). Al no existir una cepa que domine drásticamente sobre las demás, se descarta el riesgo de un antagonismo severo por exclusión competitiva en caso de aplicarlas en conjunto, lo que podría permitir la formulación de un consorcio microbiano multifuncional integrado por estas cepas nativas, garantizando una mayor resiliencia y estabilidad funcional en la rizósfera (Izquierdo García, 2017) frente al estres ambiental típico de las zonas áridas, superando las limitaciones de depender de un inoculante de cepa única.

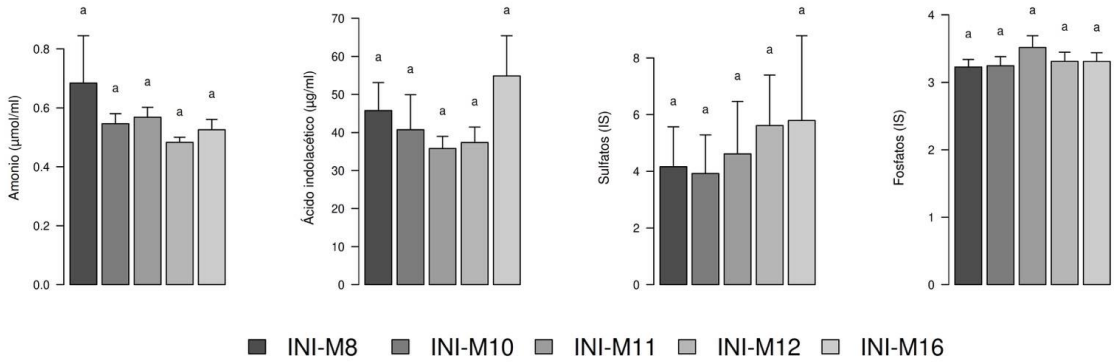


Figura 1. Producción de amonio, ácido indolacético, solubilización de sulfatos y fosfatos por los aislados bacterianos de la endo y exorrizósfera de Salsola tragus y Setaria adhaerens en el norte árido de México. Las barras de error representan la variabilidad de los datos. Las letras minúsculas indican los grupos estadísticos obtenidos mediante el análisis de comparación ($p < 0.05$); la misma letra indica ausencia de diferencias significativas entre los aislados.

La producción de amonio constituye un atributo funcional de interés debido a su relación con la disponibilidad de nitrógeno para las plantas. En rizobacterias asociadas con especies adaptadas a ambientes áridos, se ha documentado la presencia de funciones relacionadas con el mejoramiento de la disponibilidad de nutrientes, incluidas las actividades de bacterias fijadoras de nitrógeno (Lozano, 2022). De manera consistente con este contexto, García et al. (2026) reportaron producción de amonio en algunos de los aislados halotolerantes evaluados, además de fijación de nitrógeno atmosférico.

Asimismo, la producción de compuestos indólicos constituye un atributo asociado con la promoción del crecimiento vegetal. En bacterias aisladas de ambientes áridos, Wang et al. (2026) identificaron cepas productoras de AIA y observaron que algunas presentaron efectos específicos sobre variables de crecimiento de alfalfa. Asimismo, Castro-Villavicencio et al. (2026) reportaron producción de AIA en bacterias solubilizadoras de fósforo asociadas con la rizósfera de *Yucca schidigera*, con concentraciones de 26.79 a 57.07 µg/mL. Estos antecedentes respaldan la relevancia de evaluar la producción de AIA en bacterias nativas de ambientes áridos. Por otro lado, los sulfatos forman parte del suelo y constituyen una fuente de azufre presente en diversos sistemas naturales (Khalil Gardezi et al., 2025). La disponibilidad de azufre para las plantas depende de su transformación y movilización en el suelo, procesos en los que participan los microorganismos de la rizósfera. En este sentido, la movilización y transformación microbiana de compuestos azufrados pueden contribuir a la disponibilidad de azufre para las plantas y constituyen un atributo de interés para evaluar el potencial funcional de bacterias asociadas a la rizósfera (Gahan & Schmalenberger, 2014; Kertesz, 2004). De la misma forma, la solubilización bacteriana de fósforo es relevante porque puede favorecer la conversión de formas poco disponibles a formas aprovechables por las plantas. García et al. (2026) encontraron que todos los aislados halotolerantes estudiados solubilizaron fosfato de calcio, mientras que Castro-Villavicencio et al. (2026) observaron índices de solubilización superiores a 1.7 en bacterias nativas asociadas a la rizósfera de *Y. schidigera*. Estos resultados muestran que la solubilización de fosfatos es un atributo funcional presente en bacterias de ambientes con condiciones limitantes.

Conclusiones

Las cinco cepas bacterianas nativas de zonas áridas evaluadas presentan un perfil bioquímico homogéneo y sin diferencias estadísticas significativas en la producción de amonio, ácido indolacético y la solubilización de sulfatos y fosfatos. Este comportamiento denota una redundancia funcional característica de las comunidades microbianas adaptadas a ambientes áridos; sin embargo, al mantener niveles cuantitativos favorables y estables en todas las características evaluadas, las cepas demuestran una alta compatibilidad metabólica. Esto descarta riesgos severos de exclusión competitiva y respalda su potencial para ser integrados en un consorcio microbiano multifuncional, optimizando así su aplicación como biofertilizantes resilientes en la agricultura de zonas áridas. No obstante, es necesario realizar estudios de compatibilidad y de potenciación de las características promotoras del crecimiento vegetal en el consorcio previo a su evaluación in vivo.

Referencias

Castro-Villavicencio, A., Michel-Lopez, C., Camacho, O. T., Davila, J. G. J., Preciado, O. A. P., Mendoza, D. G. (2026). Identificación y caracterización de bacterias solubilizadoras de fósforo asociadas a la rizósfera de *Yucca schidigera*: BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO DE LA RIZÓSFERA DE *Yucca schidigera*. Biotecnia, 28, e2873-e2873.

de Mendiburu, F., Choy, A., Morales, R., Quiroz, R., Mauricio, D. (2026). rPAex: R Package for the Automatic Detection of Experimental Units in Precision Agriculture. R Journal, 18(2), 23.

García Roldán, A. (2026). Comunidades procariotas en ambientes hipersalinos: análisis metagenómico de su diversidad, funciones y estrategias de osmorregulación

García, M. O., Rocafull, Y. R., García, A. S., Zelaya-Molina, L. X., Díaz, I. F. C., García, M. C. N. (2026). Identification of halotolerant bacteria isolated from soils of the Ciénaga de Zapata, Cuba. Agronomía Mesoamericana, 37(1), 6.

Hernández, J. P., Palacios-Ortega, E. Balaguera-López, H. E. (2025). Bacterias promotoras de crecimiento vegetal como una herramienta para mitigar el estrés salino en cultivos: una revisión.

Ibarra, J. G. (2017). Estudios microbiológicos relacionados con el mejoramiento de cultivos vegetales en zonas desfavorables (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales).

Izquierdo García, L. F. (2019). Interacciones Microbianas en un Consorcio de *Trichoderma virens* y *Bacillus velezensis* con Actividad Biocontroladora en el Patosistema *Fusarium oxysporum* f. sp. physali-uchuva.

