ISSN: En tramite

XX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS

"Innovación y acción para un medio ambiente sostenible"

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

Memoria

14 y 15 de Noviembre de 2024



Universidad Autónoma Chapingo
Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

ISSN: En tramite

Recursos Bióticos de Zonas Áridas, Año XX, 2024, es una publicación continua, anual, digital, de acceso abierto, que difunde investigaciones originales e inéditas en el ámbito agropecuario. Editada por la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo., Km. 40 Carr. Gómez Palacio Chihuahua - Bermejillo, Durango, México, C.P. 35230, Tel. 871 980 13 40 al 56 y 871 980 00 66 al 69. https://congresorebiza.mx. E-mail: rebiza@chapingo.uruza.edu.mx. Editor responsable: Marco Andrés López Santiago. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. (en trámite), ISSN (en trámite), ambos otorgados por el Instituto Nacional de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Coordinación Editorial URUZA, Rolando Santillán Elizarrarás, Km. 40 Carr. Gómez Palacio Chihuahua - Bermejillo, Durango, México, C.P. 35230., Fecha de última modificación 29 de Noviembre de 2024.

Directorio

Universidad Autónoma Chapingo

Dr. Ángel Garduño García
Rector

M.C. Noe López Martínez
Director General Académico

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

Ing. Jorge Torres Bibriesca
Director General de Administración

Dr. Samuel Pérez Nieto
Director General de Patronato

Mtra. Tania Jessica Pérez Buendía
Directora General de Difusión Cultural y Servicio

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

Dr. José Manuel Cisneros Vázquez
Vicerrector

M.C. Oscar Esquivel Arriaga
Subdirector Académico

Dr. Marco Andrés López Santiago
Subdirector de Investigación

Dr. Jorge Alberto Ortiz Salazar
Subdirector Administrativo

Lic. Sara Araceli Carmona Veyna
Subdirector de Patronato

Ing. Fernando Simental Renteria
Jefe de Servicios Generales y Asistenciales

XX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS

"Innovación y acción para un medio ambiente sostenible"

Memoria:

Ponencias Orales, Simposios y Carteles

Compiladores:
Dr. Gonzalo Abelino Torres, Dr. Pablo Arenas Baez, Dr. Jesús G. Arreola Ávila, M. C. Rafael Carrillo Flores, Dr. Fabian García González, M.C. Cristóbal Hernández Bautista, M.C. Fabián Rosales Noriega, M.C. Gonzalo Hernández Ibarra, Dr. Marco Andrés López Santiago, Dr. Miguel Ángel Mata Espinosa, M.C. Sandra Maciel Torres, Dr. Ricardo Trejo Calzada, Dr. Luis Gerardo Yáñez Chávez.

Coordinador General
Dr. Aurelio Pedroza Sandoval

Comité Editorial
Dr. Fabian García González
M.C. Gabriel García Herrera
M.C. Gonzalo Hernández Ibarra
Dr. Marco Andrés López Santiago
Dr. Armando López Santos
M.C. Sandra Patricia Maciel Torres
Dr. Ricardo Trejo Calzada
Dr. Luis Gerardo Yáñez Chávez

Primera Edición: Noviembre de 2024.
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 Carr. 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

En congruencia con las funciones sustantivas de la Universidad Autónoma Chapingo (UACh), el XX Congreso Internacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas es un espacio creado desde lo local para permitir el acceso universal del conocimiento con actividades de Divulgación, Capacitación y Difusión de la Cultura, mediante la participación concurrente de especialistas en distintos campos de la ciencias naturales y sociales, adecuadas y aplicables a la cultura, la seguridad ambiental y humana. Esto, ante retos y perspectivas en un escenario cada vez más diverso y adverso de eventos extremos a causa del impacto ambiental. Es así como para la presente edición 2024 nuestro lema es:

"Innovación y acción para un medio ambiente sostenible"

La arquitectura de este espacio comprende temas claves para las Líneas de Generación y Aplicación de Conocimientos (LGAC), propios de la oferta académica de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA), así como dos Simposios, cuyas contribuciones están contenidas en el presente documento. En la modalidad de Conferencias Magistrales y Convencionales son cinco los ejes temáticos a desarrollar: 1) Cuencas Hidrológicas y Manejo Integral del Agua; 2) Fisiología e Impacto Ambiental; 3) Producción y Salud Animal; 4) Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible; y 5) Tecnologías de Producción Agrícola y Agroforestales. Los Simposios destacan porque uno fue propuesto por el Cuerpo Académico Mejoramiento, Producción y Tecnología de Granos, Semillas y Forrajes de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, y el segundo fue propuesto por el Cuerpo Académico Protección y Seguridad del Suelo: Procesos y Aplicaciones del Colegio de Posgraduados.

Aunado a este esfuerzo colaborativo, en el marco de las actividades de la semana de vinculación del 11 al 15 de noviembre se ofrecen Cursos de Capacitación y un escaparate de aportaciones al conocimiento como parte la Feria Nacional de Vinculación que promueve el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), el cual está enfocado a promover el interés de niños y jóvenes en la formación académica superior y la conciencia en la protección de los recursos naturales y el medio ambiente en beneficio de la sociedad en su conjunto.

Esta celebración académico-cultural es doblemente importante para la comunidad universitaria al coincidir con el 170º aniversario de la fundación de la Escuela Nacional de Agricultura hoy Universidad Autónoma Chapingo y con el 50º aniversario de la fundación de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, cuyo lema histórico es:

"Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre"

Atentamente

El Comité Organizador

Conferencistas Magistrales

Dr. César A. Meza-Herrera



Es Ingeniero Agrónomo Zootecnista por la Universidad Juárez del Estado de Durango, obtuvo la Maestría en Sistemas de Producción en Ovinos y Caprinos por la Universidad Nacional Autónoma de México, y realizó estudios de Doctorado en New Mexico State University, USA, con el Área Mayor en Fisiología de la Reproducción y el Área Menor en Biología Molecular. Colaboró como catedrático en la UNAM-Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (1984-1986).

En 1987 ingresó como Profesor-Investigador en la Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango. Posteriormente, desarrolló una estancia como Investigador Titular "C" en el INIFAP-CIRNOC (2002-2006) y una estancia posdoctoral en la UAAAN-UL (2018-2019). Su principal línea de investigación se enfoca a comprender los mecanismos subyacentes de la interacción nutrición-reproducción, abordando entornos fisiológicos en diferentes niveles de organización biológica. Su investigación se ha enfocado a explicar los mecanismos de respuesta tanto fisiológicos, neuroendocrinos y de comportamiento animal, tomando como base diversas herramientas teóricas y experimentales. Su formación en sistemas de producción, reproducción, genética, nutrición, y biología molecular le ha permitido el uso de una perspectiva integradora que considera diferentes escalas de descripción para explicar la compleja naturaleza multinivel de los pequeños rumiantes. Otros intereses académicos incluyen la geopolítica, la innovación, el conocimiento científico, la economía del conocimiento, la patología de la pobreza, la movilidad social, y las tecnologías disruptivas.

Dr. Aurelio Pedroza Sandoval



Es Ingeniero Agrónomo General (1973-78) por la Universidad Autónoma Chapingo. Maestro en Ciencias Especialista en Fitopatología (1981-83), Colegio de Posgraduados. Doctor en Ciencias área mayor Fitopatología, área menor Epidemiología Agrícola (1990-93), Colegio de Posgraduados, México; con estancia académica en North Carolina State University, Raleigh, USA. Profesor-Investigador (1980 - a la fecha) de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.

Director del Departamento de Zonas Áridas (1986-1989) y de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (1999-2001). Presidente de la Sociedad Mexicana de Fitopatología (1990-92). Presidente de la Sociedad Mexicana de Proyectos de Desarrollo Social, A.C. (2003-2005). Representante por México ante la Red Latinoamericana y el Caribe de Desarrollo Sustentable y Nutrición Humana (2003-2008). Coordinador del Grupo Interdisciplinario de Vinculación (GRINVIN) (1996 a la fecha). Coordinador del Grupo Interdisciplinario de Investigación en Sábila (GRIISA) (1997- a la fecha). Coordinador de Posgrado en Recursos Naturales y Medio Amiente en Zonas Áridas de la UACh (2014 a 2020). Línea de Investigación: Gestión y Manejo Integral del Agua-Fisiología del Estrés Vegetal en Zonas Áridas, con aportes tecnológicos sobresalientes en los cultivos de sábila, nopal y frijol y más recientemente en tomate y trébol forrajero. Autor/Coautor de: 103 artículos científico-técnicos en Revistas Indizadas, 5 Libros/Manuales técnicos y 12 Capítulos de libros. Investigador Estatal Honorífico del Estado de Durango (2019 – a la fecha) y Miembro del Sistema Nacional del Investigadoras e Investigadores Nivel II.

Dr. Carlos Alberto Ortiz Solorio



Es egresado de la Escuela Nacional de Agricultura con título de Ingeniero Agrónomo Especialista en Suelos, graduado en 1972. Maestría en Ciencias en la Rama de Suelos del Colegio de Postgraduados en 1974 y en 1999 Doctor en Ciencias en el propio Colegio. Además, curso disciplinas relacionadas con la Cartografía y Clasificación de Suelos, Evaluación de Tierras y Sensores Remotos en México y en Europa. A partir de 1973 Profesor de tiempo parcial del Departamento de Suelos de la UACh, con las cátedras de Matemáticas, Cartografía de Suelos y Tierras y Agrometeorología.

Toda su experiencia la desarrolla en el Colegio de Postgraduados, institución que ingresa desde 1972 y escala todos los puestos, actualmente es Profesor Investigador Emérito, dedicado a la enseñanza, investigación y servicio. Líneas de investigación que trabaja: Levantamientos de Suelos, Levantamiento Fisiográfico, Zonificación Agroecológica de Cultivos y Estudios Etnopedológicos. Colaborador de instituciones extranjeras como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); la International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) de Holanda; la Organización Meteorológica Mundial (WMO) y; el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (desde 1990 a 2014). Director del Centro de Edafología del Colegio de Postgraduados, período 1986 -1989. En 2004 recibió el Premio Nacional Ramón Fernández de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, y la Presea de Ciencias del Estado de México Antonio Álzate. Desde 1990 distinguido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología como INVESTIGADOR NACIONAL; desde 2005 a la fecha reconocido como Nivel III.

Biol. Rodrigo Merino Barba



Egresado de la licenciatura de Biología en la Universidad Autónoma de Guadalajara, académicos de la Facultad de Medicina veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México desde 1990, realizando diversas funciones dentro de la División de Estudios de Posgrado, Secretaria General y Coordinación dentro de la Dirección en dicha dependencia.

A partir del 2012, es responsable de la administración del Edificio Histórico de San Jacinto, entre algunas de las actividades realizadas son la coordinación de proyectos con la Dirección General de Obras, de la Dirección General de Patrimonio de la UNAM y el INAH; así mismo se ha encomendado a recopilar información histórica de la Escuela Nacional de Agricultura y Veterinaria que es el origen de la actual Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.

Dra. Mónica Ramírez Mella



Es egresada de la licenciatura de Médico Veterinario Zootecnista de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Ciudad de México, México. (1999-2004). Maestra en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería por el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Estado de México, México. (2006-2008). Sus estudios de Doctorado los realizo en la especialidad de Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad Ganadera en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Estado de México, México. (2008-2012). Realizo su estancia posdoctoral en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Ciudad de México, México. (2013-2014). Realizo una estancia sabática en el Centre de Recherche en Sciences Animales de Deschambault, Quebec, Canadá (2021 – 2022). Es investigadora por del CONAHCYT comisionada al Colegio de Postgraduados Campus Campeche, Campeche, México. (2014 - 2024). De principios del 2024 a la fecha, investigadora del CONAHCYT comisionada al Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico Nacional, Campeche, México. Sus líneas de investigación son: el uso y evaluación de residuos agrícolas en la alimentación animal, el estudio de la metanogénesis ruminal, la calidad de los productos de origen animal y el bienestar animal en los sistemas ganaderos. Ha participado como autora o coautora de 36 artículos científicos en revistas indizadas, 4 capítulos de libros y directora o asesora de 15 tesis doctorales y de maestría en el Colegio de Posgraduados. Actualmente es miembro del Sistema Nacional del Investigadoras e Investigadores, Nivel I (2021 – 2025).

Dr. Héctor Genaro Ortiz Cano



Es profesor investigador del Jardín Botánico de Chicago y la Universidad de Norhwestern en Chicago. Es Ingeniero en Biotecnología egresado del Instituto Tecnológico de Sonora, con enfoque en agronomía, agroecología y botánica, con una Maestría en Ciencias en recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, por la Universidad Autónoma de Chapingo - Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas con especialidad en fisiología del estrés vegetal y conservación de zonas áridas. Sus estudios doctorales los tomó en la Universidad de Brigham Young, en Utah; obteniendo el grado de Doctor en Ciencias en Conservación de Áreas Naturales, con especialidad en Eco fisiología Vegetal, Arqueología Experimental e Historia Ecológica. Su trayectoria como investigador, en México incluyen líder del programa de fitopatología del Instituto de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias en el noroeste de México. Asesor del programa de Agave del INIFAP y conservación de especies silvestres de Agave en Sonora, para la CONAFOR y del Instituto Tecnológico de Sonora. En los Estados Unidos su trayectoria, incluye, investigador del Servicio Forestal en la estación experimental Rocky Mountain Research Station, ha colaborado con el Jardín Botánico de Phoenix, el Jardín Botánico de Cleveland y Holden, la Fundación Nacional para la Ciencia en Estados Unidos, National Science Foundation, y diferentes organizaciones no gubernamentales dirigiendo diferentes programas de investigación, sobre cambio climático y plantas de importancia ecológica y cultural y de los ecosistemas del suroeste y el este Norte Americano.

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

Ponencias Orales

Información digital como soporte a la toma de decisiones en zonas áridas 1

Escenarios de sequía en el distrito de riego 025 bajo Río Bravo estado de Tamaulipas durante el período 2000-2023 6

Monitoreo de la sequía meteorológica utilizando imágenes satelitales para el estado de Tamaulipas durante el periodo 2000-2023 9

Instalación de una planta tratadora híbrida de aguas residuales utilizando cardenche (*Cylindropuntia imbricata*) como soporte para biofilm 16

Capacidad de rebrote de *Amelichloa clandestina* en la estacion de invierno 20

Efecto de la fertilidad de suelo en la revegetación de zonas mineras 24

El futuro de la agricultura de temporal en el norte de México con el incremento de la temperatura del aire, una posibilidad 28

Crecimiento, desarrollo y productividad de tomate *Solanum lycopersicum* L. con uso de productos orgánicos y minerales en condiciones de déficit hidrico 32

Problemática actual en el establecimiento y producción del maíz nativo en Saltillo, Coahuila 36

Caracterización morfológica, morfométrica, fitoquímica y actividad antioxidante de las semillas de siete especies del género *Echinocereus* 39

QIIME2 y el microbioma de rizósfera de maíz criollo con inoculación bacteriana 43

Extracción y cuantificación de proteínas de harina de frijol común silvestre 47

Riesgos a la salud humana por la contaminación del agua en La Comarca Lagunera, México 51

Las plantas endémicas del desierto Chihuahuense en México y el cambio climático 56

Análisis de la variabilidad morfológica del chile de árbol en Chihuahua y Sinaloa 61

La biodisponibilidad de nutrientes como indicador de la calidad del suelo 65

Hemípteros asociados a gobernadora *Larrea tridentata* (Sessé & Moc. Ex Dc.) Coville. del área de Bermejillo, Durango, México 69

Respuesta climática del pino real (*Pinus arizonica* var. Stormiae) en el sur de Nuevo León, México 72

Aislamiento y caracterización de bacterias de nódulos de frijol nativos de México 77

Manejo y reproducción de la tortuga del bolsón *Gopherus flavomarginatus* en condiciones de cautiverio en el tortugario de la URUZA reserva biológica de la tortuga del desierto 82

Diversidad y abundancia de avifauna en verano y otoño en humedales artificiales en bosque de la sierra Santa Lucia, Durango 87
Los efectos del cambio climático en la variabilidad climática en Lerdo, Durango, México 92
Tendencias de la evaporación en las zonas climatológicas de México 97
Geograficidad del territorio, la importancia de la comprensión de las zonas áridas desde los saberes locales para la identificación de impactos ambientales y estrategias frente al cambio climático: El caso de la Reserva de la Biosfera Mapimí. 102
Software para la visualización de las tendencias de las temperaturas máximas anuales de México 107
Calidad postcosecha en vid red globe en función del sistema de espaldera y cubierta del racimo. 111
Infestación y daño de *Eoreuma loftini* en variedades de *Sorghum bicolor* y *Cenchrus americanus* en el sur de Tamaulipas 116
Respuesta de nogal pecanero al zinc aplicado en riego por microaspersion en un suelo alcalino del norte de Mexico 119
Forraje de nopal fermentado: Una suplementacion alternativa para rumiantes 122
Impacto del número de parto de la madre sobre inmunidad pasiva, carga parasitaria y desarrollo postnatal 126
Relación de la microbiota vaginal y la eficiencia reproductiva en vacas lecheras 131
Caracterización fisicoquímica del kalanchoe (*Bryophyllium daigremontiana*) para su uso como aditivo nutricional para cabras 136
Efecto de la suplementación con propionato de sodio (PRNA) en ovejas gestantes dorper y su impacto en el desarrollo ruminal en corderos 142
Bioestimulación preconcepcional reduce la duración del empadre en cabras 146
Efecto de la bioestimulación preconcepcional sobre variables reproductivas en cabras 151

Simposios

Protección y seguridad del suelo: Procesos y aplicaciones.

Vermiculita en el crecimiento de frutos de Chile jalapeño 157
Almacenes de carbono en suelos calcáreos de La Comarca Lagunera, México 161
Aplicación de hidrogeles y lombricomposta para optimizar la humedad del suelo en la producción de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris*) 165
Representatividad de la materia orgánica en la calidad física de suelos bajo labranza intensiva 169
El papel vital del suelo en la preservación de la vida terrestre. La seguridad del suelo, y los retos de México 174

Producción de Granos, Semillas y Forrajes en el Norte de México.

Investigación en el mejoramiento genético para la producción de semillas de hortalizas en la UAAAN 175
Evaluación de la calidad nutricional y nutracéutica en maíces pigmentados 179
La investigación en la producción de forrajes y pastizales en el noreste de México..... 182

Carteles

Producción de biohidrógeno (BIO-H_2) a partir de aguas residuales de la industria láctea, mediante la fermentación con consorcios microbianos inmovilizados 186

Relación entre la humedad del suelo y el índice de vegetación ajustado al suelo en cultivo de máiz bajo riego por goteo 191

Análisis de cambio climático en La Comarca Lagunera mediante índices ETCCDI 195

Coeficientes de ajuste por desarrollo del maiz forrajero y su modelación con lisimetría 199

Aplicación computacional para el uso y análisis del agua en cuencas (ACUAC) fase: Hidrología 203

Aplicación de redes neuronales artificiales para la predicción de evapotranspiración de referencia basada en datos climáticos 208

Sensores abordo de RPAS comercial como alternativa al monitoreo de salud de los cultivos 213

Correlación de humedad en el suelo con el uso de imágenes de satelite Sentinel-2 219

Análisis climático de la mortalidad y decaimiento de *Pinus arizonica* en el noreste del México 224

Producción y valor nutritivo de triticale (*x. Triticosecale* witt.) y avena (*Avena sativa*) forrajeros en el rancho El Carmen 230

Uso del modelo Almanacmex en el cultivo de maíz, bajo diferentes métodos de labranza en condiciones de secano 236

Evaluación de la tolerancia al estrés hídrico de dos variedades de melón como portainjerto de pepino 240

Contenido de nitrógeno en suelos de ecosistemas forestales en el norte de México 243

Impacto de la fortificación con selenio en la concentración de pigmentos fotosintéticos en frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad pinto Saltillo 246

Pigmentos totales en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* var. pinto Saltillo) fortificadas con distintas formas químicas de selenio 250

Correlación de varibles en *Phaseolus vulgaris* variedad pinto Saltillo adicionado con selenio 254

Índice de área foliar y producción de biomasa de diferentes genotipos de trébol forrajero *Lotus corniculatus* L. bajo condiciones de déficit hídrico en el norte de México 258

Respuesta a la salinidad de agua de riego magnetizada en el crecimiento y productividad de diferentes genotipos de trébol forrajero *Lotus corniculatus* L. en el norte de México 261

Algunos indicadores químicos asociados a la producción y calidad del mucílago del cladodio de diferentes morfotipos de *Opuntia ficus-indica* en déficit hídrico 264

Fertilización nitrogenada en *Agave durangensis* Gentry: Efecto en la morfología, estado y eficiencia nutrimental, y fotosíntesis 267

Comportamiento del contenido de humedad en el tejido vegetal de *Pinus engelmannii* con la aplicación de antitranspirantes 271

Efecto de la temperatura ambiental sobre el tamaño de la celda real en colmenas de abejas meliferas (*Apis mellifera*) en el semidesierto del norte de México 276

Clorofila total en *Lotus corniculatus*: comparativa entre ecotipos bajo diferentes condiciones de humedad.. 279
Mecanismos osmoprotectores en *Lotus corniculatus*: Prolina y glicina betaína frente al estrés hídrico 282
Rendimiento de frijol raramurí en siembra a hilera sencilla y camas mediante riego por goteo..... 286
Comparación de observaciones meteorológicas de una estación climática convencional y una automática. 291
Respuestas fisiológicas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en malla sombra con fertilización orgánica e inorgánica. 295
Micro regionalización con criterios de áridez, sequía y fisiografía para una mejor planeación en el uso y manejo de los recursos agua y suelo en la zona oeste de La Comarca Lagunera 299
La micro regionalizacion como apoyo en la toma de decisiones para un mejor uso y manejo de los recursos naturales en la zona este de La Comarca Lagunera..... 303
Uso de aceites enriquecidos con compuestos aromaticos en ovejas al parto 307
Valoración de la potencia antimicrobiana de la gentamicina en un producto farmacéutico veterinario inyectable 311
Efecto de la suplementación del probiótico *Bacillus toyonensis* en el crecimiento y desarrollo de lechones .. 315
Suplementación de cabras con selenio y vitamina e en la época de anestro, y su relación con la tasa ovulatoria y el tamaño de cuerpos lúteos 320
Cobertura vegetal y variables del suelo en la estabilidad de agregados en un agostadero semiárido..... 325
Impacto del fuego en las propiedades fisicoquímicas del suelo en zonas semiáridas del sureste de Saltillo. 329
Efecto del fuego en la diversidad biológica de la vegetación en zonas semiáridas 334
Impacto de los incendios forestales en ecosistemas semiáridos: Revision bibliográfica y caso de estudio en el noreste de México 339
Caracterización fisiológica de semillas de *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto en el estado de coahuila 344
Modelo para predecir biomasa foliar seca de *Poliomintha longiflora* A. Gray en San Luis Potosí y Coahuila .. 349
Aplicación de la metodología de marco lógico para el mejoramiento de ecorregiones apícolas en sitios de interés de La Comarca Lagunera..... 354
Insectos visitantes florales de *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. en la región semidesértica de Durango. 359
Caracterización morfométrica de las semillas de tres poblaciones de *Echinocereus stramineus* 362
Actividad antioxidante, fungicida y bactericida de extractos hidroalcohólicos de raíz de *Jatropha dioica* Seseé 367
Larrea tridentata (Sessé & Moc.ExDc.) Coville especie con potencial de aprovechamiento fungicida y bactericida..... 372
Características, propiedades y métodos de extracción de carotenoides: Carotenos y xantófilas..... 376
Evaluación de la citotoxicidad de extractos alcohólicos de *Larrea tridentata* en la línea celular HELA 382
Descripción de semilla de *Yucca thompsoniana* Trel. colectadas en Saltillo, Coahuila 387
Clasificación de propiedades físicas de la madera de *Pinus greggii* Engelm Var. *Greggii* proveniente de dos

plantaciones forestales comerciales de Durango. 392

Metodología para estimar biomasa y carbono aéreo en *Juniperus deppeanna* Steud, a través de datos Lidar 395

Modelo de nicho ecológico de *Argemone mexicana* L. Papaveraceae de las regiones norte y centro norte de México 400

Selecciones de duraznero de maduracion temprana para Zacatecas 404

Evaluación de la sobrevivencia y adaptabilidad de accesiones de nopal (*Opuntia* spp.) en el banco de germoplasma de la URUZA-UACh- Primera etapa 409

Adecuación de datos de reanálisis para estimar la evapotranspiración de referencia y huella hídrica de cultivos. 413

Estimación de cobertura de copas y altura de árboles en un bosque de encino mediante imágenes capturadas con drones 419

Identificación de costras biológicas del suelo mediante clasificación supervisada y vuelos no tripulados en terrenos agrícolas degradados 424

Propiedades antioxidantes y niveles de compuestos de aceite escencial de orégano proveniente de dos entidades de México 428

Respuesta de dos variedades de higuerilla a variaciones en la radiación fotosinteticamente activa en La Comarca Lagunera 432

Interacción de las especies *Juniperus durangensis* y *Phoradendron juniperinum* atraves de la modelacion de sus nichos ecologicos 435

Efecto de inoculantes en los cultivo de trébol alejandrino (*Trifolium alexandrinum* L.), chícharo (*Pisum sativum* L.) y garbanzo (C*icer arietinum* L.) en la formación de nódulos 439

Fluctuación poblacional de la mosquita blanca (*Bemisia* spp) en el cultivo de guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) en La Comarca Lagunera 442

Actividad enzimática del suelo y su relación con el almacen de carbono bajo agricultura de conservación 445

Impacto de la agricultura de conservación sobre la calidad de suelos degradados 450

Diversidad genética en colectas de vainilla (*Vanilla* spp.) 455

Evaluación de las propiedades del suelo derivadas de soilgrids mediante mediciones *in situ* 460

Tratamientos pregerminativos de semillas de sotol (*Dasylirion wheeleri*) con y sin escarificación mecánica. 465

Biodiversidad bacteriana presente en suelos degradados en tratamiento de restauración en el municipio de Mapimí, Durango. 468

Uso de tubos protectores para mejorar el desempeño inicial de plantas de huizache (*Acacia schaffneri*) en proyectos de reforestación 473

Evaluación preliminar de nueve ecotipos de *Setaria machrostachya* en San Luis Potosí 479

Concentración de fenilpropanoides y capacidad antioxidante de diferentes genotipos de durazno (*Pronus persica*) 483

Caracterización fitoquímica de materiales de chile (*Capsicum annuum*) 488

Diversidad de asteráceas al sur de Cuencamé, Durango 493
Etnobotánica de plantas medicinales al sur de Cuencamé, Durango 496
Registros notables de reptiles en el matorral desértico micrófilo al sureste de Mapimí, Durango 500
Respuesta morfologica del cultivo de girasol con diferentes concentraciones de EDTA con potencial para fito-extracción 503
Estrategias de adaptación de *Pinus teocote* Schiede a incendios forestales en Arteaga, Coahuila 507
Producción y valor nutritivo de cereales de invierno en dos fechas de siembra en La Comarca Lagunera 511
Evaluación de leguminosas forrajeras de otoño-invierno con inoculación y fertilización química en La Comarca Lagunera 516
Aplicación de un modelo de eficiencia energética en iluminación 520
Medición de parámetros de temperatura, ruido y vibración en el compartimiento del operador de un tractor agrícola 522
Producción de semilla certificada de frijol negro jamapa en Aguascalientes 524
Evaluación de tres leguminosas de primavera-verano para forraje o abono verde con fertilización nitrogenada e inoculadas con bacterias fijadoras de nitrógeno 528
Leguminosas de otoño-invierno para forraje o abono verde con fertilización nitrogenada e inoculadas con bacterias fijadoras de nitrógeno 533
Obtención de imágenes para el entrenamiento de IA para la detección de plagas y/o enfermedades en frijol. 537
Tratamientos pregerminativos en la emergencia y crecimiento de plántulas del barril de oro *(Echinocactus grusonii* Hildm*)* (Fam.: Cactaceae) 542
Desarrollo vegetativo en plántulas de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) con fertirriego 549
Evaluación del efecto inhibidor del extracto de D-Limoneno sobre la germinación 557
Evaluación de herbicidas pre emergentes para el control de maleza en algodonero convencional 561
Aenasius bambawalei Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae) enemigo natural de *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Homoptera: Pseudococcidae) en cultivo de algodón 565
Combinación de ácidos fúlvicos y zinc en la nutrición del nogal pacanero (*Carya illinoinensis* K.) 570
Aporte nutricional y nutracéutico de un queso fresco adicionado con microcápsulas del extracto de la testa de frijol negro San Luis 574
Desarrollo de un sistema de visión artificial mediante el reconocimiento de diente de ajo para reorientación del ápice 579
Calidad de fruto en selecciones de duraznero en Aguascalientes 583
Requerimiento de frio y de calor para floración en selecciones de duraznero en Aguascalientes 588
Brotación de estacas del portainjerto híbrido Garnem 593
Rendimiento comercial de clones de ajo en Zacatecas 598
Chile verde y chayote deshidratados con energia termosolar: Una opción de valor agregado 601

Índice visual de dormición y pérdida de peso en la frigoconservación e interrupción de la cadena de frío en ajo 605
Efecto del uso de diferentes profundidades de cinta de riego y densidades de plantas en indicadores de suficiencia nutrimental del maíz forrajero 609
Identificación de bacterias en la riozsfera de nogal y evaluación de su desempeño ambiental 614
Nutri-estimulación vegetal para incrementar la calidad de nuez en huertas de nogal en Durango, México 619
Estudios dasométricos en relación con los niveles de sombreado en huertas de nogal en Durango, México . 624
Comparación de la materia seca en diferentes partes de la planta de maíz forrajero con el air fryer y la estufa de aire forzado..... 629
Inoculacion con rizobacterias para promover el crecimiento de plantas de mezquite en vivero 634
Producción de chile poblano *Capsicum annuum* L. en zonas áridas bajo distintos colores de acolchado plástico 638
Productividad de dos variedades de chile jalapeño en Nuevo Casas Grandes, Chihuahua 642
Crecimiento de *Agave durangensis* Gentry en vivero fertilizado con diferentes dosis de potasio 645
Expresión diferencial de proteínas durante la germinación bajo estrés salino en dos cultivares de algodonero-Inifap 649
Efecto de la sodicidad en el desarrollo aéreo de variedades convencionales de algodonero-Inifap..... 655
Para eficientar el crecimiento de sorgo se pueden usar funciones de crecimiento 660
Efecto de la inoculación de rizobacterias en el desarrollo del nogal pecanero (*Carya illinoinensis*) (W.) K..... 665
La inoculación de plantas de frijol pinto Saltillo con *Fusarium* induce un incremento en el rendimiento..... 670
Evaluación forrajera de maices regionales en el rancho El Carmen 674
Dinámica de cambio en el uso de suelo y vegetación en la cuenca presa Lázaro Cárdenas en el periodo de 1993-2018 679
Variabilidad en la información registrada por sensores remotos de diferente escala en estimación de variables agronómicas..... 684
Estimación de biomasa aérea en maíz forrajero y su relación con el NDVI registrado por sensores remotos 688
Biofortificación con nanopotasio en vid 693
Caracterización de nanopartículas de sintesis verde de óxido de cobre (NPS-CUO) y su evaluación en germinados de tomate 696
Influencia de nanopartículas de potasio en la calidad nutracéutica de chile jalapeño..... 701

XX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS

"Innovación y acción para un medio ambiente sostenible"

Ponencias Orales

INFORMACIÓN DIGITAL COMO SOPORTE A LA TOMA DE DECISIONES EN ZONAS ÁRIDAS

Ignacio Sánchez-Cohen[1*], Ricardo Trejo Calzada[2], Sergio I. Jiménez-Jiménez[1], Aurelio Pedroza Sandoval[2], Luis G. Yáñez Chávez[2]

[1]Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera; [2]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. [*]Autor para correspondencia: sanchez.ignacio@inifap.gob.mx

Introducción

En las ciencias computacionales, se define a los datos como la colección de información que se procesa para hacerla entendible y operable (Machado et al., 2024). La toma de decisiones se fundamenta en información**,** así**,** mientras mejor sea la calidad de ésta, mejor garantía del impacto positivo del esquema que se trate (Sesar, 2024). En el presente trabajo se presenta una herramienta para la búsqueda, despliegue y análisis de información relacionada con la producción agropecuaria en zonas con regímenes pluviales bajo incertidumbre y con alta tasa de marginación. El objetivo esencial es el empoderamiento de técnicos, productores, investigadores y toda persona relacionada a la producción en ambientes áridos en el norte de México. En su primera fase, la aplicación está dirigida al estado de Durango. La aplicación ofrece acceso a bases de datos y servidores de dependencias oficiales e internacionales de donde se obtiene información que puede ser almacenada en el dispositivo que el usuario indique para su posterior uso.

Materiales y métodos

La agenda digital está constituida por una seria de opciones (menú) indicadas como botones en la pantalla principal. La connotación que se le da a la palabra “AGENDA” es aquella de formato de consulta. La plataforma ha sido programada en lenguaje PYTHON en virtud de las ventajas comparativas que presenta este lenguaje al respecto de las interfaces amigables al usuario (Dhruv, et al 2022). El financiamiento para su desarrollo proviene de un proyecto institucional de la UACH-URUZA aprobado para el 2024-2025 en colaboración con el INIFAP – CENID RASPA. El diagrama general de la aplicación se muestra en la Figura 1.

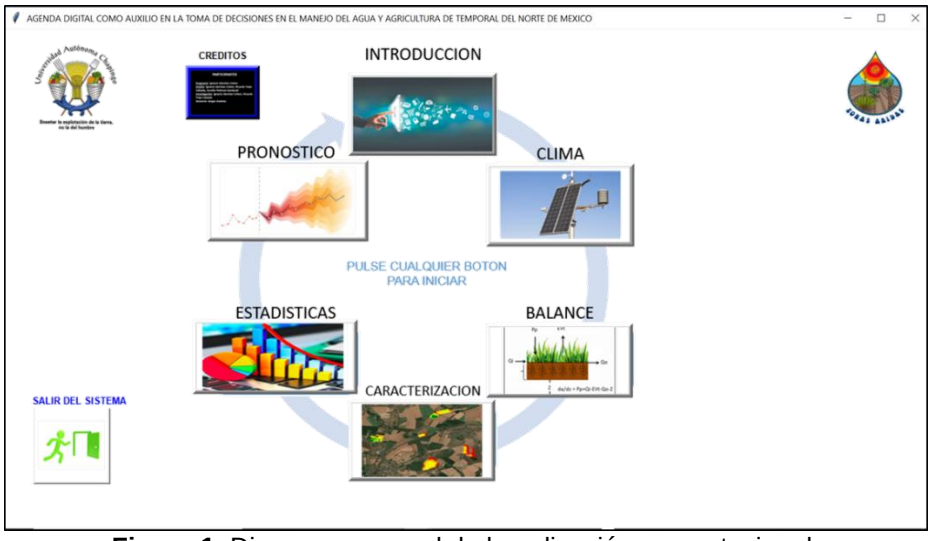


Figura 1. Diagrama general de la aplicación computacional.



Al presionar este botón se tendrá acceso a las estaciones climáticas del estado de Durango donde se podrá visualizar información climática. Se puede desplegar en Google Maps la ubicación y se puede guardar la base de datos consultada, en formato Excel (base de datos diaria y mensual), para posterior uso; Figura 2.

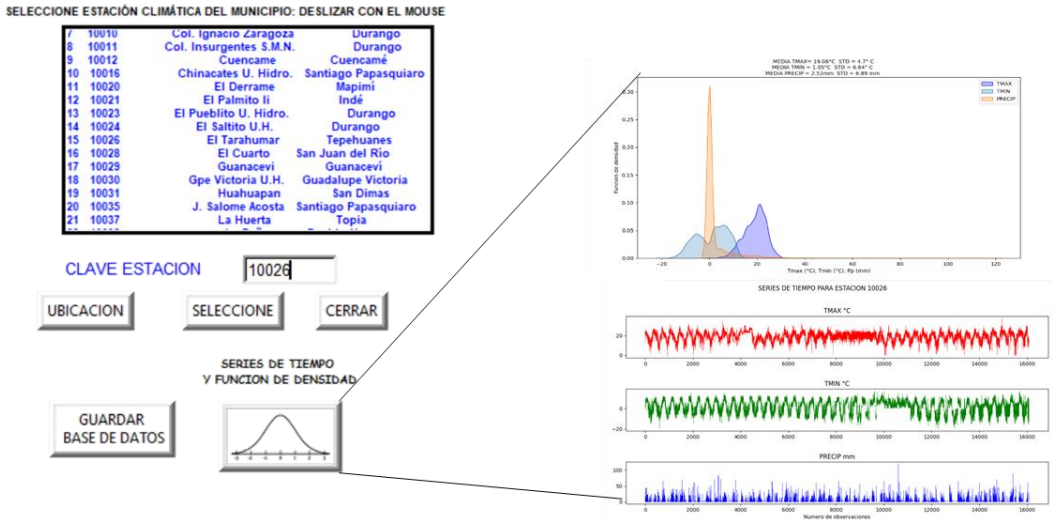
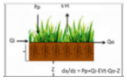


Figura 2. Acceso a las estaciones climáticas del estado de Durango. Se puede desplegar información de diferentes maneras. En el ejemplo se despliega las funciones probabilísticas de densidad de datos diarios (TMAX, TMIN y Precipitación), para la estación 10026, El Tarahumar.



Al presionar el botón BALANCE se despliegan otras opciones: RIEGO, BALANCE AGUA-SUELO y ESCURRIMIENTO. En la opción de escurrimiento se despliega un formato en el que se deberá ingresar los datos de la parcela para obtener el hidrograma adimensional útil en los procesos de diseño de obras de captación de agua de lluvia. El formato presenta ayudas para cada variable requerida; Figura 3.

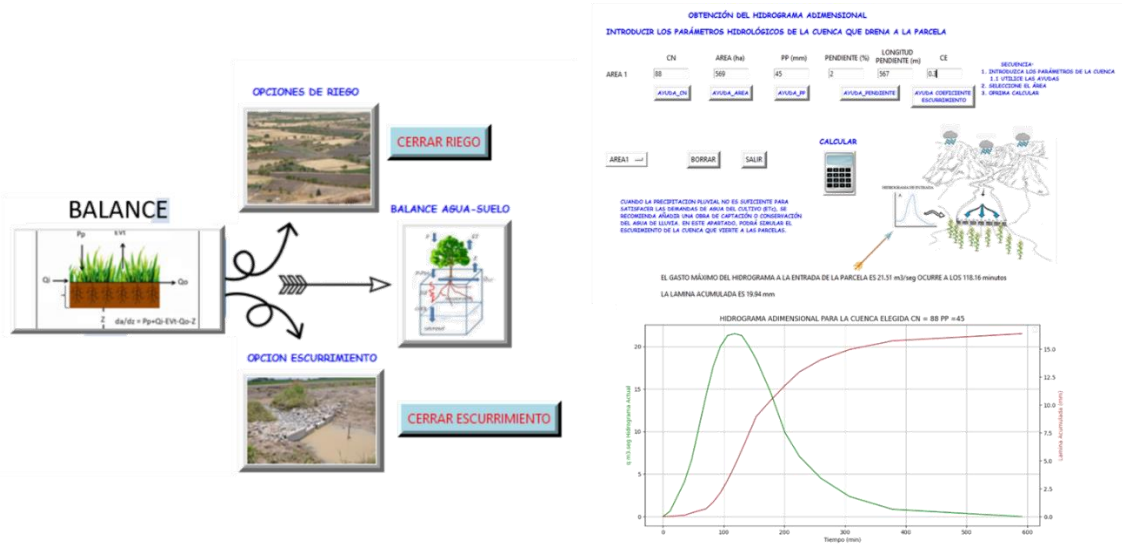
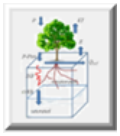


Figura 3. Obtención del hidrograma adimensional en la opción de escurrimiento.



Al presionar el botón de BALANCE DE AGUA EN EL SUELO, se presentan los botones que señala el inserto “A” de la Figura 4. El modelo de simulación calcula el balance de agua en el suelo para el cultivo, suelo, municipio, fecha de siembra elegidos en base diaria para el periodo de años seleccionado (inserto “B”).

También se calcula el riesgo (inserto “C”). Después de verificar los resultados, se puede regresar y cambiar variables para cuantificar impacto. Cuando el modelo de simulación detecta que el rendimiento simulado (promedio) es menor al 50% del rendimiento esperado, se dirige al usuario a un servidor computacional donde se ubica la información útil para sobrellevar el riesgo (inserto “D”). Al pie del inserto B se puede apreciar las opciones de la información generada como: guardar en Excel, imprimir o copiar al portapapeles. También, se puede verificar el balance año por año.