Khalil Gardezi, A., Inzunza Medina, L. M., Carrillo Castañeda, G., Ortega Escobar, H. M., Mancilla Villa, O. R., Rubiños Panta, J. E., Haro Aguilar, G. (2025). Evaluation of the responses of three tomato varieties (Solanum lycopersicum L.) inoculated with bacteria when grown under stress conditions due to wastewater and copper sulfate. Polibotánica, (60), 273-290.

Lozano Esmeralda, N. (2022). Effect on the variation of root exudates from Agave lechuguilla Torr. over the diversity and activity of nutrient-improvement rhizobacteria.

Oksanen, J. (2015). Vegan: community ecology package. R package version, 2, 3. Nunes, J. F., da Silva, M. S., de Oliveira, N. F., de Souza, C. R., Arcenio, F. S., de Lima, B. A., Zonta, E. (2025). Plant Growth-Promoting Bacteria from Tropical Soils: In Vitro Assessment of Functional Traits. Microorganisms, 13(10), 2321.

Wang, X., Luo, L., Li, J., Zhang, Z., Ren, R., Wu, H., Xu, W. (2026). Isolation and Identification of IAA-Producing Rhizobacteria from Alfalfa and Their Strain-Specific Growth-Promoting Effects in Arid Regions. Agriculture, 16(8), 884.

Zapata Gutiérrez, C. A. (2025). Caracterización de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) para la inoculación de plantines de avellano chileno (*Gevuina avellana* mol.) micropropagados (Doctoral dissertation, Universidad de Concepción).

MICROTUNELES PARA LA PRODUCCIÓN DE CHILE (*Capsicum annuum* L.) EN FECHA TEMPRANA EN LA REGIÓN LAGUNERA

Yasmin Ileana Chew Madinaveitia[1*], Arturo Gaytán Mascorro[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna. Blvd. José Santos Valdez 1200 Pte. Col. Centro. C.P. 27440. Matamoros, Coah. [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Departamento de Fitomejoramiento, Torreón, Coah. *Autor de correspondencia: chew.yazmin@inifap.gob.mx

Introducción

En la Región Lagunera, la superficie dedicada a la producción de chile (*Capsicum annum* L.) es de 795 hectáreas; es la tercera hortaliza en cuanto a superficie, después de melón y de sandía (SIAP, 2025). En esta región, el establecimiento del cultivo del chile es en los meses de marzo y abril para cosechar a partir del mes de junio. En este periodo se tiene competencia con los estados de Chihuahua, Zacatecas y San Luis Potosí, que inician sus cosechas en junio-julio, lo que afecta el precio del fruto. La estrategia para que el cultivo sea redituable en esta región, es cosechar en un período en donde no se concentren las cosechas de los principales estados productores de chile; ocurriendo esto durante los meses de abril y mayo (Chew et al., 2024). En el ciclo otoño-invierno (O-I), las plantaciones de chile son en los meses de octubre a diciembre y la cosecha es a partir del mes de enero y hasta el mes de julio; en este ciclo destacan los estados de Sonora y Sinaloa (SIAP, 2025). En el ciclo primavera-verano (P-V), se establece la mayor superficie de chile verde y chile para secado, principalmente en los estados de Chihuahua, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato. Las plantaciones en este ciclo son de abril a julio y la cosecha de junio a diciembre (SIAP, 2024; SIAP, 2025). La diferencia entre poder dedicarse o no, a la producción de chile fuera de temporada en la Región Lagunera, se fundamenta en el uso de microtuneles de polipropileno (agribón), tecnología de éxito generada por INIFAP para producir hortalizas fuera de temporada en fecha temprana. Esta tecnología, dentro de los sistemas de protección temporal en agricultura protegida es una de las de menor inversión y es rentable en otros cultivos, ya que el material se puede utilizar en varios ciclos de producción, amortizando el costo de esta tecnología. La utilidad del uso de microtuneles en la Región Lagunera ha sido consignado en los cultivos de melón y de sandía (Gaytán et al., 2012; Gaytán et al., 2015; Chew et al., 2018), los cuales indican que protegen a los cultivos de condiciones de bajas temperaturas (heladas), viento, roedores que se alimentan de las semillas, y actúan también, como barrera contra insectos y evitan problemas de virosis. En el cultivo de melón, el uso de micortuneles de polipropileno ha incrementado su productividad y rentabilidad (Gaytán et al., 2020). En base a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue comparar el sistema de producción con uso de microtuneles de polipropileno para producir fuera de temporada en fecha temprana con el sistema de producción tradicional de chile, bajo las condiciones de la Región Lagunera.

Materiales y métodos

Se dio seguimiento a plantaciones de chile jalapeño (híbrido Mixteco) con el sistema de producción con microtuneles, establecidas en fechas tempranas en una localidad del municipio de Gómez Palacio, Durango (trasplante diciembre 2025) y otra en el municipio de Lerdo, Durango (trasplante enero 2026). En el sistema de producción tradicional (sin uso de microtúneles), el establecimiento del cultivo fue en el mes de marzo de 2026 en una localidad del municipio de Lerdo, Durango. Los datos registrados en ambos sistemas de producción fueron: días después del trasplante (ddt) del retiro de microtúneles, ddt a primera cosecha y producción. El manejo del cultivo fue de acuerdo a los productores. En las huertas con microtuneles se utilizó el sistema de fertirriego (cintilla). En la huerta con el sistema tradicional, el riego fue por gravedad.

Resultados y discusión

La huerta de chile que se estableció en diciembre 2025, los microtuneles fueron retirados a los 93 días después del trasplante (ddt); y la huerta que se estableció en enero de 2026, a los 75 ddt. La huerta con el sistema tradicional (sin microtunel) se trasplantó el 25 de marzo de 2026.

El periodo desde el establecimiento hasta inicio de cosecha en el sistema con microtuneles fue 107-108 días y en el sistema tradicional fue de 69 días. En el periodo entre el inicio de cosecha con la tecnología de microtuneles (primera quincena de abril) y el del inicio de cosecha con la siembra testigo (primera semana de junio) se acumuló el 71.5 % del total de la cosecha, a un precio promedio de $26.6 kg. En el sistema tradicional, la primera cosecha representó el 21.4 % a un precio de $14.0 kg (Figura 1).