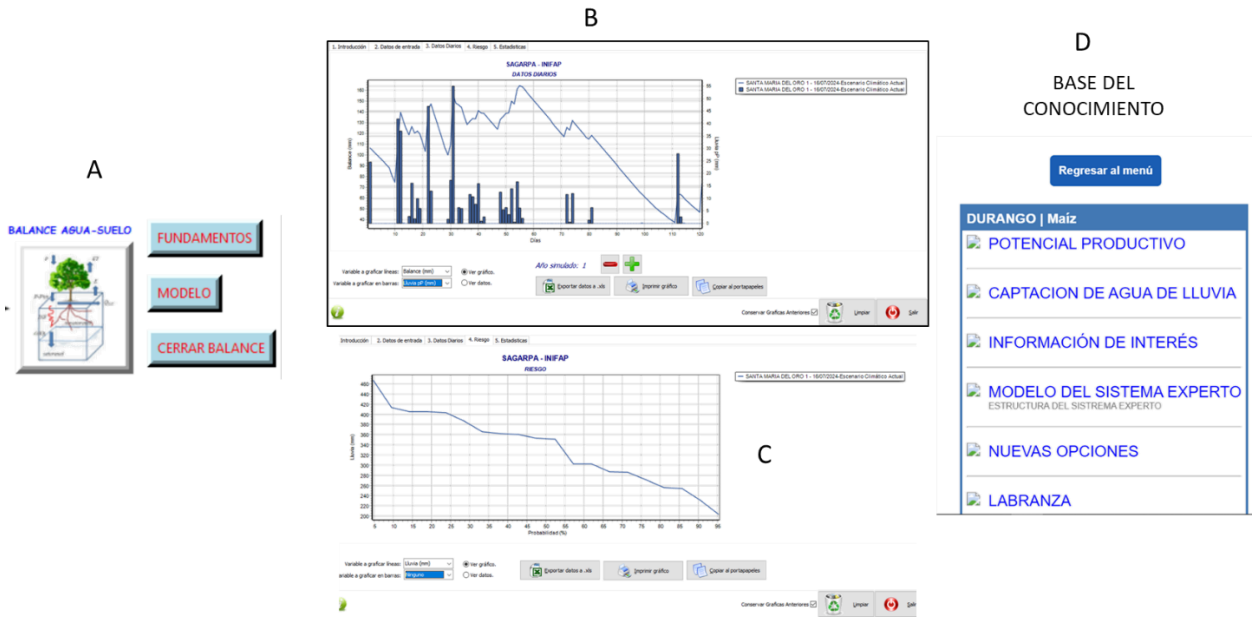
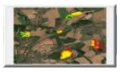


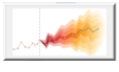
Figura 4. Ensamble de figuras al presionar el botón “balance de agua en el suelo”.



El botón CARACTERIZACIÓN, despliega a su vez tres botones: INDICES DESCRIPTIVOS, INFO. HIDROLÓGICA y POTENCIAL PRODUCTIVO, Figura 5. El primero utiliza un esquema de Google Earth Engine para desplegar índices de vegetación del municipio que se elija. El segundo despliega información general de la cuenca del municipio y el tercero despliega información del potencial productivo de la cuenca que se elija.



El botón estadísticas despliega información de siembras del municipio de interés en el estado. Las variables disponibles son: Modalidad (riego, o temporal), nombre del municipio, cultivo y rendimiento. Esta información es útil en procesos de estimación de rendimiento con el modelo de simulación de la plataforma, Figura 6.



El botón pronóstico despliega las variables TMAX, TMIN y Precipitación en un rango seleccionado desde 1950 hasta el 2050. Esta información proviene de datos de re análisis y modelos de pronóstico. Figura 7.

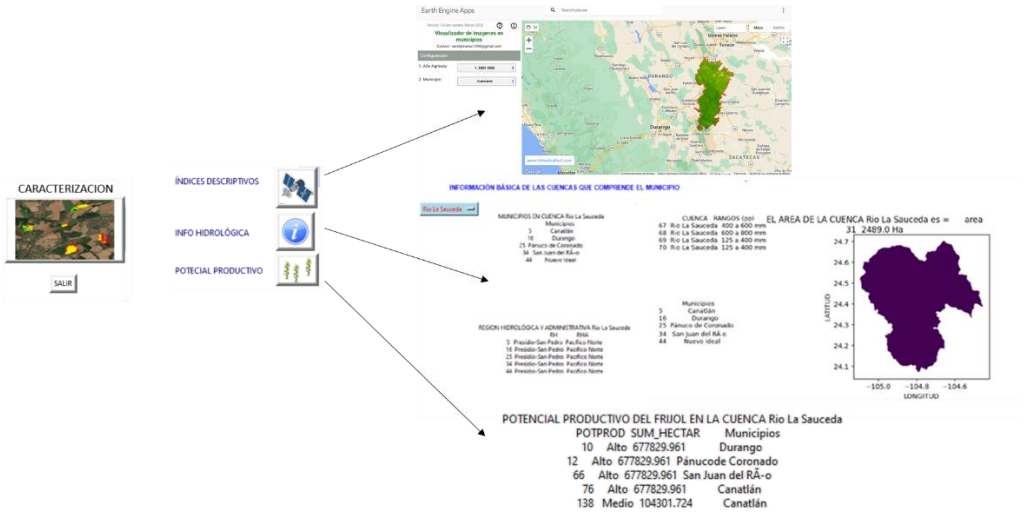


Figura 5. Información disponible al presionar el botón CARACTERIZACIÓN.

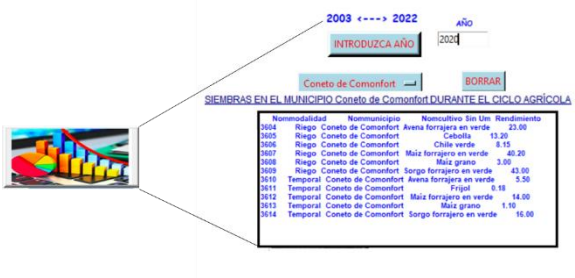


Figura 6. Estadísticas de la producción agrícola en los municipios.

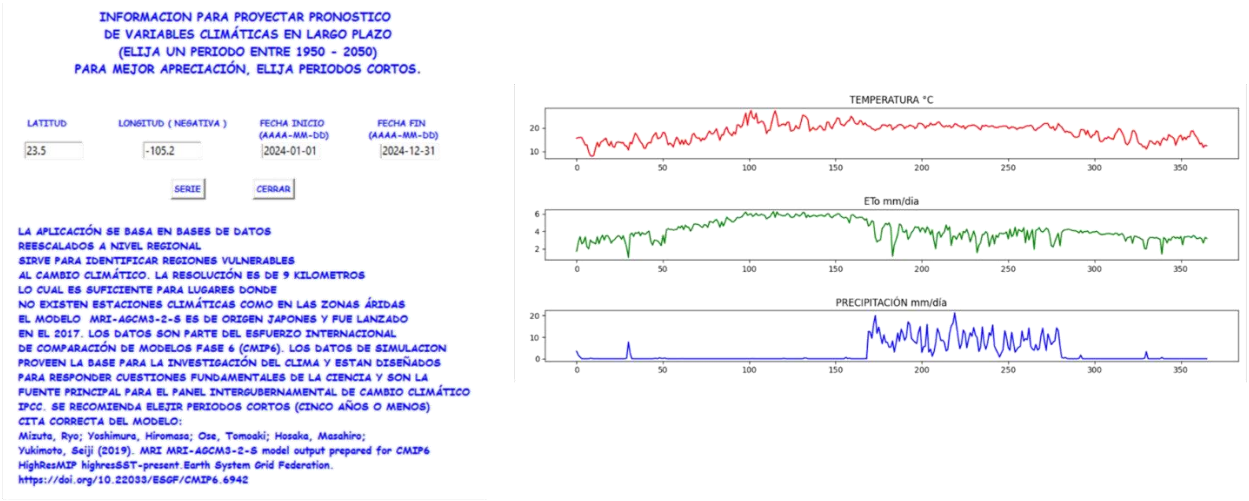


Figura 7. Proyección de variables climáticas del año 1950 al 2050.

La opción de RIEGO despliega la interfaz con un programa ejecutable donde se puede obtener un calendario de riego, entre otra información, para más de 60 cultivos en distritos de riego, Figura 8.

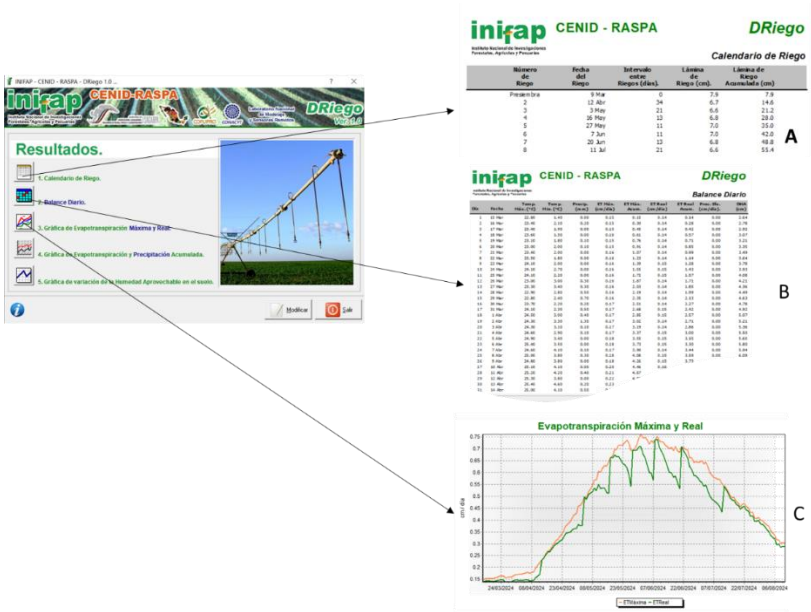


Figura 8. Opciones de salida en la obtención de calendarios de riego: Inserto A es el calendario de riego, B es el balance diario y C las curvas de evapotranspiración actual y potencial, (Catalán et al 2007).

Conclusiones.

La agenda digital está aún en proceso de desarrollo y ésta es dinámica; es decir, se actualiza en la medida que los servidores y bases de datos consultadas se actualicen. Se considera que el algoritmo ayudará a planeadores, investigadores, técnicos y público en general a optimizar el proceso de búsqueda y análisis de información relacionada al agro en ambientes áridos en aras de tomar decisiones informadas. La información digital puede también ayudar a la mejora en las operaciones cotidianas de los procesos productivos ya que ésta información puede ser almacenada para posterior uso como materia de consulta y comparación.

Referencias

Catalán, V. E. A.; Sánchez, C. I.; Villa, C. M. M.; Inzúnza, I. M. A. y Mendoza, M. S. F. 2007. Programa para calcular demandas de agua calendarizar el riego de los cultivos. Folleto técnico 7. INIFAP-CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. 28 p.

Dhruv Akshit J., R. Patel and N. Doshi. 2022. Python: The Most Advanced Programming Language for Computer Science Applications. In: Proceedings of the International Conference on Culture Heritage, Education, Sustainable Tourism, and Innovation Technologies, pp 292-299. DOI: 10.5220/0010307900003051

Machado, R. O., D. Oliviera Batista, G. Menesses, M. J. Peralta Gonzalez y S. Vancauwenbergh. 2024. Diagnosis of research data management in teachers and researchers of the Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Pro-Metrics. Vol. 4. No. 2. Pp 1-12. DOI: 10.47909/ijsmc.128.

Sesar, V. 2024. The relationship between continuous improvement and sustainable performance: bibliometric analysis and literature review. International Journal for Quality Research 18(3) 715–730.

ESCENARIOS DE SEQUÍA EN EL DISTRITO DE RIEGO 025 BAJO RÍO BRAVO ESTADO DE TAMAULIPAS DURANTE EL PERÍODO 2000-2023.

Ignacio González Gutiérrez[1*], Víctor H. Domínguez-Meza[1], X. Celeste Ramírez Campanur[2], José David Filoteo Razo[1]

[1]División de Estudios de Posgrado e Investigación. Facultad de Ingeniería y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Centro Universitario Adolfo López Mateos, Cd. Victoria, Tamaulipas, México. [2]División de Estudios de Posgrado e Investigación-Facultad de Arquitectura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Avenida Francisco J. Múgica S/N Ciudad Universitaria C.P. 58030, Morelia, Michoacán. *Autor de correspondencia: ignacio.gonzalez@uat.edu.mx

Introducción

La sequía agrícola se refiere a una situación en la que la falta de lluvia o la insuficiencia de humedad en el suelo afecta negativamente la producción de cultivos. La sequía agrícola está directamente relacionada con la disponibilidad de agua en el suelo para las plantas, más que con la cantidad total de agua en una región (Wu, et. al. 2015). El Distrito de Riego 025 Bajo Río Bravo en Tamaulipas es una región clave para la agricultura, debido a su acceso al agua del Río Bravo. Sin embargo, este distrito ha enfrentado desafíos significativos relacionados con la sequía en los últimos años. Algunos efectos de la sequía han reducido considerablemente la disponibilidad de agua para riego, lo que ha afectado la producción de cultivos como maíz, sorgo, y algodón, que son fundamentales para la economía local y estatal. La falta de agua ha llevado a los agricultores a reducir las áreas sembradas o a buscar cultivos menos demandantes de agua. Las presas internacionales como la Amistad y Falcón, que suministran agua al Distrito de Riego, han experimentado bajos niveles de almacenamiento, lo que ha limitado la disponibilidad de agua para riego. La distribución del agua se ha vuelto más estricta, priorizando el uso para consumo humano y dejando en segundo plano el uso agrícola. Los agricultores están adoptando técnicas de agricultura de conservación, como la siembra directa y el uso de coberturas vegetales, para mejorar la retención de humedad en el suelo. Si las condiciones de sequía persisten, se prevé que la situación se complique aún más, con posibles efectos negativos en la economía local y la seguridad alimentaria. Se están explorando alternativas como la construcción de nuevas infraestructuras de almacenamiento y la mejora en la gestión de los recursos hídricos. Estos escenarios destacan la difícil situación que enfrenta el Distrito de Riego debido a la sequía, así como las estrategias que se están implementando para mitigar sus efectos. De ahí el objetivo de esta investigación es monitorear con tecnología satelital los escenarios de sequía para el período 2000-2023.

Materiales y métodos

El área de estudio se centró en el distrito de riego 025 Bajo Río Bravo al norte del estado de Tamaulipas y frontera con Texas, con 290,300 hectáreas cultivadas de maíz, sorgo y algodón. Se descargaron imágenes de satélite MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) el producto MOD13QA y 250 metros de pixel que hace referencia al Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada de 16 días, sumando un total de 576 imágenes que fueron procesadas para el período 2000-2023. Se utilizo la metodología propuesta por Du et al., (2013), en la que se aplica el Índice de Condición de la Vegetación para el monitoreo de eventos de sequía donde la fórmula es: $ICV = NDVI\text{-}NDVI_{min} / NDVI_{max}\text{-}NDVI_{min}$; en donde NDVI fueron los valores del pixel i de vegetación, $NDVI_{min}$ fue el valor mínimo del pixel i de vegetación en la serie de tiempo y el $NDVI_{max}$ fue el valor máximo del pixel i de vegetación en la serie de tiempo.

Se relacionaron los resultados obtenidos por el ICV con la información publicada por el Anuario Estadístico de Producción Agrícola del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) durante el periodo 2000-2023 para el cultivo de sorgo grano. Finalmente, se generaron los productos cartográficos de manera anual para cada uno de los años estudiados.

Resultados y discusión

A pesar de ser un distrito de riego con toda la infraestructura adecuada para tal fin, se observan periodos de sequía media para los siguientes años 2000,2001,2002, 2005,2006, 2009, 2011, 2012, 2013, 2017 y 2022 (figura 1). Estos años coinciden con la caída de la producción en superficie cosechada de sorgo que es el principal producto del distrito de riego, ya que 2000, 2001,2002 2014, 2016 y 2021 también hay registros bajos de producción cosechada en comparación con años de mayor producción (figura 2). Estos resultados muestran la alta capacidad de detección de escenarios de sequía con el sensor MODIS como lo muestra Wang et. al. (2021) y Carbajal (2018) quienes aplicaron el ICV en China y Perú respectivamente y donde Carbajal también mostro una caída en la producción de cultivos en la región de estudio.

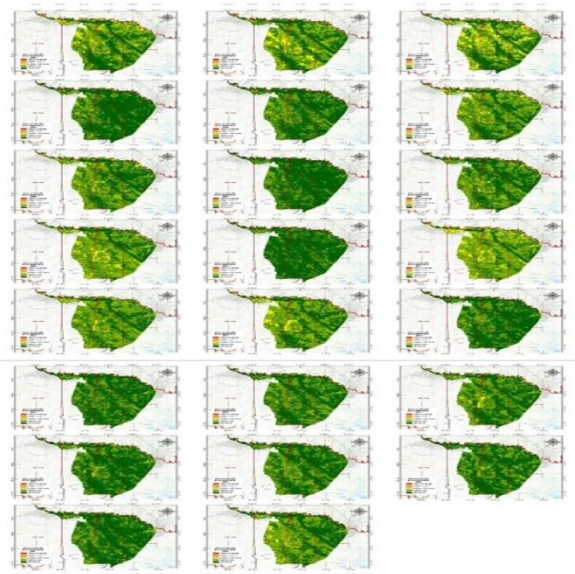


Figura 1. ICV anual para escenarios de sequía durante el período 2000-2022.

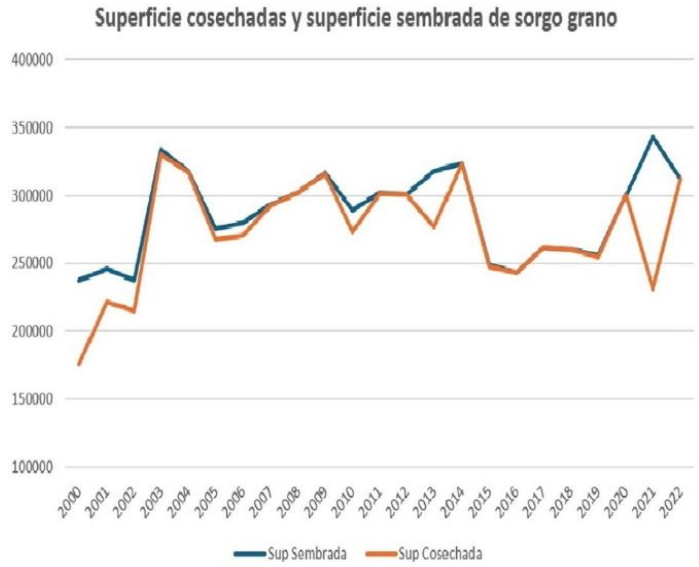


Figura 2. Superficie sembrada y cosechada de sorgo grano en el distrito de riego 025 Bajo Río Bravo 2000-2022.

Conclusiones

Los escenarios de sequias en cuanto a duración y magnitud pueden ser monitoreados con imágenes de satélite. El caso particular del sensor MODIS fue lanzado en 1999 y de ahí la importancia de esta plataforma que tiene una resolución temporal diaria que se mantiene hasta nuestros días con sucesor VIRSS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite). Los resultados muestran datos a nivel anual siendo los más secos 2000,2001,2002, 2011 y 2022. Un análisis en el futuro y más detallado puede lograr al analizar el ICV de manera mensual para los 23 años. De esta manera se tendría más información precisa y exacta sobre la duración y magnitud de las sequías.

Referencias

Carbajal, G. (2018). Identificación de patrones relevantes a la sequía agrícola a partir del análisis espacial y temporal del Índice de Condición de la Vegetación–Caso estudio: Áreas agrícolas de la región Piura, Perú (2000-2017). *Revista ECIPerú*, *15*(2), 9-9. DOI: https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2018.0013/

Du, L., Tian, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P., & Huang, Y. (2013). A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *23*, 245-253. http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2012.09.010

Wang, H., Li, Z., Cao, L., Feng, R., & Pan, Y. (2021). Response of NDVI of natural vegetation to climate changes and drought in China. *Land*, *10*(9), 966. https://doi.org/10.3390/land10090966

Wu, D., Qu, J. J., & Hao, X. (2015). Agricultural drought monitoring using MODIS-based drought indices over the USA Corn Belt. *International Journal of Remote Sensing*, *36*(21), 5403-5425. http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2015.1093190

MONITOREO DE LA SEQUÍA METEOROLÓGICA UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES PARA EL ESTADO DE TAMAULIPAS DURANTE EL PERIODO 2000-2023

Victor H. Domínguez-Meza[1], Ignacio González Gutiérrez[1*]

[1]División de Estudios de Posgrado e Investigación. Facultad de Ingeniería y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Centro Universitario Adolfo López Mateos, Cd. Victoria, Tamaulipas, México. *Autor de correspondencia: ignacio.gonzalez@uat.edu.mx

Introducción

La sequía es un fenómeno natural e inevitable del clima que se presenta en todo el mundo, y es considerado como uno de los eventos climáticos más dañinos para los seres vivos (Ortega-Gaucin et al., 2018). De acuerdo con el tipo de impacto que provoque en el ecosistema, las sequías se pueden clasificar en: meteorológicas, agrícolas, hidrológicas y socioeconómicas (Wilhite&Glantz, 1985). Se le conoce como sequía meteorológica a la condición climática donde la acumulación de lluvias en un año determinado se encuentra significativamente por debajo de lo habitual (Magaña et al., 2018). Periodos prolongados sin precipitaciones conducen a menor disponibilidad de agua para el uso humano y del ecosistema. (Agustín-Canales et al., 2023). México se encuentra particularmente expuesto a sufrir eventos de sequía debido a su ubicación geográfica entre ambos trópicos (Dobler-Morales&Bocco, 2021). Diversos métodos se han desarrollado para determinar la frecuencia, duración, magnitud y severidad de las sequías a partir de datos meteorológicos e hidrométricos, como el SPI (Ortega-Gaucin et al., 2018). La obtención de datos de precipitación confiables ha demostrado ser un reto, especialmente cuando las estaciones meteorológicas se encuentran dispersas dentro del territorio, es por eso por lo que el uso de percepción remota para la estimación de la precipitación ofrece buenos resultados comparados con los obtenidos por las estaciones meteorológicas (Yu et al., 2022). En Italia, Caloiero et al., (2021) evaluaron la sequía meteorológica en el Mediterráneo para el SPI a partir de imágenes satelitales IMERG del 2000 al 2020. Los resultados muestran que a corto plazo se identifican múltiples periodos de sequía de corta duración y severidad disminuida comparados con aquellos periodos de sequía más prolongados. El objetivo de esta investigación fue relacionar el Índice de Condición de la Precipitación para el monitoreo de la sequía meteorológica, construido a partir de imágenes IMERG de precipitación acumulada, con el porcentaje de pérdida en la producción agrícola a partir de datos publicados en el SIAP para la superficie sembrada y cosechada durante el periodo 2000-2023 para el estado de Tamaulipas.

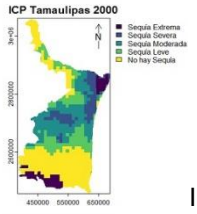
Materiales y métodos

El área de estudio abarcó la totalidad del estado de Tamaulipas, en el noreste de México, en donde predomina el clima cálido subhúmedo y el clima seco. Se descargó la corrida final de la precipitación acumulada mensual del producto IMERG, perteneciente a la Misión de Medición de la Precipitación Global, o GPM por sus siglas en inglés, del periodo 2000 al 2023. Las imágenes descargadas fueron reproyectadas a la proyección WGS 84 / UTM 14N, recortadas con un polígono de Tamaulipas y utilizadas para calcular el Índice de Condición de la Precipitación (ICP). Para el cálculo del ICP se utilizó la siguiente fórmula: ICP = (IMERG-$IMERG_{min}$) / ($IMERG_{max}$-$IMERG_{min}$); en donde IMERG fueron los valores del pixel i de precipitación acumulada, $IMERG_{min}$ fue el valor mínimo del pixel i de precipitación acumulada en la serie de tiempo e $IMERG_{max}$ fue el valor máximo del pixel i de precipitación acumulada en la serie de tiempo (Du et al., 2013). Se relacionaron los resultados obtenidos por el ICP con el porcentaje de pérdida en la producción total agrícola (%PPA) calculado como el cociente de la diferencia de la superficie sembrada y cosechada entre la superficie sembrada, multiplicado por 100.

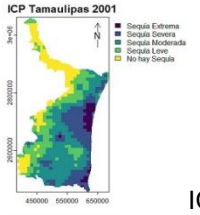
El %PPA fue calculado de manera anual a partir de los datos publicados por el Anuario Estadístico de Producción Agrícola del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) perteneciente a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Social durante el periodo 2000-2023. Finalmente, se generaron los mapas cartográficos de manera anual para cada uno de los años estudiados.

Resultados y discusión

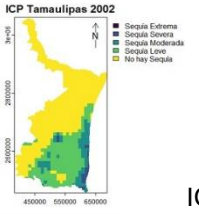
El cálculo del ICP anual reveló la existencia de periodos de sequía meteorológica que comprenden desde sequías leves hasta extremas en el 2000, 2001, 2003, 2004, 2005, 2006, 2009, 2011, 2012, 2013, 2015, 2018, 2019 y 2022. Así mismo, mostró años sin sequía meteorológica en el 2002, 2007, 2008, 2010, 2014, 2016, 2017, 2020 y 2021. La totalidad del Estado mostró una variabilidad importante en sus distintas regiones ya que ninguna categoría de la sequía predominó en ninguna de ellas durante el periodo de estudio (Figura 1).



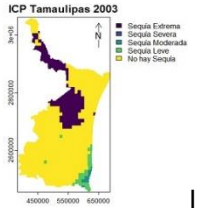
ICP 2000



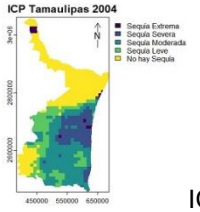
ICP 2001



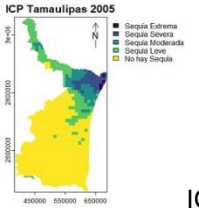
ICP 2002



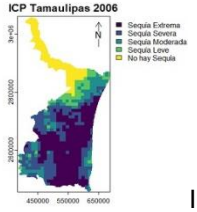
ICP 2003



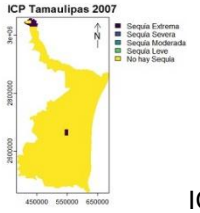
ICP 2004



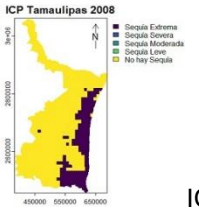
ICP 2005



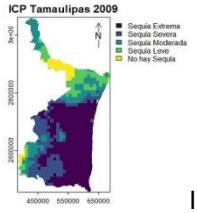
ICP 2006



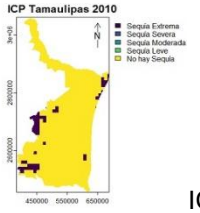
ICP 2007



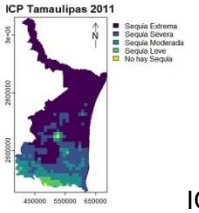
ICP 2008



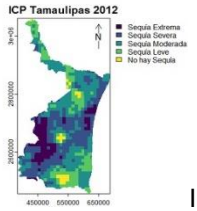
ICP 2009



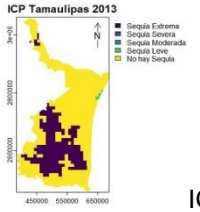
ICP 2010



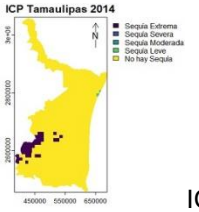
ICP 2011



ICP 2012



ICP 2013



ICP 2014

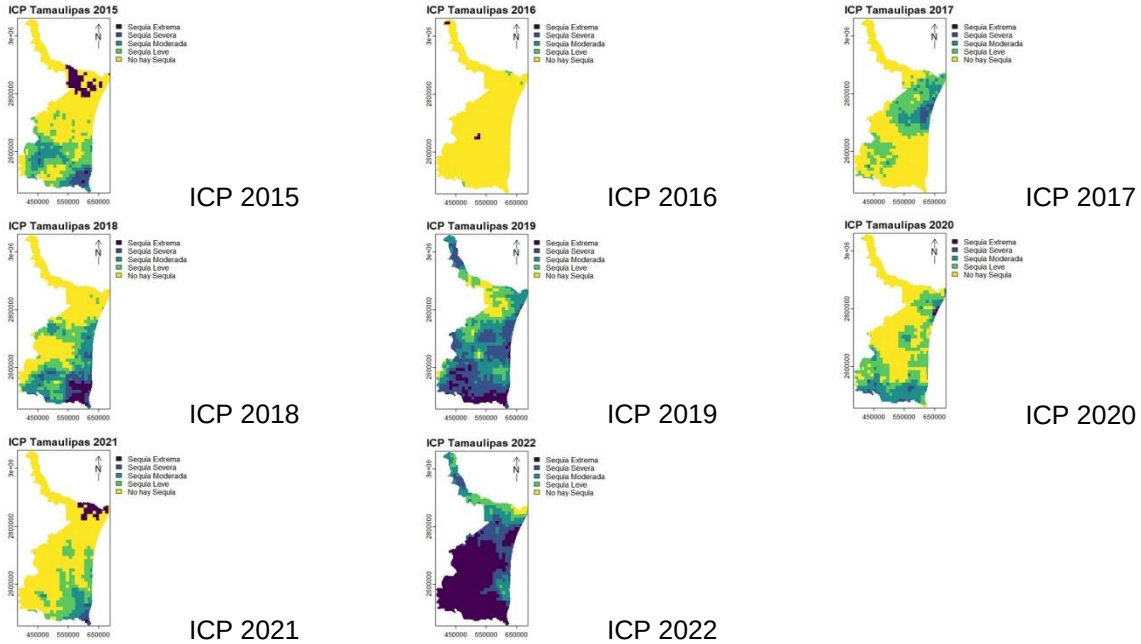


Figura 1. ICP anual para el estado de Tamaulipas, México. Las categorías de la sequía son: sequía extrema, sequía severa, sequía moderada, sequía leve y no hay sequía.

El %PPA calculado mostró valores de porcentaje de pérdidas que van desde un mínimo de 1.79 % en el 2016 hasta un máximo de 28 % en el 2021 (Figura 2). El comportamiento de la gráfica muestra una tendencia de altibajos año con año, con excepción del periodo del 2014-2020 en donde la pérdida no superó el 5 %. El promedio de porcentaje de pérdidas durante el periodo de estudio fue del 9.07 %. Los resultados del ICP coinciden en su mayoría por los publicados por el SIAP. Los años 2000, 2001 y 2002 registraron pérdidas del 13.70, 16 y 14.56 por ciento, respectivamente; sin embargo, el ICP del 2002 muestra la mayor parte de Tamaulipas sin sequía o sequía leve, lo que no corresponde con el alto valor del porcentaje de pérdida. El periodo del 2014-2020 registró únicamente el 2018 y 2019 como años con sequía de moderada a extrema y el resto de los años predominantemente sin sequía, lo que corresponde con los datos del SIAP de valores bajos de %PPA en el mismo periodo.

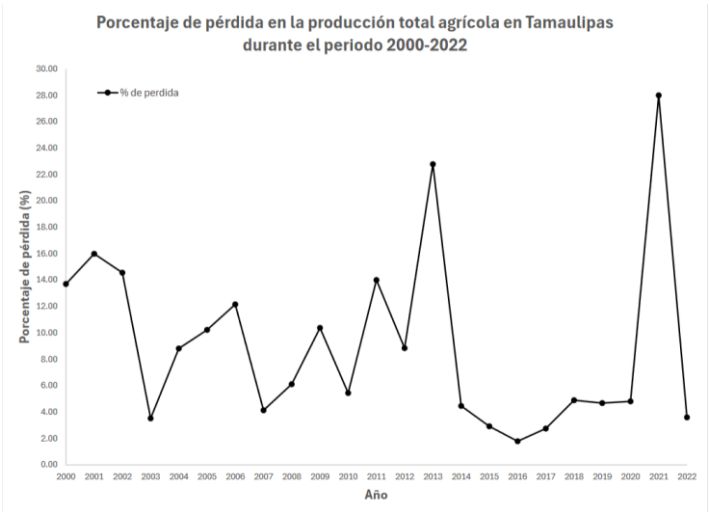


Figura 2. Porcentaje de pérdida en la producción total agrícola anual (%PPA) en el estado de Tamaulipas, México durante el periodo 2000-2022.

El cálculo del ICP de manera anual involucra un cálculo del promedio de la precipitación acumulada de manera mensual ya que el IMERG no ofrece productos anuales para esta temporalidad. Debido a que las precipitaciones no son constantes durante los 12 meses del año, en ocasiones los promedios podrían no ser representativos a la zona de estudio. Esto depende de la duración del periodo de secas y de la intensidad y frecuencia de las lluvias en el periodo húmedo. El ICP mostró algunos años en donde el área afectada por alguna categoría de sequía no mostraba valores altos de %PPA. Otro factor para tomar en cuenta es si existió la presencia de algún huracán, tormenta tropical o frente frío que haya traído lluvias inesperadas al territorio, lo que pudo recargar los cuerpos de agua y garantizar el suministro de agua para cultivo. Una solución a este problema sería dividir los ciclos agrícolas en periodos de seis meses y en cultivo de riego y de temporal y realizar los cálculos para cada periodo, de esta manera se podría reducir el sesgo entre las distintas estaciones del año.

Conclusiones

El ICP sufre deficiencias para representar en su totalidad las variaciones calculadas entre los valores anuales del %PPA ya que el ICP toma en cuenta únicamente la precipitación acumulada en una determinada región. A pesar de que algunos años húmedos coincidan con un alta en la producción o algunos otros años secos coincidan con la baja de producción, existen otros factores como el vigor de la vegetación, la temperatura ambiental o situaciones sociales que influyen directamente en la producción agrícola, por lo que estudios que incluyan más variables son necesarios para robustecer la relación entre la sequía y el %PPA.

Referencias

Agustín-Canales, N. S., Cruz-Sánchez, Y., Borja-de la Rosa, M. A., González-Tepale, M. R., & Monterroso-Rivas, A. I. (2023). Drought and vulnerability in Mexico's forest ecosystems. Forests, 14(9), 1813. https://doi.org/10.3390/f14091813

Caloiero, T., Caroletti, G. N. & Coscarelli, R. (2021). IMERG-based meteorological drought analysis over Italy. Climate, 9(4), 65. https://doi.org/10.3390/cli9040065

Dobler-Morales, C. & Bocco, G. (2021). Social and environmental dimensions of drought in Mexico: an integrative review. International Journal of Disaster Risk Reduction, 55, 102067. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102067

Du, L., Tian, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancsó, T., Udvardy, P. & Huang, Y. (2013). A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 23, 245–253. https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.09.010

Magaña, V., Méndez, B., Neri, C. & Vázquez, G. (2018). El riesgo ante la sequía meteorológica en México. Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía, 9(1), 30-41.

Ortega-Gaucin, D., Bartolón, J. C., & Bahena, C. (2018). Drought vulnerability indices in Mexico. Water, 10(11), 1671. https://doi.org/10.3390/w10111671

Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. Water International, 10, 111-120. https://doi.org/10.1080/02508068508686328

Yu, L., Leng, G. & Python, A. (2022). A comprehensive validation for GPM IMERG precipitation products to detect extremes and drought over mainland China. Weather and Climate Extremes, 36, 100458. https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100458

REDUCCIÓN DE SALES EN AGUA PARA AGRICULTURA MEDIANTE EL USO DE NANOPARTÍCULAS COMO MEDIO FILTRANTE.

Eutiquio Barrientos Juárez[*1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Campo Experimental La Campana, Km 33.4 Carretera Chihuahua-Ojinaga, Aldama, Chihuahua. [*]Autor de correspondencia: barrientos.eutiquio@inifap.gob.mx

Introducción

El agua para fine agrícolas es fundamental en la producción de alimentos por lo que su calidad es apremiante dentro de la seguridad agroalimentaria y humana, debió al efecto adverso en la salud y en los agro sistemas. La mala calidad de este recurso hídrico en el sector agrícola afecta la composición estructural de los suelos y deteriora el desarrollo de los cultivos (Koptsik, 2014) . Los suelos dañados por la salinidad con alta concentración de sales solubles como cloruros, sulfatos, calcio, magnesio y sodio se encuentran ampliamente distribuidos en el mundo (Rane,Kanny and Thomas, 2018). El alto contenido de sodio y sales en el agua es común en las regiones áridas y semiáridas, esto se debe a una agricultura intensiva, la calidad de agua, la escasa precipitación y la deficiente operación de los sistemas de riego, entre otros (Singh,2021). En los últimos años, encontrar este tipo de tierras se ha vuelto más común esto es derivado del cambio climático, procesos geomorfológicos y procesos hidrológicos.

Es por ello la importancia de generar nuevas tecnologías capaces de reducir los elementos químicos perjudiciales a la planta y al suelo (Claudio, Iorio and Barron, 2017). Recientemente se han empleado materiales magnéticos mezclados con carbón para la remoción de iones presentes en agua ya que estos materiales han demostrado tener una capacidad excelente en el tratamiento de agua (Tan, Sun and Huang, 2021). La industria de la nanotecnología está incrementando la promoción como tecnología verde ya que mejora el ambiente y mejora las industrias existentes al reducir el consumo de energía por la producción de nanopartículas (Ling and Abdulbari, 2021). Soluciones eco-amigables están dando popularidad al mundo, un método verde para la síntesis de nanopartículas debe de considerar tres aspectos: el solvente, el agente precipitador y la reducción de reactivos comparados con métodos físicos y químicos (Yoko, Aida and Aoki, 2018). Particularmente la extracción de contaminantes por medio de nanopartículas es más eficiente comparada con microorganismos, los cuales tienen un límite (Biswas, Bayer and Biris, 2012). La síntesis y caracterización de nanopartículas son potenciales para ser adoptadas en múltiples aplicaciones (Dai, Meiser and Mohwald, 2005). Existen carios factores que pueden afectar la síntesis de nanopartículas como lo son el pH, temperatura y el tiempo de fabricación (Mohamed, 2019).

Materiales y métodos

El método empleado para producir las nanopartículas es la co-precipitación química. Los reactivos empleados son: cloruro ferroso ($FeCl_2$4H2O), cloruro férrico ($FeCl_3$6H_2O) e hidróxido de amonio (NH_4OH). La mezcla de los reactivos se realiza de la siguiente manera: 1) se mezcla cloruro ferroso 0.5 M con agua tridestilada y se somete a agitación y calentamiento durante 1 hora a una velocidad de 200 RPM a una temperatura de 70 grados Celsius, 2) se mezcla cloruro férrico 1 M con agua tridestilada y se somete a agitación y calentamiento durante 1 hora a una velocidad de 200 RPM temperatura de 70 grados Celsius; 3) se realiza mezcla del paso 1) y 2), se incrementa la velocidad de agitación a 800 RPM durante 1 hora y 4) se agrega hidróxido de amonio con una concentración 0.5 M y se incrementa agitación a 1200 RPM durante 10 minutos. Se deje precipitar las nanopartículas, se decanta el agua y se hace un lavado de las partículas hasta dejar el pH en un valor de 8.

Al separar las nanopartículas se mezclan con fibra de algodón natural a una relación de 30% de nanopartículas y 70% de algodón, para posteriormente se realiza un proceso de secado de las nanopartículas mediante un horno eléctrico a una temperatura de 80 grados por un periodo de 72 horas. Una vez que se seca el material, es colocado en porta-filtros para contener la mezcla de algodón y nanopartículas. El filtro se instalo en el municipio de Julimes, Chihuahua, se conectó a un pozo de extracción se emplea como doble propósito: riego agrícola y consumo humano. El filtro consta de 4 cartuchos conectados en serie, cada cartucho tiene un volumen de 5 litros, dentro de los cartuchos se llenó con 1.2 kilogramos de material, en total fueron 4.8 kilogramos. El total de nanopartículas colocadas en los cartuchos fue de 1.44 kilogramos. El conjunto de filtros se conecto cercano al pozo de extracción donde se realizó la prueba de remoción. El tiempo de retención hidráulica fue de 20 minutos a un flujo 0.25 lpm. En la figura 1 se presenta el filtro colocado.



Figura 1. Filtro que contiene nanopartículas.

Resultados y discusión

El filtro estuvo en funcionamiento durante 28 días, en ese tiempo se realizo toma de muestras cada dos días, en el día de la toma de muestras se colectaron 2 muestras; para hacer un total de 28 muestras. Se midieron sales totales en cada muestra, el agua del pozo contenía 1190 mg/L de sales totales y un valor de pH de 7.47, el primer día de filtrado el agua después del filtro redujo el 78% del contenido de sales, a partir del tercer día de filtrado y medición seguía removiendo el 77% de sales, a partir del día numero 18 de las mediciones removía el 65% de sales; en día 19 fue disminuyendo la efectividad de reducción de sales en un 10% y para el día 28 solo removía el 8% de sales. En la gráfica 1 se observa el comportamiento del saturación del filtro después de filtrar 6.4 metros cúbicos. Cada kilogramo de material es capaz de filtrar 4 metros cúbicos de agua.