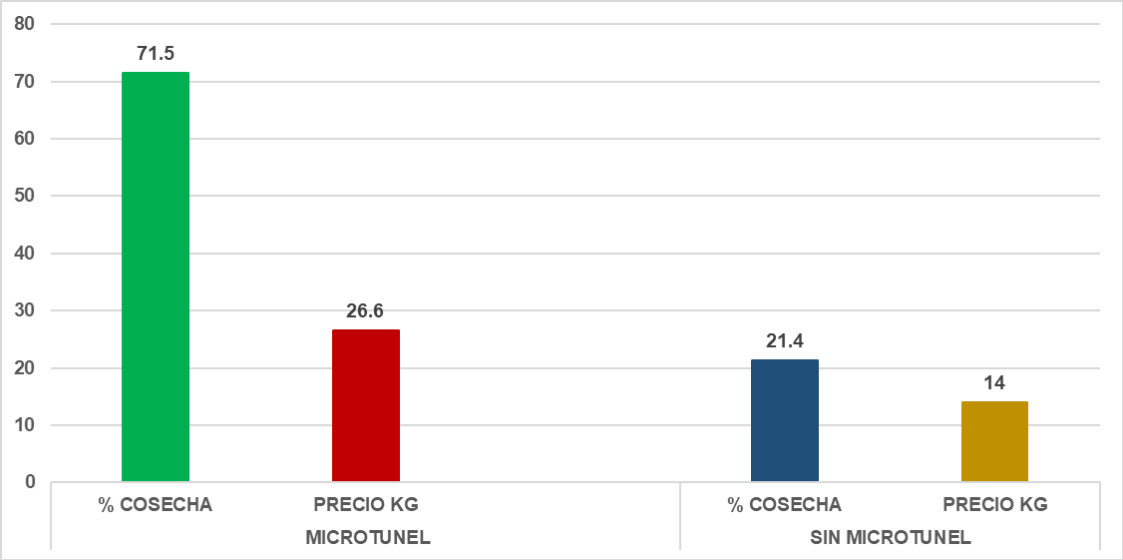


Figura 1. Porcentaje de cosechas acumuladas y precio promedio del chile en el periodo de inicio de cosecha entre la tecnología de microtuneles establecidas en diciembre 2025-enero 2026 e inicio de cosecha en el sistema tradicional, sin microtuneles establecida en marzo de 2026 en la Región Lagunera.

La tecnología de los microtuneles ofrece la ventaja de cosechar un porcentaje importante de los frutos en abril-mayo, periodo donde los principales productores de chile en el país, aún no inician sus cosechas, por lo que se tienen precios competitivos (Chew et al., 2024; Chew et al., 2025). Los productores de la región continúan cosechando hasta julio-agosto, dependiendo de la oferta y demanda del producto y precios del mercado.

Con estos resultados, se confirma que la tecnología de los microtuneles, es una opción rentable para la producción de chile en la Región Lagunera, ya que es factible adelantar su establecimiento y la cosecha.

La tecnología de microtuneles incluye el polipropileno (agribón), alambre, mano de obra para instalar y retirar los microtúneles, tiene un costo inicial de $35,000 - $40,000.00 por hectárea. Sin embargo, el agribón se recicla varios años y el alambre indefinidamente, lo que se reduce el costo por implementar la tecnología en los ciclos subsecuentes. Además, la inversión se amortiza por el precio del fruto en fecha temprana.

Conclusiones

Con la tecnología de los microtúneles, es factible ampliar la fecha de establecimiento del cultivo de chile a partir de diciembre y enero, para iniciar la cosecha a partir del mes de abril, aprovechando una ventana en el mercado de menor competencia y mejor precio. Con la tecnología, se ha logrado que el cultivo de chile sea rentable en la Región Lagunera.

Referencias

Chew-Madinaveitia, Y.I., Gaytán-Mascorro, A., Retana-López, F., Espinoza-Arellano, J.J., & Velásquez-Valle, R. 2024. Microtuneles en chile para producir fuera de temporada en fecha temprana en la Comarca Lagunera. Brazilian Journal of Animal and Environmental Reserach, Curitiba 7(3):1-12

Chew-Madinaveitia, Y.I., Gaytán-Mascorro, A., Samaniego-Gaxiola, J.A., & Reta-Sánchez, D.G. (2018). Uso de microtuneles de agribón en fechas de siembra tardías de melón para el manejo del virus del amarillamiento y achaparramiento de las cucurbitáceas en la Comarca Lagunera. Desplegable para Productores Núm. 33. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coah.

Gaytán-Mascorro, A., Chew-Madinaveitia, Y.I., Espinoza-Arellano, J.J., Reta-Sánchez, D.G. & Reyes-Juárez, I. (2012). Efecto del injerto y uso de microtúneles más ambiente natural en el rendimiento de sandía en la Región Lagunera. Agrofaz 12(4):73-78.

Gaytán-Mascorro, A., Chew-Madinaveitia, Y.I., Espinoza-Arellano, J.J., Reta-Sánchez, D.G., Samaniego-Gaxiola, J.A., & Martínez-Agüero, H. (2020). Use of micro tunnels to produce cantaloupe melon out of season in the comarca lagunera region, northern Mexico. Horticult Int J. 4(4):122–123.

Gaytán-Mascorro, A., Chew-Madinaveitia, Y.I., Reta-Sánchez, D.G., & Espinoza-Arellano, J.J. (2015). Microtúneles para producción de melón y sandía fuera de temporada en la Comarca Lagunera. Desplegable para productores Núm. 19. INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2024). Producción mensual agrícola. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/. Acceso 14 de septiembre de 2026.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2025). Producción mensual agrícola. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/. Acceso 14 de septiembre de 2026.

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR CINTILLA Y SU RELACIÓN CON LA HUMEDAD DEL SUELO Y LA ALTURA DE PLANTAS DE FRIJOL

Saúl Santana-Espinoza[1,4], Nuria Aidé López-Hernández[2*], Selene Yuridia Márquez Guerrero[3], Pablo Preciado-Rangel[3], Raúl Eduardo Lugo Palacios[4], Jorge Alonso Maldonado Jaquez[1], Rigoberto Rosales Serna[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna Blvd. José Santos Valdés 1200 Pte. C.P. 27440, Matamoros, Coahuila. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango. [3]Tecnologico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Torreón. Carr. Torreón - San Pedro km 7.5. Ejido Ana. Torreón, Coah., México. C. P. 27170. [4]Programa de Posgrado de Doctorado en Ciencias en Agua y Suelo, Instituto Tecnológico de Torreón. Carr. Torreón - San Pedro km 7.5. Ejido Ana. Torreón, Coah., México. C. P. 27170. *Autor para correspondencia: lopez.nuria@inifap.gob.mx

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo básico en México y, en zonas semiáridas, su producción depende en gran medida del riego, por lo que el uso eficiente del agua es prioritario (Rosales-Serna et al., 2021). El riego por cintilla aplica el agua de forma localizada, pero su desempeño depende de la uniformidad con que los emisores distribuyen el gasto. Esta uniformidad puede verse afectada por diferencias de presión, pérdidas de carga, variaciones de fabricación y condiciones de instalación (Sahu et al., 2020). Una aplicación poco uniforme genera diferencias espaciales de humedad en el suelo que, en principio, podrían reflejarse en el crecimiento del cultivo. Sin embargo, en campo esta relación no siempre es clara, pues intervienen el tipo de suelo, la variedad y el momento de medición. En este contexto el objetivo de la presente investigación fue evaluar la uniformidad de aplicación de un sistema de riego por cintilla y explorar su relación con la humedad del suelo y la altura de plantas de frijol establecidas dentro de una misma sección de riego.

Materiales y métodos

Sitio y establecimiento del experimento. El experimento se estableció en el ciclo agrícola verano 2026 en un predio agrícola de Cuencamé, Durango (24° 49' 12" N, 103° 44' 30" O). La región presenta clima semiseco templado con lluvias en verano, precipitación anual de 200 - 600 mm y temperatura media anual de 12 - 22 °C (INEGI, 2010). El área experimental fue de 20 surcos de 40 m de longitud, con una separación de 0.65 m entre surcos, lo que correspondió a una superficie experimental aproximada de 520 m². Se evaluaron 10 variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), mediante un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, para un total de 40 unidades experimentales. La siembra se realizó el 21 de agosto de 2026.