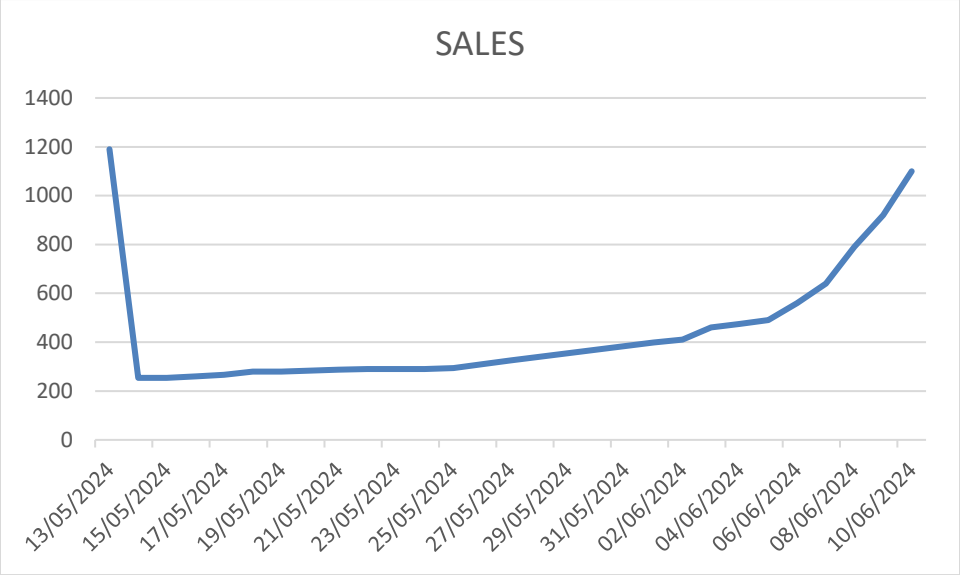


Figura 2. Comportamiento de saturación del filtro.

Conclusiones

La reducción de sales mediante la aplicación de nanopartículas como medio filtrante en agua para la agricultura puede ser una alternativa factible para que en lugares con agua con alto contenido de sales totales se puedan reducir hasta un 80%. Dentro del periodo de evaluación se demostró que durante 18 días lo valores de sales son reducidas en un 65%. El agua para agricultura la concentración de sulfatos debe estar debajo de 400 mg/L y para cloruros menores a 250 mg/L.

Referencias

A. Biswas, I. S. Bayer, A. S. Biris, T. Wang, E. Dervishi, F. Faupel, (2012, *Adv. Colloid Interface Sci. 170*, 2–27.

A. E.-M. A. Mohamed, M. A. Mohamed, 2019, *in Magnetic Nanostructures : Environmental and Agricultural Applications*, (Eds.: K. A. Abd-Elsalam, M. A. Mohamed, R. Prasad), Springer International Publishing, Cham, 1–12.

A. V. Rane, K. Kanny, V. K. Abitha, S. Thomas, 2018, *in Synthesis of Inorganic Nanomaterials, Vol. 1*, (Eds.: S. Mohan Bhagyaraj, O. S. Oluwafemi, N. Kalarikkal, S. Thomas), Woodhead Publishing, Sawston, Cambridge, 121–139.

A. Yoko, T. Aida, N. Aoki, D. Hojo, M. Koshimizu, S. Ohara, G. Seong, S. Takami, T. Togashi, T. Tomai, T. Tsukada, T. Adschiri, 2018, in *Nanoparticle Technology Handbook (Third Edition), Vol. 1* (Eds.: M. Naito, T. Yokoyama, K. Hosokawa, K. Nogi), Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 683–689.

Claudio, C.; Iorio, E.; Liu, Q.; Barron, 2017, V. Iron Oxide Nanoparticles in Soils: Environmental and Agronomic Importance. J. Nanosci. Nanotechnol. 17, 4449–4460.

F. W. M. Ling, H. A. Abdulbari, S.-Y. Chin, 2021. *Mater. Today: Proc. 42*, 1–7.

K. B. Tan, D. Sun, J. Huang, T. Odoom-Wubah, Q. Li, *Chin.* 2021. *J. Chem. Eng. 30*, 272–290.

Koptsik, G.N. 2014, Modern Approaches to Remediation of Heavy Metal Polluted Soils: A Review. Eurasian Soil Sci. 47, 707–722.

R. P. Singh, R. Handa, G. Manchanda, *J. Controlled Release* 2021, *329*, 1234–1248.

Z. Dai, F. Meiser, H. Mohwald, 2005, *J. Colloid Interface Sci. 288*, 298–300.

INSTALACIÓN DE UNA PLANTA TRATADORA HÍBRIDA DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO CARDENCHE (*Cylindropuntia imbricata*) COMO SOPORTE PARA BIOFILM

Aurelio Maldonado-Cabrera*, Luis J. Maldonado-Rincón, Néstor E. Ramirez-Gonzalez, Ivana A. Arizpe-Quiñones, Diego C. Anaya-Guerrero

Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Químicas, Dirección. Artículo 123 s/n. Col. Filadelfia. C.P. 35010. Gómez Palacio, Dgo. México. *Autor de correspondencia: aureliomaldonado@hotmail.com

Introducción

La distribución de agua en México se ha convertido en un severo problema a lo largo de los años, esto en parte es debido a las sequias y a la carente gestión de este recurso que se suma a la baja precipitación pluvial en las zonas áridas y semiáridas (Castro-Olarte et al., 2019). La industria agrícola es el mayor consumidor de agua en el país, en el 2020, el 67.52% del volumen total nacional fue ocupado por esta industria, siendo que el promedio a nivel mundial es del 70% (CONAGUA, 2019; DOF, 2012). Debido a las fuertes sequías que experimenta el territorio, se ha visto la necesidad de extraer agua de los mantos acuíferos subterráneos en los estados del norte de México se encuentran 317 mantos acuíferos, de los cuales 72 están siendo sobreexplotados, con problemas de salinización e intrusión marina (FONATUR, 2018).

Dada la crisis ambiental, se han puesto en marcha múltiples plantas tratadoras de aguas residuales a lo largo del país con técnicas físicas, químicas y biológicas, este proceso se encarga de la filtración y eliminación de materia contaminante en el agua para ser reutilizada (Garzón-Zúñiga, et al., 2016). El proyecto que se presenta a continuación es construido a partir de la metodología de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) y del cardenche (*Cylindropuntia imbricata*) el cual actúa como un soporte para biofilms de un consorcio anaerobio de bacterias que se encargan de degradar la materia orgánica (grasas, aceites), solidos suspendidos y diversos contaminantes como metales pesados mencionados en la NOM-001-SEMARNAT-2021 que establece límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cualquier tipo de cuerpo de agua. Con esta norma, se evalúan contaminantes como los mencionados anteriormente además de enterobacterias, pH, color verdadero, etc (INEGI, 2024).

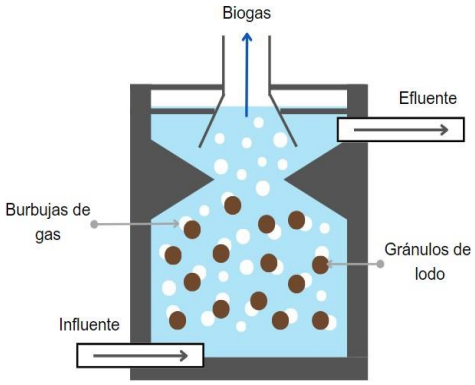


Figura 1.-Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) (Mendoza, et al., 2021)

Materiales y métodos

Se instalaron 6 reactores anaerobios caseros, que en su interior contienen un soporte de cardenche (*Cylindropuntia imbricata*) inoculado con un consorcio anaerobio de microorganismos. El agua residual producida es elevada por medio de una bomba de medio caballo (0.37kW) a un tanque de succión de 1100 litros a una altura de 2 metros para eficientizar el consumo de energía ya que los demás procesos de transporte se realizan por medio de un sistema de presión diseñado para funcionar con la fuerza de gravedad, además de representar un bajo coste energético y de mantenimiento. Posteriormente pasa a través de los 6 contenedores adaptados con el soporte de cardenche inoculado, cada uno de estos reactores tiene la misma tarea; depurar el agua residual, la cual tendrá un grado menor de contaminación por cada reactor que se le añade al sistema, por experiencia, se ha demostrado que la cantidad de reactores que se utilizarán varía dependiendo del caudal y de efectividad de depuración que se desea obtener. Opcionalmente se le puede dar un tratamiento con un aireador para que el producto final sea de muy buena calidad. Por último, el agua depurada es llevada a un tanque de almacenamiento para ser usada posteriormente para actividades de riego.

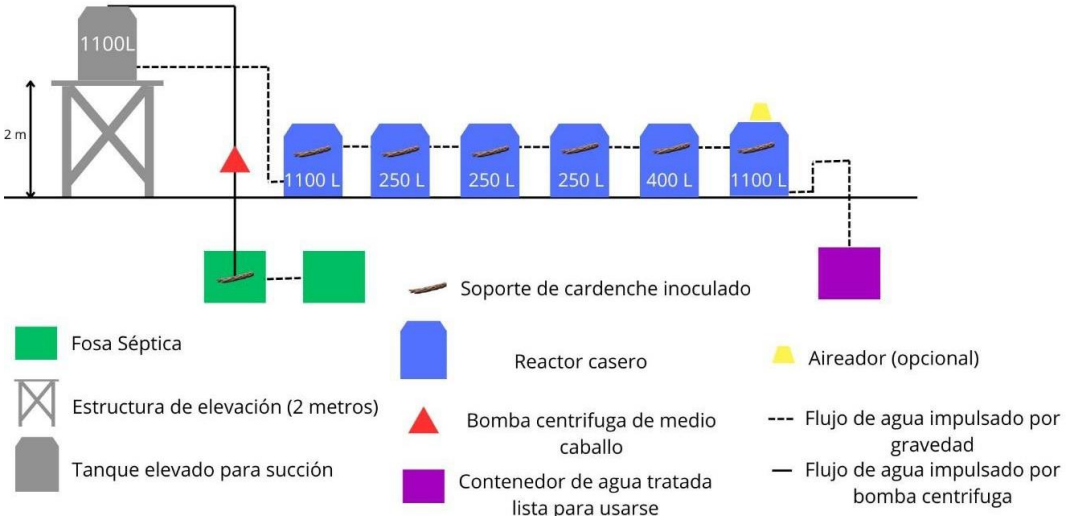


Figura 2. Diagrama de flujo hídrico de la PTHAR

Resultados y discusión

Se realizó un análisis de acuerdo con lo mencionado en la NOM-001-SEMARNAT-2021, que estipula los límites permisibles máximos de contaminantes para su descarga en cualquier cuerpo de agua, los resultados fueron calculados por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Donde se analizaron la concentración de Grasas y Aceites (GyA), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Química de Oxigeno (DQO), Carbono Orgánico Total (COT), Nitrógeno Total (NT), Fosforo Total (FT), *Escherichia coli*, pH, color verdadero y metales pesados.

Parámetro	Permisible	Resultado
GyA (mg/L)	21	<2.5
SST (mg/L)	84	25
DQO (mg/L)	210	1708.3
Carbono Orgánico Total (mg/L)	53	125.25
Nitrógeno Total (mg/L)	35	41.7
Fosforo Total (mg/L)	21	1.52
Escherichia coli (NMP/100ml)	600	11
pH	6.0-9.0	8.49
Color verdadero		
436 nm (m^{-1})	<7.0	9.9
525 nm (m-1)	<5.0	3.8
620 nm (m-1)	<3.0	1.5
Metales		
Arsénico (mg/L)	0.4	0.44
Cadmio (mg/L)	0.4	ND
Cobre (mg/L)	6.0	0.04
Plomo (mg/L)	0.4	ND
Zinc (mg/L)	20	0.03

Los valores fuera de los parámetros permisibles como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), el carbono orgánico total y nitrógeno total, pueden representar un riesgo para los ecosistemas acuáticos, ya que estos residuos agotan el suministro de oxígeno presente en el agua, provocando alteraciones en cuerpos de agua como la asfixia de organismos acuáticos, o la proliferación de algas tóxicas. El agua tratada en la PTHAR fue utilizada con fines únicamente de riego de áreas verdes y cultivos, por lo que no representa un riesgo los valores fuera de parámetro (Secretaria de Economía, 2020; SEMARNAT, 2020; Tilley et al., 2014)

Conclusiones

La planta tratadora híbrida de aguas residuales utilizando el sistema RAFA con cardenche como biofilm demostró mejorar la calidad del agua residual para servicios de contacto indirecto como el riego de áreas verdes y demás. Los valores fuera de los límites permisibles según la NOM-001-SEMARNAT-2021, no representan un riesgo para el público en general ni al medio ambiente. Se requiere de un tiempo de mayor a 2 años para alcanzar la reactivación total de los microorganismos con el fin de aumentar la eficacia del reactor al igual que mejorar la gestión hídrica a lo largo de la república mexicana, evitando su uso desmesurado y la contaminación de este recurso tan importante para la vida, lo cual es el objetivo principal de difundir este proyecto, *picoesfuerzos* por los *yottaproblemas* del cambio climático.

Referencias

Castro-Olarte, J., Cecilio-Cabrera, Y., Gonzales-Human, T. J., & Sumarriva-Bustinza, L. (2019). Remoción de materia orgánica en reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascedente en el tratamiento de aguas resisduales del camal de Huancavelica. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, *85*(3), 362-375. http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n3/a08v85n3.pdf

CONAGUA. (2024, 5 septiembre). *Monitor de Sequía de México (MSM)*. Gobierno de México. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico

DOF. (2022, 11 marzo). *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*. Secretaría de Gobernación. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0

FONATUR. (2018, 25 junio). *Tratamiento de aguas residuales*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/fmt/acciones-y-programas/tratamiento-de-aguas-residuales-162692#:~:text=El%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales,cantidad%20de%20residuos%20y%20contaminantes

Garzón-Zúñiga, M. A., González-Zurita, J., & García-Barrios, R. (2016). Evaluación de un sistema de tratamiento doméstico para reúso de agua residual. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, *32*(2), 199-211. https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.02.06

INEGI. (2024, 19 marzo). *Estadísticas a propósito del Día Mundial del Agua: desafíos y oportunidades en el uso agrícola en México*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2024/EAP_DiaMundAgua.pdf

Mendoza-Retana, S. S., Cervantes-Vásquez, M. G., Valenzuela-Garcia, A. A., Tania Lizzeth Guzmán-Silos, T. L., Orona-Castillo, I., & Cervantes-Vázquez, T. J. A. (2021). Uso potencial de las aguas residuales en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *12*(1), 115-126. https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2789

Secretaría de Economía. (2020a, julio 1). *NMX-AA-017-SCFI-2021, Análisis de Agua–Medición de color verdadero en aguas naturales, residuales, residuales tratadas y marinas - mediante coeficientes de absorción espectral - método de prueba*. Diario Oficial de la Federación. https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/nNMX-AA-017-SCFI-2021.pdf

Secretaría de Economía. (2020b, julio 1). *NMX-AA-187-SCFI-2021 Análisis de Agua–Medición de carbono orgánico total en aguas naturales, salinas, residuales y residuales tratadas*. Diario Oficial de la Federación. https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/NMX-AA-187-SCFI-2021.pdf

SEMARNAT. (2020). *Acuíferos sobreexplotados, con intrusión marina y bajo el fenómeno de salinización de los suelos o aguas subterráneas salobres*. Gobierno de México. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compartidos/pdf/COM_ACUISOBRE.pdf

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthei, C., Reymond, P., Schertenleib, R., & Zurbrügg, C. (2014). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento* (2.ª ed.). Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/Compendium_Spanish_pdfs/compendio_sp.pdf

CAPACIDAD DE REBROTE DE *Amelichloa clandestina* EN LA ESTACION DE INVIERNO

Sait Juanes-Marquez[1*], Perpetuo Álvarez-Vázquez[2], José Javier Ochoa-Espinoza[2], Alejandro García-Salas[2], Antonio Flores-Naveda[2], Xóchilt Ruelas-Chacon[2]

[1]Estudiante de Doctorado en Producción Agropecuaria UAAAN UL, Periférico Raúl López Sanches, Valle Verde, 27054 Torreón Coah. Mexico. [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315.*Autor de correspondencia: saitjuanes@gmail.com

Introducción

Los pastizales desempeñan un papel crucial tanto en la sostenibilidad de los sistemas ganaderos como en el mantenimiento del equilibrio ecológico en diversos ecosistemas a nivel global (Petermann y Buzhdygan, 2021). En la región sureste de Coahuila, México, en áreas previamente utilizadas para la agricultura y luego abandonadas, se ha establecido la especie *Amelichloa clandestina* (Hack.) Arriaga & Barkworth, comúnmente conocida como zacate picoso. Esta especie ha mostrado una notable capacidad de colonización, extendiendo su rango de distribución hacia regiones adyacentes, incluyendo Coahuila, Nuevo León, e incluso el oeste de Texas. La densidad poblacional de esta gramínea y su habilidad para regenerarse tienen una influencia directa sobre la durabilidad y productividad de los pastizales, factores clave para asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción animal. Estos aspectos están ligados a los patrones de crecimiento, declive y supervivencia de la cobertura vegetal (Leffler *et al*., 2019). Por tanto, la capacidad de rebrote de las especies es un factor esencial en la dinámica de los pastizales, ya que afecta directamente su resiliencia y la disponibilidad de forraje para los herbívoros que dependen de ellos (Domínguez-Escudero et al., 2021). En particular, la regeneración de *Amelichloa clandestina*, cuyas características y comportamiento pueden variar significativamente según las condiciones climáticas, requiere una evaluación exhaustiva de su capacidad regenerativa. Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo proporcionar información mediante la evaluación de la capacidad de rebrote del zacate picoso durante la estación invernal.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el rancho experimental "Los Ángeles" de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila, México (26° 06' N, 101° 06' O). La altitud varía entre 2100 y 2400 m. El clima es BWhw (e´), seco y semiárido extremoso, con una precipitación anual promedio de 350 mm. Se evaluó un zacatal dominado por *A. clandestina* en 32 hectáreas, estableciendo tres unidades experimentales de 5 x 20 m (100 m²). El estudio se llevó a cabo del 7 de enero al 18 de marzo de 2023, con un corte de uniformización al inicio del estudio y cortes quincenales, durante la estación de invierno. Se midieron a intervalos días después del rebrote (DDR). Para cuantificar rendimiento de materia seca (RMS) producida por *A. clandestina*, se cosecharon los rebrotes en cada unidad experimental. Se realizaron seis ciclos de muestreo a intervalos de 15 días, cubriendo 90 días desde el corte inicial. Los rebrotes de cuatro individuos por repetición se secaron en estufa a 60 C durante 48 horas hasta peso constante. El análisis de datos consideró el peso de la materia seca en kg ha^{-1}, con una densidad de seis individuos m^{-2}.

El crecimiento de las plantas se evaluó mediante 12 mediciones aleatorias de altura en cada unidad experimental. Una submuestra del 10% del forraje cosechado se utilizó para análisis de composición morfológica (CM), desglosando el forraje en hojas, tallos y material muerto. Cada componente se secó individualmente. La relación hoja/tallo (R:H/T) se determinó seleccionando diez tallos al azar. Se separaron las hojas y los tallos, y se pesaron sus componentes secos. La R:H/T se calculó con la fórmula: Relación hoja/tallo = Peso de hoja / Peso de tallo. Los datos se analizaron mediante ANOVA con PROC GLM (JMP 15 Pro) y la prueba de Tukey al 5% de significancia.

Resultados y Discusión

La Figura 1, muestra un ajuste logarítmico con un coeficiente de determinación (R^2 = 0.84), indicando un aumento gradual en la acumulación de materia seca en *Amelichloa clandestina* durante 90 días de crecimiento. El rendimiento máximo fue de 8.6 kg MS ha^{-1} a los 90 DDR, mientras que el mínimo, de 5.6 kg MS ha^{-1}, se registró a los 15 DDR, con una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$). La producción promedio fue de 7.8 kg MS ha^{-1}, influenciada por las condiciones climáticas invernales del norte de México, donde las precipitaciones son escasas. Por lo cual *A. clandestina*, especie nativa de esta región, presenta un crecimiento moderado bajo poca disponibilidad de agua. Estudios previos (Juanes *et al*., 2022) reportaron rendimientos, de 1143 y 680 kg MS ha^{-1} en diferentes pastizales tras nueve meses de rebrote en invierno. La Figura 1 también refleja la altura de las plantas, con un ajuste logarítmico (R^2 = 0.94). La altura mínima fue de 9 cm a los 15 DDR, y la máxima de 23.3 cm a los 90 DDR, con diferencias significativas a lo largo del período ($p \leq 0.05$). Estos resultados concuerdan con los de Juanes *et al*. (2022), quienes encontraron una altura promedio de 25 cm durante el invierno.

En la Figura 2, se observa la distribución de los rendimientos por componente (hoja, tallo y material muerto) en los distintos DDR. A los 15 DDR, el rendimiento de la hoja y el tallo fue de 3.3 y 2.4 kg MS ha^{-1}, representando el 58 y 42 % del total, respectivamente. A los 90 DDR, el material muerto contribuyó con 1.6 kg MS ha^{-1} (13.7 %). En esta última etapa, la hoja aportó el 50 % (5.83 kg MS ha^{-1}) y el tallo el 36 % (4.2 kg MS ha^{-1}). El estudio evidencia un aumento en el rendimiento de hojas y tallos con el tiempo. Los bajos rendimientos iniciales pueden deberse al inicio del crecimiento y baja acumulación de biomasa, mientras que la menor productividad en fases posteriores puede estar relacionada con la baja humedad y el desarrollo inicial de los tallos. Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por Brendel (2021) sobre la variación del crecimiento vegetal según la época del año y el consumo de agua. La relación hoja/tallo (R:H/T) presentó un ajuste polinómico de segundo grado (R^2 = 0.45). A los 45 DDR, la R:H/T alcanzó un máximo de 1.9, mientras que a los 90 DDR fue de 0.84. El promedio fue de 1.1, lo que indica que la producción de hojas y tallos es similar durante el invierno. Estos resultados son útiles para el manejo y conservación de *A. clandestina* en distintas etapas de rebrote.

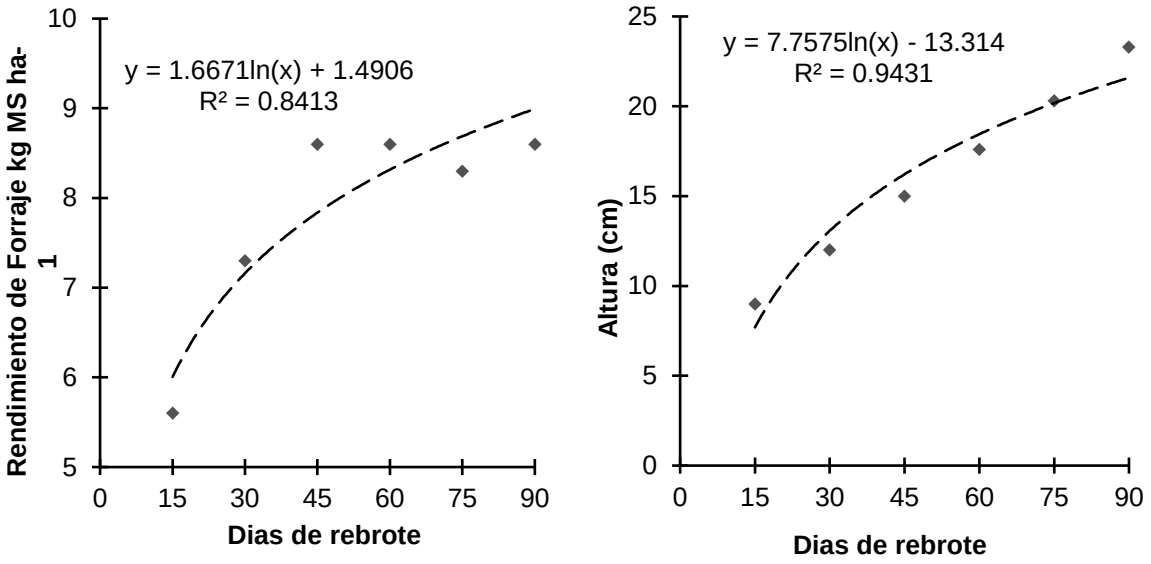


Figura 1. Rendimiento de forraje y Altura de planta de *Amelichloa clandestina* a diferentes semanas de rebrote posterior a un corte manual en la estación de invierno de 2023.

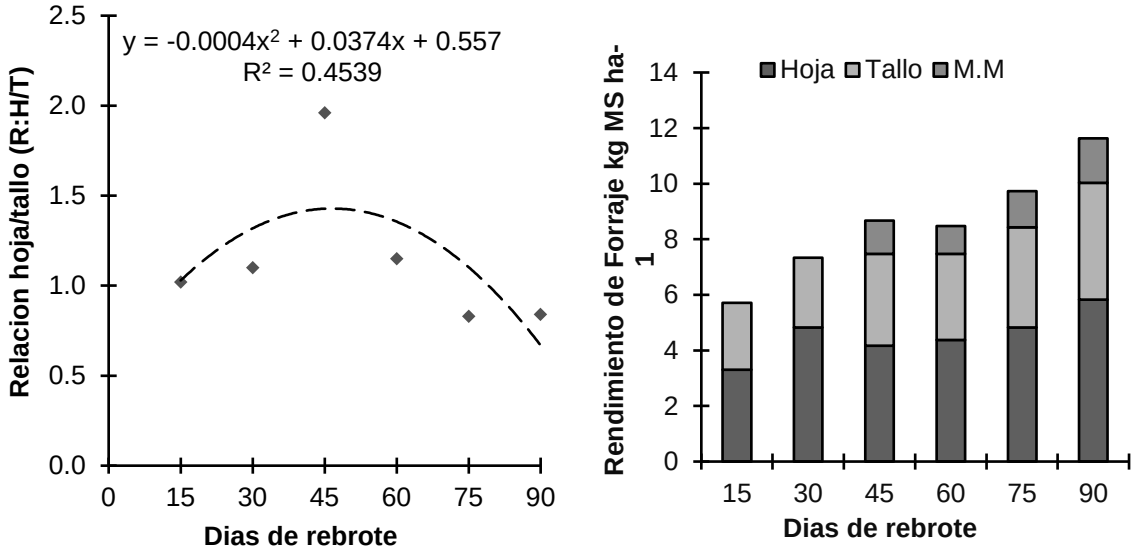


Figura 2. Relación hoja/tallo (R:H/T) y composición morfológica de *Amelichloa clandestina* a diferentes semanas de rebrote posterior a un corte manual en la estación de invierno de 2023.

Conclusión

Los rendimientos de materia seca y la altura de *Amelichloa clandestina* aumentan durante el rebrote, alcanzando un máximo a los 90 días. Estos resultados son clave para mejorar el manejo ganadero, especialmente en invierno, al resaltar la importancia de la humedad en el crecimiento óptimo del zacate picoso. La información obtenida apoya la planificación en la producción y manejo de pastizales.

Referencias

Brendel, O. (2021). The relationship between plant growth and water consumption: a history from the classical four elements to modern stable isotopes. *Annals of Forest Science*, *78*(2), 1-16.

Domínguez-Escudero, J. M. A., Iglesias-Gómez, J. M., Olivera-Castro, Y., Milera-Rodríguez M de Ca., Pérez, O. C. T., Wencomo-Cárdenas, H. B. (2021). Caracterización del pastizal y su manejo en un sistema de pastoreo racional Voisin, en Panamá. *Pastos y Forrajes*, *44*, eE19.

Juanes, M. S., Álvarez, V. P., Encina, D. J., Mellado, B. M, García, M. J., Flores, N A. (2022). Response to cutting and herbicide treatment of Mexican needlegrass (*Amelichloa clandestina*) in northeastern Mexico. Fresenius Environmental Bulletin. 31. 8663-8672.

Leffler, A.J., Beard, K. H., Kelsey, K.C., Choi, R.T. S., Chmutz, J. A., Welker, J. M. (2019). Delayed herbivory by migratory geese increases summer-long CO2 uptake in coastal western Alaska. Global Change Biology, 25(1), 277-289.

Petermann, J. S., Buzhdygan, O.Y. (2021). Grassland biodiversity. Current Biology: CB, 31(19), R1195–R1201. https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.06.060

EFECTO DE LA FERTILIDAD DE SUELO EN LA REVEGETACIÓN DE ZONAS MINERAS

Omar Cástor Ponce-García[1*], Orlando Ramírez Valle[2], Cristo Omar Puente Valenzuela[3], Alan Álvarez Holguín[4], Jesús Manuel Ochoa Rivero[2] y Alejandro Palacio Marquez[5].

[1]C.E. Delicias, INIFAP; [2]C.E. La Campana, INIFAP; [3]RASPA, CENID, [4]Facultad de Zootecnia y Ecología, UACH; [5]Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, UACH. *Autor de correspondencia: ponce.omar@inifap.gob.mx

Introducción

La minería es una de las actividades económicas más importantes en México ya que genera una importante derrama económica, sin embargo, en minas de cielo abierto, se desmonta y remueve el suelo para la extracción de los minerales, lo que genera bancos de suelo pobres en fertilidad conocidos como bancos de materiales. Estos suelos pobres no permiten la revegetación natural, por lo que deben ser tratados para la rehabilitación con el fin de disminuir su impacto en el medio ambiente (Prieto *et al.*, 2008).

Este es el caso de una mina ubicada en México, en la cual, se busca rehabilitar dos patios conocidos como “Banco de material 1 y 2”. En los recorridos realizados en la zona, se encontró que existen zonas que cuentan con una revegetación natural (Principalmente pastos), por lo que es necesario comprender que proceso natural se llevaron a cabo para permitir el crecimiento de vegetación en estas zonas. En este contexto, uno de los aspectos más importante son las propiedades químicas de los suelos, ya que, de estas depende la capacidad de estos para suministrar los nutrientes esenciales para que las plantas puedan completar sus ciclos vitales. Los principales parámetros que afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas son el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, presencia de elementos tóxicos (aluminio y sodio) así como el contenido de nutrientes.

Por lo anterior, es necesario conocer ¿Por qué existen zonas que se revegetaron de forma natural?, ¿Qué pasa en las zonas sin crecimiento de plantas? y finalmente, ¿Qué posibles enmiendas se pueden aplicar para mejorar la fertilidad de estos suelos?

El objetivo del presente proyecto fue evaluar el efecto la fertilidad de los suelos en la revegetación natural en zonas mineras y las posibles enmiendas para mejorar las propiedades químicas de estos.

Materiales y métodos

El muestreo de suelos se realizó en el mes abril del 2024 a 40 cm de profundidad en los bancos de materiales denominados Banco de suelo 1 y 2 con un total de 40 muestras. Los suelos se secaron en sombra a temperatura ambiente, se tamizaron y se llevaron al laboratorio para su análisis. Las variables evaluadas fueron pH (1:2 agua), conductividad eléctrica (Pasta saturada), materia orgánica (Walkey y Black), contenido de macronutrientes (Extracción con acetato de amonio), contenido de micronutrientes (Extracción con DTPA) y contenido de Al (Extracción acetato de amonio).

Se implementó un diseño estadístico al azar con 29 muestras para los suelos con vegetación y 11 muestras para los suelos sin vegetación. Los datos de los suelos con y sin vegetación se compararon mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis, debido a que las variables no cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, los cuales, son necesarios para realizar un análisis paramétrico. Este análisis se realizó con el software R versión 4.1.1.

Resultados y discusión

Se encontró que las variables que presentaron diferencias significativas fueron: pH. conductividad eléctrica, materia orgánica, hierro, aluminio y azufre. Para el pH del suelo (Figura 1a), se encontró que las zonas con vegetación tienen un pH promedio de 5.57 (Moderadamente ácido), mientras que, sin vegetación el pH fue de 3.35 (Extremadamente ácido). Hazelton y Murphy. (2016), mencionan que el pH ideal para el desarrollo de las plantas es de moderadamente ácido a moderadamente alcalino, ya que en estas condiciones la mayoría de nutrientes están disponibles para ser absorbidos. En la salinidad (Figura 1b), se encontró que los suelos con vegetación tienen una C.E. de 0.47 dS m^{-1} (Libre de sales), mientras que los suelos sin vegetación de 6.49 dS m^{-1} (Salino). Zetina *et al.* (2023), mencionan que la mayoría de las plantas crecen sin restricciones a C.E. menores a 2 dS m^{-1} y se ven afectadas cuando son superiores a los 4 dS m^{-1}. Para la materia orgánica, se encontró que los suelos con vegetación tienen un 1.2 % más que los suelos sin vegetación (Figura 1c).

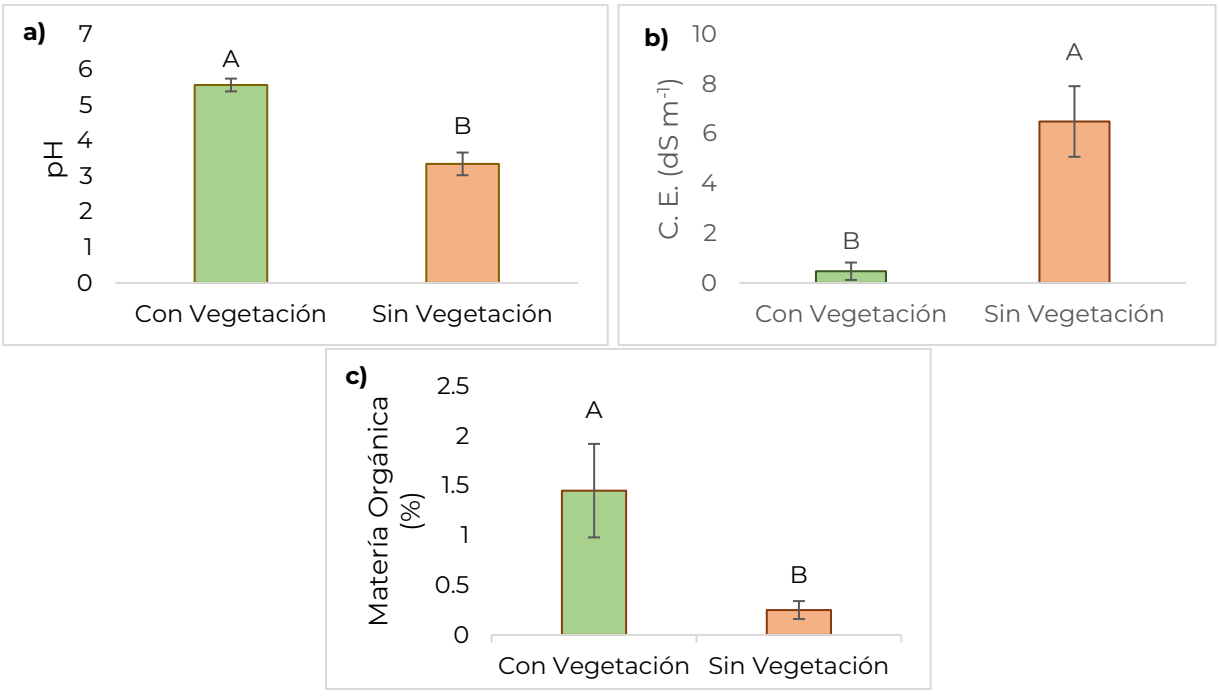


Figura 1. Efecto del pH (a), conductividad eléctrica (b) y materia orgánica (c) en la revegetación natural de suelos provenientes de mina.

En la Figura 2a se presenta el contenido de aluminio en suelos con y sin vegetación. Se encontró que los suelos sin vegetación presentan concentraciones 100 veces más altas que los suelos con vegetación. En este contexto Halvin *et al*. (2017), mencionan que el aluminio es un compuesto que intoxica las raíces de los cultivos e inmoviliza el fósforo, por lo que altas concentraciones de este elemento pueden disminuir el crecimiento de los cultivos.

En el contenido de azufre se encontró que los suelos sin vegetación tienen un contenido promedio de 6365 mg kg^{-1} (Figura 2b), lo cual, se clasifica como muy alto y puede causar toxicidad por las altas concentraciones en suelo (Castellanos et al., 2000). Un resultado similar se encontró para el contenido de hierro, ya que las zonas sin vegetación superaron en 211 mg kg^{-1} en comparación con los suelos con vegetación (Figura 2c) y se clasificaron como muy alto y Moderadamente alto respectivamente.

Con base en los resultados se encontró que los suelos sin revegetación natural no presentan características favorables para el desarrollo de plantas y requieren ser enmendados para mejorar su fertilidad. Para la problemática del pH y el exceso del aluminio Halvin *et al*. (2017), recomienda la aplicación de carbonato de calcio. Aunado a lo anterior, se recomienda la adición de agua con bajo contenido de sales y la adición de fuentes de materia orgánica. Es importante mencionar que la problemática debe solucionarse con la aplicación contante y la posible adición de microorganismos.

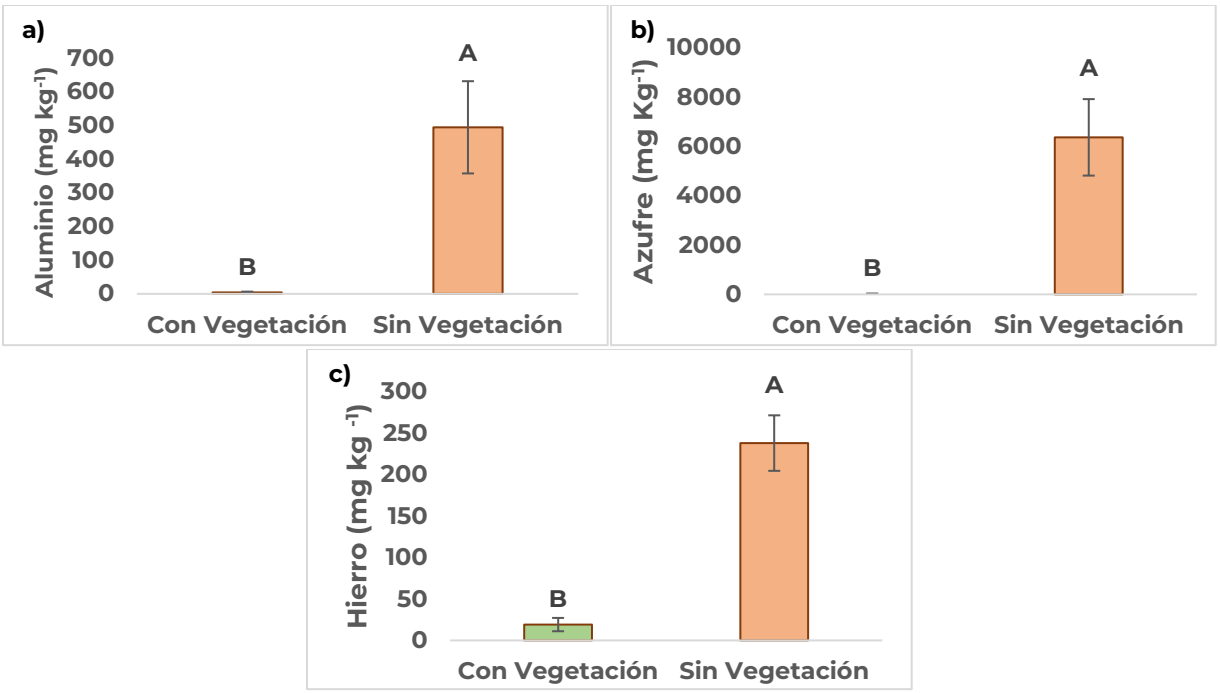


Figura 2. Efecto de la concentración en suelo de aluminio (a), azufre (b) y hierro (c) en la revegetación natural de suelos provenientes de mina.

Conclusiones

Se encontró que los suelos con vegetación presentan mejores condiciones de fertilidad como menor contenido de sales, aluminio, azufre y hierro que las zonas sin plantas. Aunado a lo anterior, los suelos con revegetación natural cuentan con un contenido de materia orgánica moderadamente alto y un pH modernamente ácido; mientras que los suelos sin vegetación se clasifican como muy bajos en materia orgánica y extremadamente ácidos. En conclusión, la revegetación natural de los bancos de suelo se debe a la presencia de mejores condiciones de fertilidad. Las zonas sin presencia de plantas deberán ser tratadas para que pueda iniciar la repoblación de estas con carbonatos de calcio, insumos orgánicos (Relación C:N alta) y el lavado con agua de buena calidad.