El cultivo se estableció bajo condiciones de riego mediante un sistema de riego por cintilla, utilizando cintilla de polietileno de 16 mm de diámetro, con emisores espaciados cada 20 cm, marca Irritec® (México). El riego se aplicó durante todo el ciclo del cultivo con una frecuencia de cada tres días, con una duración de tres horas por evento de riego. La aplicación del agua se mantuvo de manera uniforme en el área experimental, con el propósito de proporcionar condiciones adecuadas de humedad para el desarrollo óptimo del cultivo de frijol.

Evaluación hidráulica. Para evaluar la variabilidad espacial del desempeño hidráulico se seleccionaron cuatro laterales de cintilla (surcos 3, 7, 15 y 20), ubicadas en posiciones progresivamente más alejadas del punto de distribución del agua; el surco 3 fue el más cercano al inicio de la sección y el 20 el más alejado.

En cada lateral se determinó el gasto de los emisores en cuatro posiciones a lo largo de su longitud: al inicio, a un tercio, a dos tercios y al final distancias relativas de 0, 0.33, 0.67 y 1.00), lo que dio 16 puntos de emisión. En cada punto se recolectó con una probeta graduada el volumen de agua por emisor durante 2 minutos para calcular su gasto (L h^{-1}). En cada punto se recolectó el agua de un emisor durante 2 min con una probeta graduada P-9004 (resolución de 1 mL) y se calculó el gasto (L h^{-1}). Simultáneamente se registró la presión a la entrada de cada lateral con un manómetro (ALTAMIRA Manómetro de Glicerina Altamira 0-100 psi Conexión inferior 1/4"). Las mediciones se realizaron con el sistema en operación estable. La uniformidad se evaluó con el coeficiente de uniformidad de Christiansen (1942), según lo expresan Okasha et al. (2022):

$$CU = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} |q_i - \bar{q}|}{\bar{q}\, n}\right] x100 \quad (1)$$

Donde: CU es el coeficiente de uniformidad de Christiansen (%); n es el número de emisores evaluados; q_i es el gasto de cada emisor (L h^{-1}) y $\bar{q}$ es el gasto promedio (L h^{-1}). El CU se calculó por lateral (n = 4) y de forma global (n = 16).

Humedad del suelo y altura. La humedad volumétrica del suelo se determinó mediante un sensor TDR (Campbell Scientific TDR100), a 20 cm de profundidad y a 15 cm de distancia del gotero. La altura de la planta se obtuvo mediante una cinta métrica. La variabilidad de la humedad del suelo y de la altura de planta se describió mediante estadísticos de tendencia central y dispersión. Para explorar la asociación entre el gasto, la humedad del suelo y la altura de planta se calculó el coeficiente de correlación de Spearman (ρ), elegido por el tamaño reducido de muestra. Los análisis se realizaron en R versión 4.5.1 (R Core Team) mediante RStudio.

Resultados y discusión

Desempeño hidráulico. El desempeño hidráulico presentó variación entre las laterales evaluadas (Cuadro 1). Considerando conjuntamente los 16 emisores evaluados, el CU fue de 85.7 %. La distribución del gasto a lo largo de las laterales mostró una disminución hacia posiciones más alejadas del inicio en las laterales 1, 2 y 3, mientras que la lateral 4 presentó los mayores gastos en las posiciones intermedias. Estos resultados evidencian una variabilidad espacial del gasto entre laterales y dentro de ellas.

Cuadro 1. Características hidráulicas y respuesta del suelo y cultivo.

Lateral	Surco	Presión (psi)	Gasto promedio Q (L h^{-1})	Coeficiente de Uniformidad CU (%)	TDR promedio (%)	Altura promedio de planta (cm)
1	3	8	0.840	91.1	25.1	16.1
2	7	10	0.743	86.9	26.4	10.6
3	15	10	0.953	95.7	30.2	17.5
4	20	10	1.088	96.6	41.3	10.3

La variabilidad espacial observada en el contenido de humedad del suelo no se correspondió directamente con la respuesta en altura de las plantas. Aunque la lateral 4 presentó simultáneamente los mayores valores de gasto de los emisores y humedad del suelo, la mayor altura se registró en la lateral 3. Este comportamiento sugiere que la respuesta del cultivo no estuvo determinada exclusivamente por la cantidad de agua suministrada, sino posiblemente por la variedad y otras condiciones edáficas que pueden modificar la disponibilidad efectiva de agua para las plantas.

Asimismo, debido a que las mediciones de TDR representan el contenido de humedad en puntos específicos y momentos determinados, sus valores no necesariamente reflejan de manera directa el agua efectivamente extraída por las raíces durante el periodo de crecimiento.

El gasto del emisor presentó una distribución espacial heterogénea entre laterales (Figura 1). Las laterales 1 y 2 registraron las mayores reducciones hacia los dos tercios de su longitud (≈25–27 % respecto al inicio), seguidas de una recuperación parcial en el extremo final. La lateral 3 mostró una variación más moderada, mientras que la lateral 4 mantuvo los mayores gastos y una variación relativamente menor a lo largo de la línea.

La ausencia de un patrón longitudinal uniforme entre laterales sugiere que la distribución del gasto estuvo determinada por la interacción entre la posición a lo largo de la lateral y las condiciones hidráulicas particulares de cada línea, incluyendo posibles variaciones en la presión de operación, las pérdidas de carga y las condiciones de instalación.

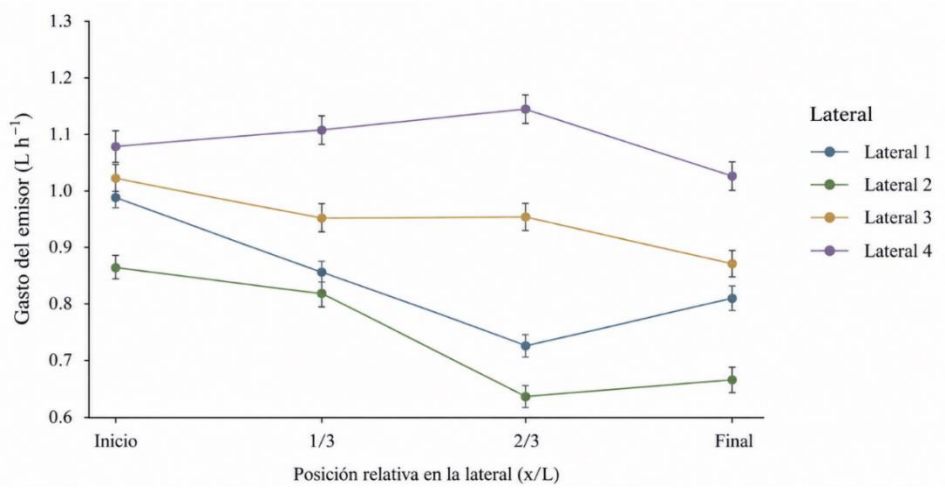


Figura 1. Variación del gasto del emisor a lo largo de las cuatro laterales.