Referencias

Castellanos, J. Z., Uvalle, B. J. X y Aaguilar, S.A. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos, aguas agrícolas, plantas y ECP. Segunda edición. Instituto de capacitación para la productividad agrícola. México. Pp

Halvin, J. L., Tisdale, S. L. y Beaton, J. D. (2017). Soil fertility and fertilizers an introduction to nutrient manegement. Eigth edition. Pearson. Estados Unidos. Pp. 67-94.

Hazelton, P., y Murphy, B. (2016). *Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?* CSIRO publishing. Pp 73-76.

Prieto, R. J. A., Sigala, R. J. A., Morales, H. H., García, R. L. y Vázquez, S. M. A. (2008). Restauración de tepetateras en minas. Folleto técnico 34. Region Norte Centro. INIFAP. CDMX. Pp 8-9.

Zetina, L. R., Capetillo, B. A., Peralta, A. N., Vásquez, H. A., Reynolds, C. M. A., Toral, J. M. A y Couttolenc, B. E. (2023). Herramientas para determinar las necesidades nutricionales de las plantas y el uso de fertilizantes orgánicos sintéticos. En: Reyes, C. A., García, S. R., Zetina, L. R., Espinosa, R. M., Reveles, H. M., Aguado, S. G. A., Camas, G. R., Báez, P. A. y Patishtan, P. J. (Eds). Producción y uso de bioinsumos para la nutrición vegetal y conservación de la fertilidad de suelo. Libro técnico 3. INIFAP. México. Pp 191 – 248.

EL FUTURO DE LA AGRICULTURA DE TEMPORAL EN EL NORTE DE MÉXICO CON EL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE, UNA POSIBILIDAD

Arturo Chong Eslava[1] *

[1]Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. *Autor de correspondencia: achonge@chapingo.mx

Introducción

La temperatura del aire atmosférico se ha incrementado, lo que es ya un hecho aceptado por muchos, el efecto de las actividades de la creciente población mundial para proveerse de los satisfactores para su vida diaria. El Cambio Climático se ha asociado a condiciones que tal vez afecte negativamente a la agricultura, sobre todo los cultivos básicos que dependen de las lluvias, las altas temperaturas y falta de agua o sequías. Hoy se ha establecido que los cambios principales en la atmosfera son el incremento de concentración de los gases dióxido de carbono, metano, monóxido de carbono, óxido nitroso, por las actividades principalmente de las manufacturas, asociados al incremento de la temperatura del aire atmosférico. Pero, algunos de los cambios en la atmósfera tal vez favorezcan a los cultivos básicos dependientes de las lluvias. El objetivo fue analizar los cambios en la temperatura y la precipitación en los estados de Durango, Chihuahua, Coahuila y Nuevo León, estableciendo las modificaciones de las condiciones ambientales que afecten el crecimiento y desarrollo de los cultivos básicos de temporal.

Materiales y métodos

Se recabó los datos anuales de la temperatura promedio y precipitación total de los estados del norte centro del país, Durango, Chihuahua, Coahuila y Nuevo León desde 1985 hasta 2023, provenientes del Servicio Meteorológico Nacional. Los datos anuales se analizaron por medio de regresiones lineales o no lineales para establecer su tendencia en el periodo, utilizando la herramienta de tendencia de línea de Excel. Con el análisis se estableció el cambio de esas variables en el periodo y los posibles efectos en el ambiente de crecimiento y desarrollo de los cultivos básicos dependientes de la precipitación o de temporal.

Resultados y discusión

En la Figura 1, se observa la gráfica de la temperatura media de los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango y Nuevo León y la curva de tendencia determinada para el periodo. En el Cuadro 1, aparecen los cambios en la temperatura en los 38 años, calculada por las ecuaciones determinadas. Para todos los estados hubo incremento de la temperatura, en 2.19 °C en Durango, 3.00, 3.79 y 3.96 °C, respectivamente en Chihuahua, Coahuila y Nuevo León, en los 38 años transcurridos. Definitivamente, en estos estados la temperatura se ha incrementado. Las diferencias de incremento se deben posiblemente a su posición geográfica dentro la República Mexicana y su orografía, además de su tamaño y el número de estaciones con las que se calcula el promedio estatal.

En la Figura 2 se presenta la grafica de la precipitación total anual de los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango y Nuevo León, y su tendencia lineal, de 1985 a 2023. El cuadro 2 presenta el cambio de la precipitación del periodo. Los estados de Coahuila, Durango y Nuevo León muestran decremento de 55.8, 34.61 y 64.81 mm, con decremento de 1.47, 0.91 y 1.71 mm por año, respectivamente. Chihuahua tuvo un incremento de 7.7 mm en el periodo, lo que puede considerarse como que no se ha modificado la precipitación del estado, ya que el cambio anual.

Fue de solo 0.20 mm por año. Coahuila, Durango y Nuevo León han presentado una reducción significativa de su precipitación, por estar lejos de la costa, en el centro del Altiplano Mexicano, y atrás de ambas sierras madres. Chihuahua presenta un ligero incremento por estar parte de su gran geografía en la Sierra Madre Occidental, bañada de lluvias provenientes del Océano Pacífico, llevadas por los vientos que soplan del suroeste-noreste. Pero muy posiblemente, los valles de Chihuahua atrás y lejos de la sierra han presenciado reducción de las precipitaciones. Durango, posiblemente recibe menos agua que Chihuahua por tener proporcionalmente menos territorio en la Sierra Madre Occidental y encontrarse más al sur, lejos de las corrientes de chorro del mar del Pacífico.

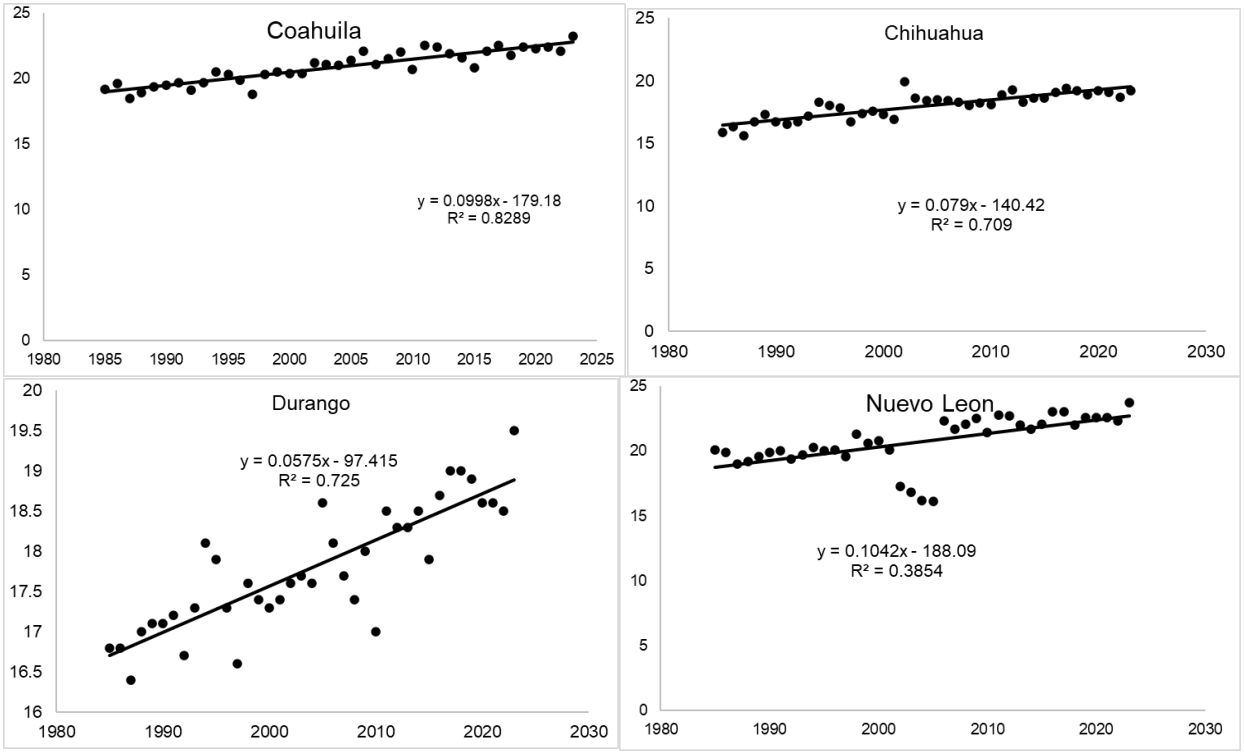


Figura 1. Graficas de la temperatura de los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango y Nuevo León de 1985 a 2023, la línea de tendencia y modelo linear.

Cuadro 1. Cambio de la temperatura en los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango y Nuevo León de 1985 a 2023.

	Coahuila	**Chihuahua**	**Durango**	**Nuevo León**	años
Inicio (°C)	18.92	16.40	16.72	18.75	**1985**
Final (°C)	22.72	19.40	18.91	22.71	**2023**
Cambio (°C)	3.79	3.00	2.19	3.96	
Incremento anual (°C)	0.10	0.08	0.06	0.10	**38**

La temperatura se ha incrementado y la precipitación de estos estados ha disminuido, a excepción de la precipitación de Chihuahua, que poco se ha incrementado. El Cambio Climático ha afectado desfavorablemente las condiciones ambientales de los cultivos básicos de temporal de los estados, por la falta de agua, principalmente, aunque posiblemente los cultivos sobre la sierra madre se vean beneficiados por ser área de baja presión atmosférica y por tanto lluvias.
Como aspectos posiblemente positivos de los cambios en la atmósfera por el cambio climático, es el mismo incremento de la temperatura que favorece que los procesos fisiológicos de la planta ocurran a mayor velocidad, siempre y cuando se tenga humedad. Otro factor es el incremento de la concentración del dióxido de carbono, nutrimento para la planta, alcanzando 419.3 ppm en 2023 (Climate.gov, 2024). Igualmente, el incremento de la temperatura está modificando la duración del periodo de crecimiento, incrementándolo, por principalmente atrasar la presencia de las heladas algunos días o semanas, principalmente en el Altiplano Mexicano, pero no se ha cuantificado este factor.

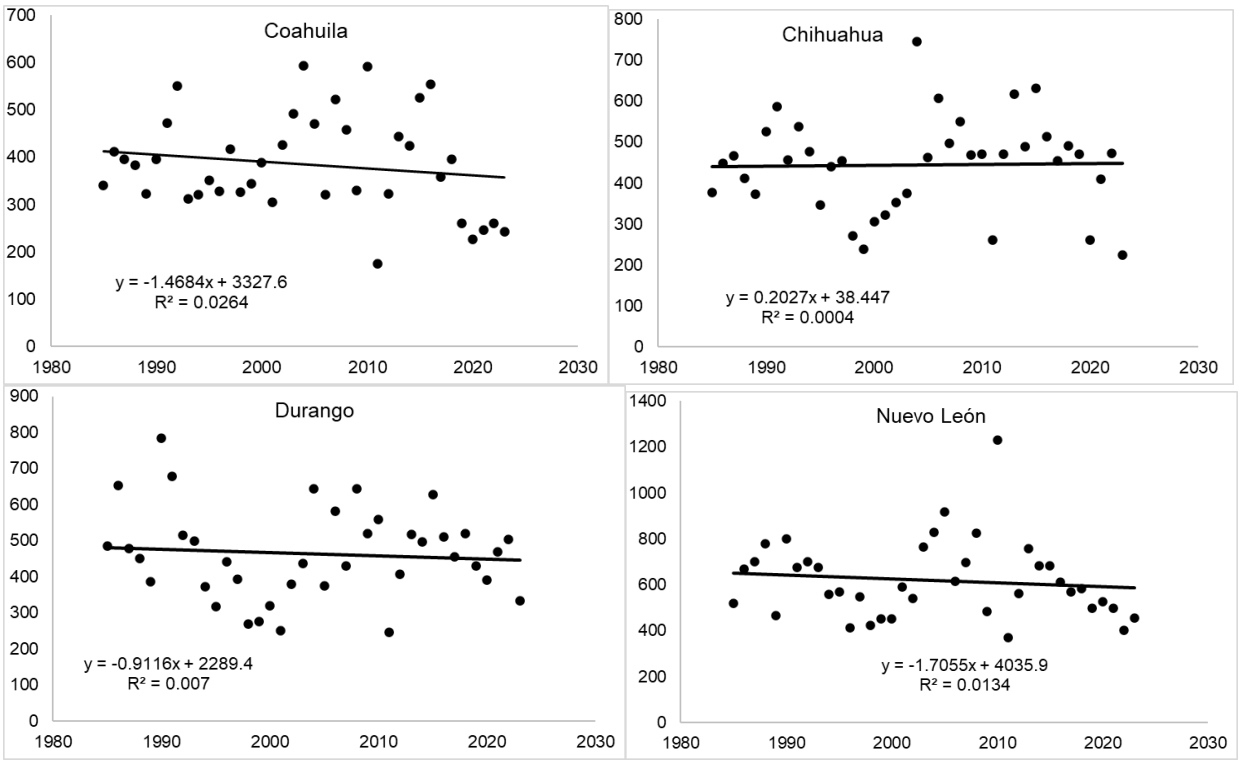


Figura 2. Precipitación (mm) de los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango y Nuevo León, la línea de tendencia y los modelos lineales en el periodo de 1985 a 2023.

Cuadro 2. Cambio de la precipitación de los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango y Nuevo León en el periodo de 1985 a 2023.

	Coahuila	**Chihuahua**	**Durango**	**Nuevo León**	
Inicio (mm)	412.83	440.81	480.07	650.48	**1985**
Final (mm)	357.03	448.51	445.44	585.67	**2023**
Cambio (mm)	-55.80	7.70	-34.64	-64.81	
mm/año	-1.47	0.20	-0.91	-1.71	**38**

Conclusiones

La temperatura en los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango y Nuevo León se han incrementado, su precipitación de ha reducido, por efecto del Cambio Climático global, lo que muy posiblemente ha afectado negativamente a los cultivos básicos de temporal en estos estados del norte del país. Posiblemente solo en la parte de la Sierra Madre Oriental del estado de Chihuahua haya mejorado las condiciones ambientales de crecimiento, por mayor temperatura y precipitación, más duración del periodo de crecimiento y mayor concentración de dióxido de carbono en la atmósfera.

Referencias

SMN. 2024. Sistema Meteorológico Nacional. Temperaturas y precipitación. Conagua. https://smn.conagua.gob.mx/es

Imágenes de satélite. 2024. Sistema Meteorológico Nacional. Conagua. https://smn.conagua.gob.mx/es

Climate.gov. Science & Information for a climate Smart Nation. 2024. NOAA, USA. https://www.climate.gov/.

CRECIMIENTO, DESARROLLO Y PRODUCTIVIDAD DE TOMATE *Solanum lycopersicum* L. CON USO DE PRODUCTOS ORGÁNICOS Y MINERALES EN CONDICIONES DE DÉFICIT HIDRICO

Miranda-Rojas, J.A.[1], Pedroza-Sandoval A.[1]*, Gramillo-Ávila, I.[1], Trejo-Calzada R.[1],

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, C.P. 35230, Bermejillo, Dgo. México. *Autor para correspondencia: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Las plantas en mayor o menor grado cuentan con mecanismos de adaptación al déficit hídrico, de tal manera que les permite tolerar diversos factores ambientales adversos, manteniendo adecuados niveles de sobrevivencia, crecimiento, desarrollo y productividad (Seleiman et al., 2021). El efecto del estrés por sequía generalmente se muestra en una disminución del crecimiento y la producción, según la etapa del cultivo y la magnitud del estrés, como la etapa de crecimiento y el agotamiento de agua, así como el tiempo de duración de las condiciones de sequía (Nasir & Toth, 2022). Si las plantas son sometidas a un déficit hídrico después de haber desarrollado una importante área foliar, las hojas tienen problemas de senescencia y posiblemente abscisión foliar. Este ajuste del área foliar es un cambio importante a largo plazo que mejora el estado de la planta en condiciones de déficit hídrico (Wahab et al., 2022). Un déficit de humedad en el suelo durante la fase reproductiva de la mayoría de las plantas tiene como consecuencia una reducción en mayor grado de los componentes del rendimiento que obtendrían en condiciones óptimas. Existen diferentes prácticas de manejo que mitigan el déficit hídrico, mediante el uso de agentes biológicos como las micorrizas en su acción simbiótica (Wahab et al., 2023), bacterias nitrificantes, productos minerales como los polisilicatos derivados de la zeolita y las enzimas hidrolasas contenidos en las algas marinas, entre otros. El tomate *Salanum Lycopersicum* L. es una de las hortalizas más importantes en el mundo, sin embargo, bajo condiciones de altas temperaturas y déficit hídrico, el cultivo es afectado en su producción. El objetivo de este estudio fue evaluar exctractos de algaenzimas y la zeolita y su efecto y su impacto en el crecimiento, desarrollo y productividad del tomate a cielo abierto en la región de la Comarca Lagunera de los Estados de Durango y Coahuila en el norte de México.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el campo experimental de Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en Bermejillo Durango, México. Sus coordenadas geográficas son 25.8° Latitud norte y 103.6° Longitud oeste, con una altitud de 1,130 msnm. Se usó un diseño experimental de Bloques al azar en parcelas divididas con tres repeticiones, donde las parcelas grandes fueron los contenidos de humedad en el suelo, contenido óptimo de humedad del suelo (COHS) a 25%±2 y contenido deficitario de humedad del suelo (CDHS) a 20%±2. Para ello, previamente se determinó que el suelo del área experimental tiene una CC de 27% y un PMP de 14%, de acuerdo con la determinación por el método de la olla de membrana (Richards, 1948). Las parcelas chicas fueron las aplicaciones de la zeolita y algaenzimas a dosis de 20 t ha^{-1} 50 L ha^{-1}, respectivamente, más la combinación de ambos productos a dosis de 10 t ha^{-1} y 25 L ha^{-1} , también respectivamente, la unidad experimental fue de cuatro surcos de una longitud 4.5 m a una distancia de 20 cm entre plantas y 0.80 m entre surcos, con una densidad de población de 62 500 plantas ha^{-1}; la parcela útil fueron los dos surcos centrales, de los cuales se tomaron cuatro plantas al azar para medir las variables respectivas.

Las variables medidas fueron de crecimiento y desarrollo fuero la altura de planta (cm), índice de contenido de clorofila, vigor de la planta (0-10) y número de hojas por planta; las variables de productividad fueron número de frutos cosechados por planta, peso de frutos por planta y rendimiento (Kg m^{-2}). La base de datos se procesó estadísticamente con el Programa estadístico SAS Versión 9.0.

Resultados y discusión

Crecimiento y desarrollo de la planta. La altura de planta fue significativamente mayor (P> 0.05) cuando se aplicaron las algaenzimas con un valor 51.58 cm bajo condiciones óptimas de humedad del suelo, en comparación a la aplicación de las algaenzimas y la zeolita juntos o separados, donde se obtuvieron los valores más bajos en un rango que varía 35.91 a 37 cm sin diferencia estadística entre estos tratamientos, bajo CDHS. El índice de contenido de clorofila (ICC) fue significativamente mayor (P> 0.05) cuando se aplicó algaenzimas y zeolita en combinación, con un valor de 295.25 en COHS. Los peores tratamientos en esta variable fueron en el testigo y cuando se aplicó la zeolita sola en un rango de 193.33 a 194.42 bajo CDHS. No hubo ninguna diferencia estadística entre tratamientos en la variable número de hojas por planta, lo cual sugiere que este componente anatómico es más independiente del efecto ambiental (Cuadro 1). Lo anterior significa que los productos biológicos y mineral aplicados, solo tienen efecto compensatorio de crecimiento y desarrollo bajo condiciones óptimas de humedad del suelo, pero no son capaces de mitigar el impacto negativo bajo condiciones de déficit hídrico, lo cual sugiere una alta susceptibilidad de la planta del tomate a las deficiencias de humedad edáfica (Florido, et al. 2014).

Componentes del rendimiento y productividad. El número de frutos por planta solo fue significativamente más alto (P< 0.05) y sin diferencia estadística cuando se aplicaron la zeolita, algaenzimas y la combinación de los dos productos bajo condiciones óptimas de humedad del suelo, con un rango de 6.66 a 8.08 frutos por planta; el resto de los tratamientos fueron significativamente más bajos, en rango de 1.83 a 2.66 frutos por planta, bajo CDHS y el testigo también bajo COHS. El peso de fruto por planta y el rendimiento de tomate tuvieron el mismo comportamiento, donde los mejores tratamientos significativamente mayores y sin diferencia estadística entre ellos, fue cuando se aplicaron los productos algaenzimas, zeolita y la combinación de ambos, con un rango de rendimiento de 0.97 a 1.34 Kg m^{-2}, equivalente a 9.7 y 13.4 toneladas por hectárea, bajo COHS a campo abierto y sin una tecnología de aplicación de fertilizantes químicos. Los peores efectos de tratamiento en esta variable se obtuvieron bajo condiciones de déficit hídrico, confirmando la susceptibilidad de este cultivo a las deficiencias de agua en el suelo (Cuadro 2).