Humedad del suelo y altura de planta. El gasto del gotero mostró una asociación positiva con la humedad del suelo, aunque no significativa (ρ = 0.46, p = 0.071; Figura 2a).

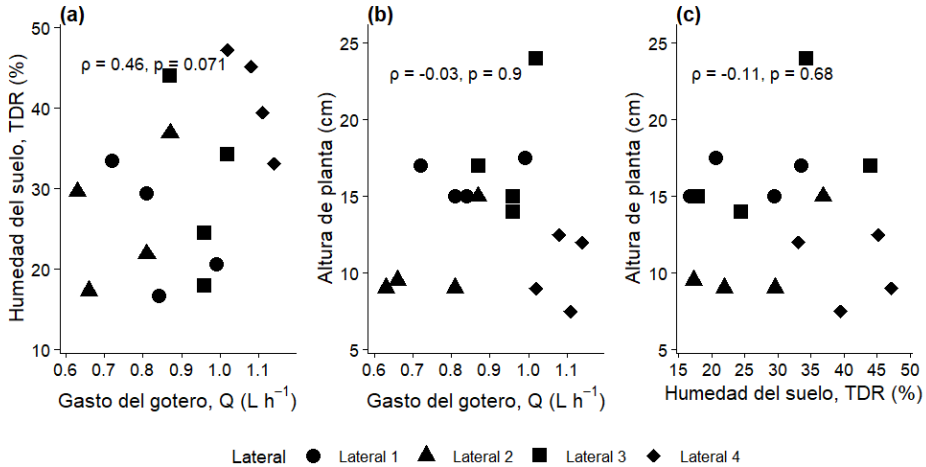


Figura 2. Relación entre (a) el gasto del gotero y la humedad del suelo (TDR), (b) el gasto del gotero y la altura de planta, y (c) la humedad del suelo y la altura de planta, en cuatro laterales de cintilla (n = 16). Se indica el coeficiente de correlación (ρ) y su valor de p**.**

La lateral 4 presentó los mayores valores de gasto y de humedad (41.3 %). La altura de planta no se relacionó con el gasto del gotero ($\rho = -0.03$, $p = 0.9$; Figura 2b) ni con la humedad del suelo ($\rho = -0.11$, $p = 0.68$; Figura 2c), y sus valores se agruparon principalmente por lateral, con las plantas más bajas en las laterales 2 y 4 (10.6 y 10.3 cm) y las más altas en las laterales 1 y 3 (16.1 y 17.5 cm). Estos resultados pueden deberse a que la respuesta del cultivo no dependió solo de la cantidad de agua aplicada, lo que sugiere que pudo influir la variedad, ya que cada lateral tenía variedades distintas. También pudo influir un exceso de humedad que redujera la aireación del suelo.

Conclusiones

El sistema de riego por cintilla presentó una uniformidad moderada (CU global de 85.7 %), con variación en el gasto entre laterales y dentro de ellas, sin una disminución consistente con la distancia al punto de distribución. El gasto mostró una tendencia positiva, no significativa, con la humedad del suelo ($\rho = 0.46$, $p = 0.071$), y no se relacionó con la altura de planta. La altura se agrupó por lateral y no por humedad, posiblemente por diferencias varietales, por lo que se requieren diseños que separen la variedad de la posición hidráulica para evaluar su efecto sobre el cultivo.

Referencias

Christiansen, J. E. (1942). Irrigation by sprinkling. *California Agricultural Experiment Station Bulletin, 670*, 1–124.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010: Cuencamé, Durango*. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/10/10004.pdf. Último acceso 19 septiembre 2026.

Okasha, A. M., Deraz, N., Elmetwalli, A. H., Elsayed, S., Falah, M. W., Farooque, A. A., & Yaseen, Z. M. (2022). Effects of Irrigation Method and Water Flow Rate on Irrigation Performance, Soil Salinity, Yield, and Water Productivity of Cauliflower. *Agriculture, 12*(8), 1164. https://doi.org/10.3390/agriculture12081164

Rosales-Serna, R., Nava-Berumen, C. A., Acosta-Gallegos, J. A., & Trejo-Calzada, R. (2021). Fenología y productividad del agua en variedades mejoradas de frijol pinto cultivadas en Durango, México. *Agrociencia, 55*(4), 511–526. https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i4.2514

Sahu, R., Sinha, J., Sahu, K., & Sahu, R. K. (2020). Hydraulic performance of drip system of irrigation as influenced by different operating pressures. *Journal of Soil and Water Conservation, 19*(3), 263–268.

EFECTO DE LA ZEOLITA EN EL CONTENIDO RELATIVO DE AGUA E ÍNDICE DE CLOROFILA EN TRES MORFOTIPOS DE NOPAL FORRAJERO (*Opuntia* spp) BAJO RIEGO LIMITADO

Claudia González-Nieves[1], Aurelio Pedroza-Sandoval[2*], Fabián González-García[2]

[1]Estudiante de Doctorado en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente de Zonas Áridas de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, UACh.[2] Profesor investigador de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, Km. 40 Carretera Gómez Palacio - Chihuahua, Bermejillo, Dgo. CP. 35230. Bermejillo, Durango. *Autor de correspondencia*:* apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Las zonas áridas de México cubren más del 50% del territorio nacional y presentan diferentes grados de aridez causados por la baja precipitación, temperatura extremas y alta evapotranspiración. La sequía provocada por la precipitación deficiente hace necesario profundizar la búsqueda de estrategias para mitigar el estrés hídrico en los cultivos que permitan una sostenibilidad de la producción agroalimentaria (Pedroza-Sandoval et al., 2018). México es el principal productor de nopal en el mundo con una aportación productiva del 36%. Tiene la mayor biodiversidad con 54 géneros y 150 especies originarias del país (Gaona et al., 2024) con una superficie cosechada de 12,365 hectáreas de nopal y una producción de 872,000.00 Mg (SIAP, 2023). El uso de enmiendas al suelo como los retenedores de humedad y aportadores de nutrientes en cultivos tolerantes al déficit hídrico, está tomando auge para mitigar el impacto negativo de las sequías. La zeolita es un compuesto natural a base aluminosilicatos, con nutrimentos esenciales como el Al y el Si que, aunado a su propiedad de retención de humedad edáfica, puede ser una alternativa a la producción de nopal en regiones de ganadería extensiva e intensiva en las zonas áridas y semiáridas del norte de México. La Comarca Lagunera de los Estados de Coahuila y Durango, México, es una de las principales zonas agrícolas y ganaderas del país, donde la escasez del agua y la calidad de ésta son el principal problema para la producción de cultivos forrajeros (Pedroza-Parga et al., 2022). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la zeolita en el contenido hídrico de la planta y el índice de clorofila en tres morfotipos de nopal (*Opuntia spp*) bajo condiciones de riego limitado.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el campo experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACh) en Bermejillo, Mapimí, Durango, México. La región se ubica a 101° 41’ y 104° 61’ LO y 24° 22’ y 26° 23’ LN a una altitud de 1,100 m. El área presenta un clima seco desértico, con lluvias en verano e invierno fresco, precipitación pluvial anual es de 258 mm y la evaporación potencial media anual de 2,000 mm. La temperatura media anual es de 21 °C con máxima de 33,7 °C y mínima de 7,5 °C (Medina, 2005). Diseño experimental y de tratamientos.

El diseño experimental utilizado fue en bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Las parcelas grandes fueron las dosis de zeolita aplicadas al suelo: sin aplicar zeolita (T), 10 ton $ha^{-1;}$ y, 20 ton ha^{-1}. Las parcelas chicas fueron los morfotipos de nopal identificados como: C-CH, C-NA y C-HE. Cada unidad experimental fue de 4 hileras de 8 m de longitud, dispuestas en hileras dobles con una separación de 0.75 m entre hileras y 50 cm entre plantas dentro de cada hilera, lo que resulta en una densidad de población de 6.667 plantas ha^{-1}.

Las dos hileras centrales fue la parcela útil, a partir de la cual se seleccionaron al azar tres plantas por tratamiento para realizar las mediciones de las variables, las cuales fueron: el contenido relativo de agua (CRA) (%), la cual se midió de acuerdo con la metodología reportada por Kramer (1983) mediante la ecuación:

$$CRA = \frac{(Peso\ fresco - Peso\ seco)}{(Peso\ turgente - Peso\ seco)}\ x\ 100$$

Donde: CRA es el contenido relativo de agua en %; el índice relativo de clorofila (IRC) se midió con un determinador de clorofila Fieldscout CM 1000 meter (Model 29950, Brand SpectrumTechnologies Inc., Aurora, IL 60504, USA) con base a la metodología de Da Lima et al. (2014). Se realizó un análisis de varianza y la prueba de rangos múltiples de medias de Tukey para identificar el efecto del tratamiento, utilizando SAS versión 9.0.

Resultados y discusión

Contenido relativo de agua (CRA). Los resultados muestran que la aplicación de zeolita tiene un efecto significativo en las colectas de nopal evaluadas, con un aumento significativo ($p < 0.05$) al aplicar 10 y 20 ton ha^{-1} en el morfotipo de nopal C-NA con valores de 73.5% y 77.8%, respectivamente; mientras que C.-CH mostró el valor más bajo con un 52.37%, al no aplicar zeolita, lo cual confirma un efecto de interacción dependiendo del tipo de material genético de nopal y la dosis de zeolita utilizada. Estos resultados son similares a los reportados por Bacarrillo-López et al., (2021) donde en condiciones favorables de humedad las colectas de nopal C-NA y C-HE fueron los de mejor respuesta en CRA con contenidos de 78.1 y 63%, respectivamente (Figura 1).

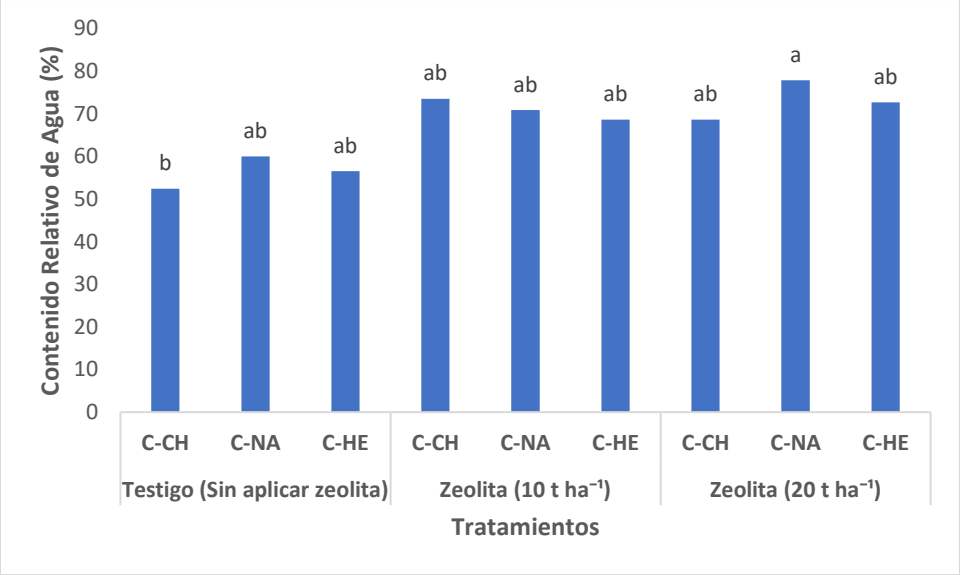


Figura 1. Contenido relativo de agua en tres morfotipos de nopal (*Opuntia spp*.) bajo diferentes contenidos de zeolita aplicada al suelo. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras en las barras no presentan diferencias estadísticas significativas.

El índice relativo de clorofila (IRC), fue más o menos estable en los diferentes morfotipos de nopal, destacando al inverso que el CRA, el morfotipo C-CH sin aplicación de zeolita. lo que indica una mayor concentración de pigmentos fotosintéticos en condición de déficit hídrico; en tanto que el morfotipo C-NA sin zeolita muestró el valor más bajo de clorofila.

Las dosis con 10 t ha^{-1} de zeolita presentan valores intermedios y homogéneos entre morfotipos de nopal, sin diferencias estadísticas entre ellos. Los tratamientos con 20 t ha^{-1} de zeolita mantienen una tendencia similar, con valores estables que no superan el control (sin aplicar zeolita). Estos resultados sugieren que la respuesta del índice relativo de clorofila depende más del morfotipo que de la aplicación de zeolita. La variación entre morfotipos pone de manifiesto diferencias genéticas que influyen en la acumulación de pigmentos fotosintéticos, lo cual difiere a lo reportado por Bacarrillo-López et al. (2021), quienes no observaron diferencias significativas en el índice relativo de clorofila en las tres colectas de nopal.

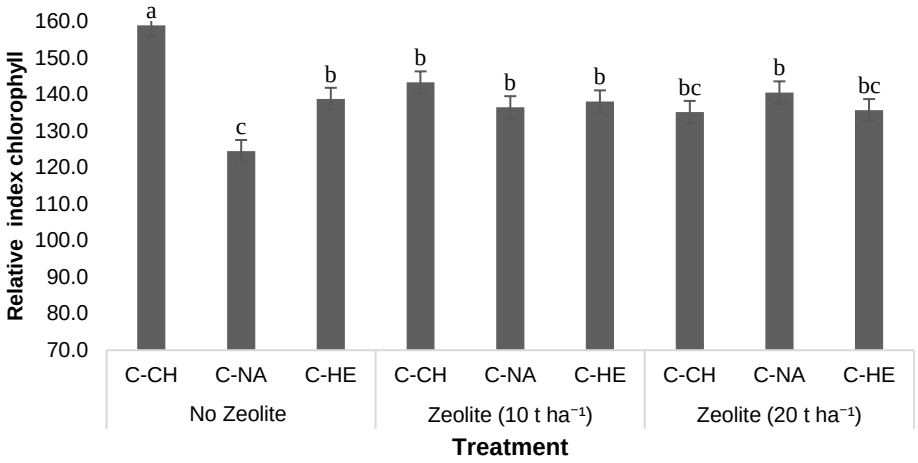


Figura 2. Índice relativo de clorofila en diferentes morfotipos de *Opuntia* spp. con diferentes dosis de zeolita. Prueba de Tukey (P ≤ 0.05). Las cifras con las mismas letras en las barras no presentan diferencias estadísticas significativas.

Conclusiones

La zeolita como enmienda al suelo, es una alternativa viable para el uso racional del agua, además de ser una práctica sustentable. Los resultados indican que a una dosis de 10 ton ha-^{1} el morfotipo de nopal C-NA es la mejor opción en términos de contenido de agua en los tejidos; aunque el morfotipo C-CH mostró una mayor concentración de clorofila ante déficit hídrico y sin aplicar zeolita, ambos indicadores fisiológicos con claves en el potencial de producción de las plantas, en este caso del nopal como cultivo forrajero.

Referencias

Bacarrillo-López, R., Pedroza-Sandoval, A., Inzunza Ibarra, M. A., Flores-Hernández, A., & Macías-Rodríguez, F. J. (2021). Forage productivity of nopal varieties (Opuntia spp.) under different soil moisture regimes. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, *8*(3). http://doi.org/10.19136/era.a8n3.2878

Gaona, E. G., Argentel-Martínez, L., Aguilar, L. P., Peñuelas-Rubio, O., Munguía, A. M. G., & Ramos, K. V. D. L. (2024). El Nopal: ecofisiología del nopal en México. In El Nopal: ecofisiología del nopal en México. Pantanal Editora. https://doi.org/10.46420/9786585756211.

Kramer, P. J. Water relation of plants. (1983). New York Academic Press, 475 p

Medina-García, G.; Díaz-Padilla, G.; López-Hernández, J.; Ruiz-Corral, J.A.; Marín-Silva, M. (2005), Estadísticas Climatológicas Básicas del Estado de Durango. (Periodo 1961 –2003). Campo Experimental Valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico № 1. p. 240. http://www.inifapcirne.gob.mx

Pedroza-Parga, E., Pedroza-Sandoval, A., Velasquez-Valle, M. A., Sánchez-Cohen, I. y Samaniego-Gaxiola, J. A. (2022) Effect of soil cover on the growth and productivity of buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.) in degraded soils of arid zones. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.* 13(4), 866-878. https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i45963

Pedroza-Sandoval, A., Trejo-Calzada, R., Sánchez-Cohen, I. Yáñez-Chávez, J.A., Cruz-Martínez, A. y Figueroa-Viramontes, U. 2018. Water harvesting and soil water retention for forage production in degraded areas in arid lands of Mexico. p. 3-23. In: New Perspectives in Forage Crops. Publisher: IntechOpen, Chapter published January, 2018. Edited by Ricardo Loiola Edvan and Leilson Rocha Bezerra. London, SE19SG-United Kindom, 210 p. https://doi.org/10.5772/66549

SIAP. (2023) Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA

SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA MEDIANTE EXTRACTOS DE EPICARPIO DE TUNA VERDE Y MORADA (*Opuntia* spp.): COMPOSICIÓN BIOACTIVA Y RESPUESTA PLASMÓNICA

Sandra I. Martinez-Orona[1*], Ricardo Trejo-Calzada[1], Lorenzo Danilo Granados-Rivera[2], Sandra Patricia Maciel-Torres[1], Karen P. Maciel-Torres[1]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango., México. [2]Campo Experimental La Laguna, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Matamoros CP 27440, Coahuila, México. *Autor de correspondencia:

Introducción

La síntesis verde de nanopartículas de plata (AgNP) mediante extractos vegetales constituye una alternativa de interés para aprovechar compuestos reductores y estabilizantes presentes en subproductos agroindustriales. El epicarpio de tuna (*Opuntia* spp.) contiene metabolitos como compuestos fenólicos, flavonoides y betalaínas, cuya concentración puede variar con la coloración del fruto (Castellanos-Santiago & Yahia, 2008). Estos compuestos podrían participar en la reducción de iones plata; sin embargo, la respuesta depende tanto de la composición del extracto como de las condiciones de síntesis. El objetivo fue comparar la composición de extractos acuosos de epicarpio de tuna verde (CTV) y morada (CTM), y evaluar la respuesta espectrofotométrica de los productos obtenidos con distintas proporciones de extracto y nitrato de plata ($AgNO_3$).

Materiales y métodos

Se utilizaron frutos comerciales de *Opuntia* sp. con epicarpio verde o morado. Las cáscaras se lavaron, cortaron en fragmentos de aproximadamente 1 × 1 cm, secaron 24 h a temperatura ambiente y 24 h a 55 °C y se molieron. Cada extracto se preparó con 2 g de polvo y 100 mL de agua destilada, calentados a 55 °C durante 30 min con agitación; posteriormente se centrifugaron (4,100 rpm, 20 min, 20 °C), filtraron y conservaron a 4 °C.

Los polifenoles totales se determinaron con Folin - Ciocalteu y se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico por g de peso seco (EAG/g ps), según Singleton et al. (1999). Los flavonoides se cuantificaron por el método colorimétrico con $AlCl_3$ y se expresaron en mg equivalentes de quercetina por g de peso seco (EQ/g ps), de acuerdo con Zhishen et al. (1999). Las betacianinas y betaxantinas se estimaron por espectrofotometría a 535 y 483 nm, respectivamente, siguiendo el fundamento de Castellanos-Santiago y Yahia (2008). Las lecturas se realizaron por triplicado.

La síntesis incluyó un arreglo de 18 tratamientos: dos tipos de extracto (CTV y CTM), tres volúmenes de extracto (0.125, 0.250 y 0.500 mL) y tres concentraciones de $AgNO_3$ (125, 250 y 500 µM). Se ajustó cada reacción a 15 mL con agua destilada y se expuso a luz solar durante 7 min a temperatura ambiente. La respuesta se caracterizó mediante longitud de onda del máximo de absorción (λmáx), absorbancia y ancho de banda a media altura (FWHM). El archivo fuente presenta medias ± desviación estándar (n = 3) y letras de comparación de Tukey ($p < 0.05$).

Resultados y discusión

Los extractos difirieron descriptivamente en sus compuestos bioactivos (Cuadro 1). CTM presentó mayor contenido de polifenoles totales (9.15 frente a 8.70 mg EAG/g ps) y de betalaínas totales (0.8776 frente a 0.2303 mg/g ps); CTV presentó más flavonoides (15.48 frente a 13.99 mg EQ/g ps). En CTM destacaron las betacianinas (0.5395 mg/g ps) y betaxantinas (0.3382 mg/g ps), en comparación con CTV (0.1157 y 0.1146 mg/g ps, respectivamente). Estas diferencias describen matrices extractivas químicamente distintas, aunque por sí solas no demuestran qué metabolitos participaron en la reducción de plata.

Cuadro 1. Composición de extractos de epicarpio de tuna. Media ± desviación estándar (n = 3).

Componente	CTV	CTM
Polifenoles (mg EAG/g ps)	8.70 ± 0.03	9.15 ± 0.02
Flavonoides (mg EQ/g ps)	15.48 ± 0.34	13.99 ± 0.40
Betacianinas (mg/g ps)	0.1157 ± 0.0003	0.5395 ± 0.0005
Betaxantinas (mg/g ps)	0.1146 ± 0.0002	0.3382 ± 0.0006
Betalaínas totales (mg/g ps)	0.2303 ± 0.0005	0.8776 ± 0.0007

La mayoría de las reacciones presentaron una banda de absorción máxima en torno a 427–435 nm, compatible con resonancia de plasmón superficial de nanopartículas de plata. La absorbancia aumentó en general con la concentración de $AgNO_3$ y el volumen de extracto (Figura 1). Los tratamientos con mayores absorbancias y la condición sin banda detectable se sintetizan en el Cuadro 2. Los mayores valores se registraron en T18 (CTM, 0.500 mL, 500 µM; 1.052 ± 0.045), T17 (CTV, 0.500 mL, 500 µM; 1.010 ± 0.046) y T11 (CTV, 0.250 mL, 500 µM; 0.979 ± 0.027); estos tratamientos compartieron la letra «a» en la comparación de Tukey. La señal no se detectó en T13 (CTV, 0.500 mL, 125 µM), mientras que en T7, T14 y T15 no pudo determinarse el FWHM por la asimetría espectral. El incremento de absorbancia no permite inferir directamente mayor rendimiento de nanopartículas sin calibración o caracterización complementaria.

Cuadro 2. Tratamientos seleccionados por respuesta espectral; se muestran tres de las mayores absorbancias y un tratamiento sin banda detectable.

Tratamiento	Extracto	$AgNO_3$ (µM)	λmáx (nm)	Absorbancia
T11	CTV 0.250 mL	500	432.7 ± 1.2	0.979 ± 0.027
T17	CTV 0.500 mL	500	427.0 ± 2.6	1.010 ± 0.046
T18	CTM 0.500 mL	500	429.3 ± 3.5	1.052 ± 0.045
T13	CTV 0.500 mL	125	Sin banda	Sin banda

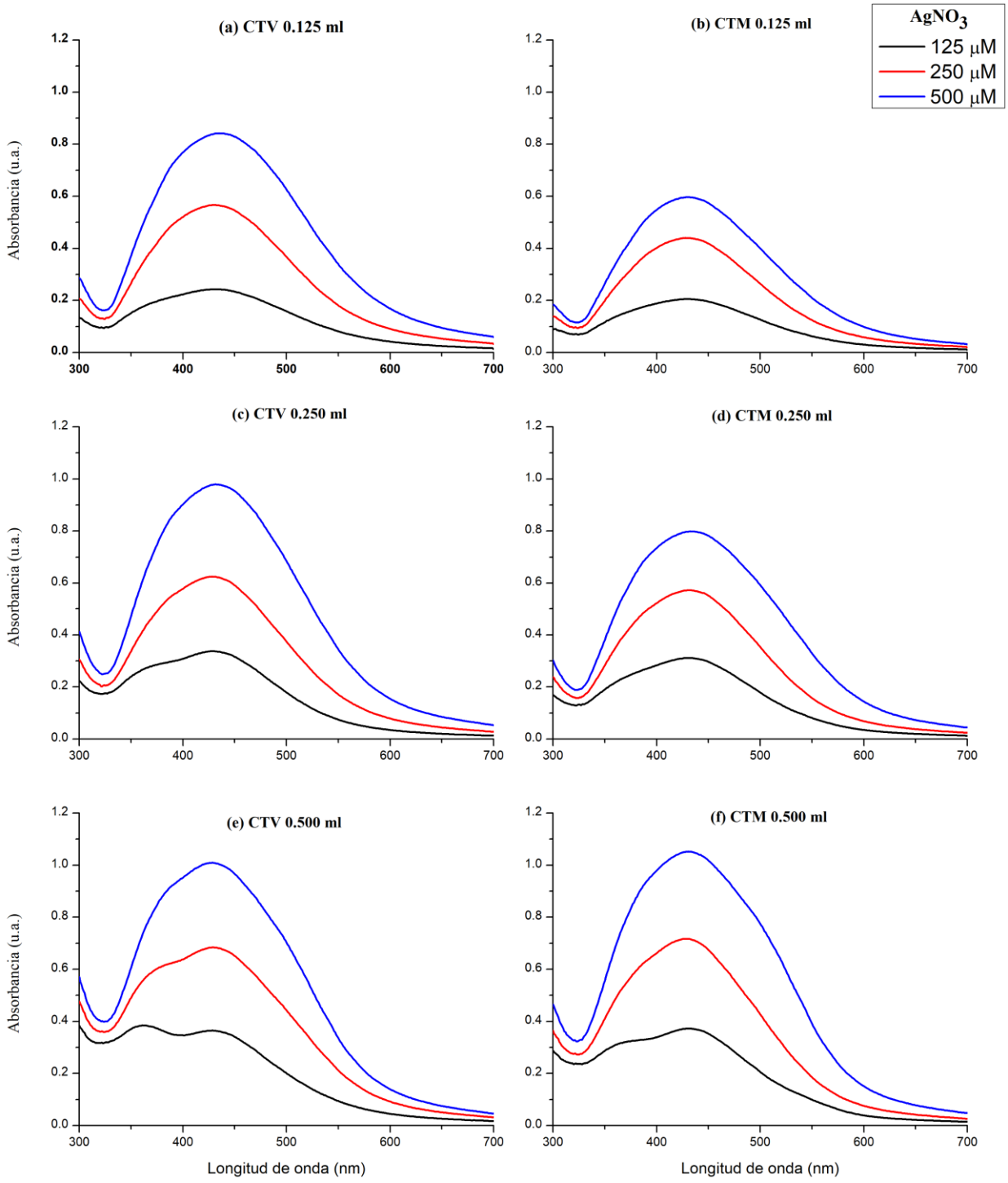


Figura 1. Espectros UV-Vis de productos sintetizados con CTV y CTM (0.125, 0.250 y 0.500 mL) y $AgNO_3$ (125, 250 y 500 µM). Imagen original adaptada a escala de grises, 945 × 945 píxeles, 300 ppp.

Como se observa en la Figura 1 y se resume en el Cuadro 2, la aparición de bandas plasmónicas es consistente con la formación de AgNP bajo las condiciones estudiadas; no obstante, la confirmación de tamaño, forma, distribución y estabilidad requiere técnicas adicionales, como microscopía electrónica, dispersión dinámica de luz y potencial zeta. El diseño permite comparar condiciones de síntesis, pero el documento no presenta una evaluación directa de actividad antimicrobiana ni de desempeño biológico.

Conclusiones

El epicarpio de tuna verde y morada proporcionó extractos con perfiles distintos de compuestos fenólicos, flavonoides y betalaínas. Ambos extractos permitieron obtener respuestas UV-Vis compatibles con la formación de nanopartículas de plata mediante exposición solar de 7 min. La mayor absorbancia se registró con 0.500 mL de extracto de tuna morada y 500 µM de $AgNO_3$ (T18), sin diferencias significativas respecto a algunos tratamientos de alta respuesta. Los resultados respaldan el potencial de aprovechamiento de cáscaras de tuna como materia prima para síntesis verde, sujeto a caracterización fisicoquímica complementaria.

Referencias

Castellanos-Santiago, E., & Yahia, E. M. (2008). Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(14). https://doi.org/10.1021/jf800362t

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Methods in Enzymology, 299. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1

Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. Food Chemistry, 64(4). https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2