Cuadro 1. Efecto en el crecimiento y desarrollo de la planta del tomate *Solanum lycopersicum* L. mediante el uso de productos biológicos y minerales bajo condiciones de déficit hídrico.

Contenido de humedad del suelo (%)	Productos biológico y mineral	AP (cm)	ICC	VIG (0-10)	NH
25% ±2	Testtigo	42.83bc	241.33bc	8.25b	79.33a
	Algaenzimas (A)	51.58a	281.42ab	9.41a	90.16a
	Zeolita (Z)	47.33ab	270.75ab	9.08a	84.25a
	A+Z	422.83bc	295.25a	8.91a	82.75a
20% ±2	Testtigo	38,08cd	194.42d	7.50c	80.41a
	Algaenzimas (A)	36.91d	201-92cd	7.83bc	84.50a
	Zeolita (Z)	35-91d	193.33d	7.83bc	80.33a
	A+Z	37.00d	200.25d	7.50c	77.41a

Prueba de Tukey (P ≤ 0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales.

Cuadro 2. Rendimiento en tomate *Solanum lycopersicum* L. bajo tratamientos de contenidos de humedad y estimulantes físicos y biológicos en la etapa reproductiva del cultivo.

Contenido de humedad en suelo (%)	Productos biológico y mineral	NFC	Peso de fruto (kg planta^{-1})	Rendimiento (kg/m^2)
25% ±2	Testigo	2.41b	0.04b	0.28b
	Algaenzimas (A)	6.66a	0.15a	0.97a
	Zeolita (Z)	8.08a	0.21a	1.34a
	A+Z	6.66a	0.21a	1.33a
20% ±2	Testigo	2.66b	0.02b	0.16b
	Algaenzimas (A)	1.83b	0.04b	0.26b
	Zeolita (Z)	2.58b	0.02b	0.15b
	A+Z	2.66b	0.02b	0.17b

Prueba de Tukey (P ≤ 0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales.

Conclusiones

Las algaenzimas y la zeolita tuvieron una respuesta en crecimiento y productividad del tomate bajo condiciones favorables de humedad edáfica y un efecto equivalente en productividad cuando se aplicaron de manera separada o en combinación ambos productos. La alta susceptibilidad del tomate *Solanum lycopersicum* L. al déficit hídrico no logra un efecto de mitigación al estrés con ninguno de los productos probados en este estudio, ya sea separados o aplicados en combinación.

Referencias

Florido, B. M. & Bao, F., L. (2014). Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (Solanum lycopersicum L.). Cultivos Tropicales, 35(3): 70-88. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000300008&lng=es&tlng=es.

Nasir, M, W. & Toth, Z. (2022). Effect of Drought Stress on Potato Production: A Review. Agronomy. (3), 635. https://doi.org/10.3390/agronomy12030635

Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H. H., Battaglia, M. L.2021. Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. Plants (Basel). 10, 259. https://doi.org/10.3390/plants10020259.

Wahab, A., Abdi, G., Saleem, M. H., Ali, B., Ullah, S., Shah, W., Mumtaz, S., Yasin, G., Muresan, C. C., Marc, R. A. (2022) Plants' Physio-Biochemical and Phyto-Hormonal Responses to Alleviate the Adverse Effects of Drought Stress: A Comprehensive Review. Plants (Basel) 11(13), 1620. https://doi.org/10.3390/plants11131620.

Wahab, A., Muhammad, M., Munir, A., Abdi, G., Zaman, W., Ayaz, A., Khizar, C., Reddy, S. P. P. (2023). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Regulating Growth, Enhancing Productivity, and Potentially Influencing Ecosystems under Abiotic and Biotic Stresses. Plants. 12(17), 3102. https://doi.org/10.3390/plants12173102

PROBLEMÁTICA ACTUAL EN EL ESTABLECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DEL MAÍZ NATIVO EN SALTILLO, COAHUILA

Francisco J. Sánchez-Ramírez[1*]; José Luis Velasco-López[1]; Gerardo Garnica-Chico[2]; Victorino-Lázaro Alejandro[2]

[1*]Departamento de Fitomejoramiento. [2]Postgrado en Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calz Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315 Saltillo, Coah. *Autor para correspondencia: javier.sanchez@uaaan.edu.mx

Introducción

Coahuila de Zaragoza es el tercer estado más grande de México, después de Chihuahua y Sonora. Posee una extensión territorial de 151,571 km^2 que representa el 7.7 % del área total del país. El sector agrícola del estado se divide en cinco distritos: Acuña, Laguna, Frontera, Sabinas y Saltillo. La Laguna es el distrito de mayor vocación agrícola en el estado. En la región sureste de Coahuila, conformada por los municipios de Ramos Arizpe, Arteaga, Parras, General Cepeda y Saltillo predomina la agricultura de temporal, la cual ha mostrado una disminución de la superficie establecida; de acuerdo con el Sistema de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP, 2024), en el ciclo 2023 se sembraron 23,234 has, en el 2020 eran 40,350 has y en 2015 eran 60,624; de acuerdo con las estadísticas, la superficie ha disminuido de forma alarmante a menos de 50 % en menos de una década. La disminución de la superficie representa un riesgo de erosión genética para los recursos fitogenéticos, mismos que se han encontrado menguados debido al abandono gradual del campo asociado principalmente con el desarrollo de la industria. Saltillo es la capital y la ciudad más poblada del estado, predomina económicamente la industria automotriz; posee una superficie de 6,837 km^2 de la cual solo el 12 % se considera de aptitud agrícola (82,044 has). El Registro Agrario Nacional (RAN, 2024) muestra que en el municipio existen 85 ejidos y 15 anexos, los cuales poseen 353,250 has con solo el 15 % (54,231 has) de superficie parcelada y el resto de uso común, también aprovechable como agostadero y fuente de especies aprovechables como el maguey y la lechuguilla.

Materiales y Métodos

En Coahuila se ha reportado la existencia de 8 grupos raciales de maíz: Cónico Norteño, Elotes Cónicos, Celaya, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Ratón, Olotillo y Elotes Occidentales (Rincon et al., 2015); sin embargo, esta diversidad, de amplia importancia fitogenética dada su adaptación a condiciones de producción adversas, se considera amenazada y en riesgo de extinción ante la disminución de la superficie sembrada.

Para conocer la problemática actual del maíz nativo en Saltillo, como una representación del Sureste de Coahuila, se recorrieron 15 ejidos del municipio, donde se desarrollaron 45 entrevistas semiestructuradas con ejidatarios y representantes comunitarios, productores agrícolas, para conocer las condiciones actuales del maíz nativo; se deseaba conocer las condiciones de conservación del recurso fitogenético, la diversidad, la disponibilidad de semilla y la producción. El objetivo de las entrevistas fue definir la problemática actual y planear alguna estrategia de mitigación para la conservación del maíz nativo y la disponibilidad de semillas para los ejidatarios.

Resultados y discusión

En el sector agrícola, dentro del sureste, Saltillo posee la mayor superficie agrícola establecida (5,130 has en 2023), aunque con un limitado valor de la producción (106 millones de pesos) debido al alto grado de siniestrabilidad. En el ciclo 2023, el 70 % de las parcelas establecidas con maíz bajo condiciones de temporal fueron siniestradas, como consecuencia de la sequía y precipitación extemporánea; esta condición ha sido cíclica al menos durante los últimos 6 años y grave durante los últimos 3; esta condición ha acelerado el abandono de las parcelas ejidales en donde existen propiedades ejidales que no se han sembrado desde hace más de 20 años.

La amplia área agrícola disponible contrasta con la limitada superficie sembrada debido principalmente al restringido recurso hídrico, aunque en diferentes casos los pozos para uso agrícola se encuentran rentados para la producción de cultivos intensivos de mayor rentabilidad que los granos básicos. En el municipio se reportan 250 has bajo condiciones de riego para la producción de maíz y el resto, (> 95 %), bajo temporal y con poblaciones nativas; sin embargo, actualmente la superficie ha disminuido de forma alarmante. De acuerdo con el SIAP (2024) hasta el 2021, la superficie establecida con maíz supero las 10,000 has; no obstante, durante 2022 y 2023, la siembra se redujo al 50 % de la superficie (5,000 has).

Durante los últimos tres años debido a la crisis climática no ha sido posible obtener grano y el forraje ha sido limitado. En los últimos 5 años, productores de los Ejidos San Juan del Retiro, el Anexo La Cuchilla, San Francisco del Ejido y Guadalupe Victoria han sufrido la pérdida de sus semillas que en muchos casos habían sido heredadas por generaciones, y que representan una fuente génica de tolerancia y adaptación a condiciones de producción regionales, de gran importancia para enfrentar los retos provocados por el cambio climático de forma regional y nacional. Ante la escasez de semilla, los productores mantienen un intercambio regional, en algunos casos la semilla se comparte en calidad de préstamo, en otros muchos casos se vende. Dentro del municipio, a pesar de la condición climática, existen microrregiones donde la precipitación favorece la producción de grano; estos sitios son comúnmente reconocidos por los productores y es a donde acuden a comprar su semilla para el establecimiento de sus parcelas. La semilla regional de maíz nativo para el ciclo 2024 se cotizo en hasta $ 20.00 el kg de mazorcas y regularmente $ 30.00 el kg de semilla.

La disminución de la superficie establecida con maíz también se asoció con el incremento de la siembra de sorgo forrajero y avena, especies que se adaptan a la región y que han sido subsidiadas a través de la Dirección de Desarrollo Rural por el gobierno estatal y municipal. Los productores han encontrado en estas dos últimas especies algunas ventajas sobre el maíz; la primera es que estos cultivos no son dañados por la fauna silvestre (jabalíes, mapaches y osos), y la segunda, es que, de acuerdo con los mismos productores, en caso de obtener forraje de sorgo o avena, es más fácil y rentable comercializar una “paca de pastura ($150.00)” que 10 kg de grano de maíz ($50.00); sin embargo, la semilla de estas especies no es producida regionalmente sino obtenida de otros estados como Sonora y Chihuahua, y además de que no ha sido suficiente para satisfacer las necesidades regionales, aquella que ha sido establecida muestra desadaptación a las condiciones ambientales de producción.

Actualmente, los ejidatarios consideran que la producción agrícola es una actividad de baja rentabilidad, la cual complementan con diferentes ingresos económicos familiares de diferentes orígenes, principalmente con la producción caprina y como obreros en la industria automotriz.
Con base en el panorama anterior, la alarmante reducción en la siembra de maíz, según los ejidatarios, se debe a algunos de los siguientes factores: 1) La reducción paulatina de los ejidatarios en el campo, debido a que, en muchos casos, ahora son adultos mayores sin la capacidad física para trabajar sus tierras y otros han fallecido. 2) El desplazamiento de la fuerza de trabajo ejidal (jóvenes y adultos) hacia la industria automotriz o el sector de servicios, en búsqueda de mejores ingresos y bienestar familiar. 3) La escasa producción (0.39 t ha^{-1}) y rentabilidad del cultivo asociada con condiciones ambientales adversas debidas a la escasa precipitación anual (330 mm) y extemporánea, y las heladas tempranas, que acortan considerablemente el ciclo de cultivo, 4) El incremento incontrolable de fauna local principalmente poblaciones de jabalíes, mapaches y osos, ha sido también un problema para los productores-ejidatarios, quienes mencionan tener que vigilar día y noche sus parcelas durante el período de llenado de grano. 5) Los limitados apoyos gubernamentales para la producción agrícola regional y 6) La escasa disponibilidad de semilla para establecer sus parcelas de forma continua a través de los años.

Conclusión

La sequía y la extemporánea precipitación han provocado la disminución de la superficie sembrada con maíz nativo; ante esta situación los productores han encontrado especies cultivadas de ciclo biológico menor y de mayor rusticidad que les permiten obtener algún producto cosechable.

La sequía a través de los años ha puesto en riesgo la diversidad del maíz nativo, lo cual se ve reflejado a través de la insuficiente semilla disponible para realizar la siembra de forma continua.

Referencias

Registro Agrario Nacional (RAN). (05 de julio de 2024). Padró e Historico de Núcleos Agrarios. https://phina.ran.gob.mx/consultaPhina.php

Rincón S. F., N. A. Ruiz T. (2015) Maíces nativos en el estado de Coahuila, México. Revista Claridades Agropecuarias. Edición Especial. SAGARPA-ASERCA. ISSN: 0188-9974. http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/especial-201509.asp

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (10 de julio de 2024). Cierre de la producción agrícola por estado. Recuperado de http:// www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/municipio

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA, MORFOMÉTRICA, FITOQUÍMICA Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LAS SEMILLAS DE SIETE ESPECIES DEL GÉNERO *Echinocereus*

José Valero-Galván[1*], Aylin Michelle Martínez[1], Pedro Osuna-Ávila, Miroslava Quiñonez Martínez, Raquel González-Fernández[1]

[1]Departamento de Ciencias Químico Biológicas, Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Anillo envolvente del PRONAF y Estocolmo s/n, Ciudad Juárez, Chihuahua,32310, México. *Autor de correspondencia: jose.valero@uacj.mx

Introducción

Actualmente en la familia de las cactáceas prevalecen estudios acerca de las diferencias en las características morfométricas de las semillas y frutos de especies comerciales y silvestres pertenecientes al género *Opuntia* (López-Palacios et al., 2015; Núñez-Gastélum et al., 2018; González-Cortés et al., 2019; Valero-Galván et al., 2021). Los resultados de estos estudios han elevado el conocimiento de dichas especies respecto a la conservación *in situ* y *ex situ*, impactando en los bancos de germoplasma y estudios de ecología (González-Cortés et al., 2018; González-Cortés et al., 2019). No obstante, esa información es limitada para otros géneros de la familia cactácea como el género *Echinocereus*, el cual se encuentra ampliamente distribuido en el municipio de Juárez, Chihuahua, México y de sus especies existen pocas evidencias de las variaciones morfológicas, morfométricas y contenido fitoquímico de las semillas.

Actualmente, la generación de información sobre la morfología, morfometría, viabilidad y germinación de las semillas y sobre la morfometría y crecimiento temprano de las plántulas es de gran interés para entender mejor la estructura y dinámica de la poblaciones y comunidades de plantas que crecen en las zonas semiáridas y áridas de nuestro país (González-Cortés et al., 2018; González-Cortés et al., 2019). Esto resulta de gran importancia para las especies de la familia Cactaceae, ya que en general son plantas que presentan bajas tasas de reclutamiento y ciclos de vida largos con un crecimiento lento, lo que las hace particularmente vulnerables a factores antropogénicos como el cambio de uso de suelo y la sobrecolecta.

En este trabajo, se analizaron las características morfológicas y morfométricas, el contenido de fitoquímicos y la capacidad antioxidante de las semillas de ocho especies del género *Echinocereus*, con la finalidad de proporcionar información que puede ser utilizada en proyectos de propagación y conservación de estas especies.

Materiales y métodos

Las semillas de las especies de *E. dasyacanthus* y *E. stramineus* se recolectaron de los frutos de plantas ubicadas cerca del Mirador Rosa de los Vientos, Sierra de Ciudad Juárez, Chihuahua. Las semillas de las especies *E. triglochidiatus*, *E. coccineus* y las tres especies de *Echinocereus* spp. fueron recolectadas de frutos de plantas ubicadas en el jardín botánico del Instituto de Ciencias Biomédicas, Ciudad Juárez Chihuahua. Para el análisis morfológico de la semilla, se seleccionaron 10 semillas de forma aleatoria por cada especie y se observaron los caracteres de apariencia de la testa (color, matiz, células de la periferia, borde de la testa), el patrón de las células de la testa (forma celular y su relieve) y la región hilo-micrópilo (orientación, forma y configuración). Todas estas variables se observaron por medio de un estereoscopio óptico (Nikon, Japón). Por último, se seleccionaron 3 semillas por cada especie y se observaron en un Microscopio Electrónico de Barrido (Hitachi SU50000 Schottky) del Laboratorio de Microscopía en el Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Para el análisis morfológico de las semillas, se seleccionaron de forma aleatoria 50 semillas para cada una de las especies de estudio y se pesaron individualmente en una balanza analítica. Posteriormente, las 50 semillas se acomodaron sobre una hoja de cuadricula y se les tomó una fotografía, separándolas por especie. Las imágenes se analizaron mediante el software ImageJ para obtener el área, perímetro, largo y ancho de cada semilla. Para la cuantificación de los contenidos de fitoquímicos y capacidad antioxidante de las semillas de las ocho especies, se realizó un extracto metanólico estándar usando los métodos propuestos por Reyes-Corral et al. (2022). El contenido de los azúcares reductores se determinó mediante el método espectrofotométrico usando el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) propuesto por Reyes-Corral et al. (2022) adaptado de Ávila-Núñez et al. (2012). El contenido de fenoles totales se realizó mediante el método espectrofotométrico del reactivo Folin-Ciocalteu usando el método propuesto por Georgé et al. (2005). El contenido de flavonoides totales se realizó mediante el método espectrofotométrico usando la metodología propuesta por Georgé et al. (2005). El contenido de taninos condensados se realizará mediante el método espectrofotométrico usando el reactivo dimetilaminocinamaldehido (DMAC, Sigma®) propuesto por Zironi et al., 1992. La actividad antioxidante determinada por DPPH y FRAP se realizarán por medio de la metodología propuesta por Moreno-Escamilla et al. 2018.

Se realizaron pruebas de normalidad de los datos obtenidos de los valores morfológicos y contenido fitoquímico y actividad antioxidante. Para observar si existe diferencias entre las variables analizadas entre las siete especies estudiadas se realizó un análisis de ANOVA univariante y prueba de medias Tukey con un nivel de significancia del 95%. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico IBM SPSS Statistics Base 22.0.

Resultados y discusión

Las formas de las semillas presentaron forma reniforme, con regiones curvas y regiones apicales agudas y estrechas entre ellos. Las especies de *E. triglochidiatus*, *Echinocereus* sp. 1 y *Echinocereus* sp. 2, fueron las que presentaron picos y curvas más definidos y diferenciados de las demás especies. Por otro lado, la especie *E. dasyacanthus,* presentó un comportamiento morfológico un poco diferente a las demás especies, debido a que se observó una tendencia a presentar una forma más ovalada, sin marcar tanto las curvas o picos estrechos. En cuanto a la coloración de la testa todas se caracterizaron por tener un color negro y brillante, en el que especies como *Echinocereus* sp. 2 y *E. dasyacanthus* poseen una testa más brillante, mientras que el resto de las especies poseen testa semi-brillante y todas las especies presentaron una testa rugosa, con los límites de relieve celular acanalados y con las celdas elevadas. Las semillas de *E. stramineus* y *Echinocereus* sp. 2, muestran sus células superficiales de la testa con tendencia isodiamétrica tetragonal, por otro lado, en las especies de *E. coccineus*, *E. triglochidiatus*, *E. dasyacanthus*, *Echinocereus* sp. 1 y *Echinocereus* sp. 3 presentaron un arreglo isodiamétrica hexagonal, aunque no todas fueron regulares, ya que especies como *E. triglochidiatus* presentaron estriaciones irregulares y alargadas. Se encontró que, en todas las especies estudiadas, aumentaban el tamaño de sus células periclinares, conforme se van acercando más hacia la región apical; dichas células se encontraron planas como en *E. stramineus* y *Echinocereus* sp. 2, mientras que las demás especies se encontraron completa o parcialmente convexas o cóncavas.

El análisis de las funciones discriminantes canónicas de las variables morfológicas y fitoquímicas de las semillas mostró que las especies con las mayores diferencias en esas características fueron *E. stramineus* y *Echinocereus* sp. 2, mientras que el análisis de las funciones canónicas del contenido fitoquímico mostró una mayor diversidad entre las especies. Las especies *Echinocereus* sp. 1., *Echinocereus* sp. 2, *Echinocereus* sp. 3.m mantuvieron un comportamiento

muy similar en los contenidos de fitoquímicos y que se aleja del resto de las especies. De igual manera, *E. coccineus* y *E. triglochidiatus* mantuvieron un comportamiento similar entre sí. Por último, las especies de *E. stramineus* y *E. dasyacanthus*, se mantuvieron alejadas del resto del grupo en cuanto a las variables fitoquímicas, siendo *E. stramineus*, la especie que se mantuvo más alejada con respecto a sus cuantificaciones fitoquímicas, mismo comportamiento que dicha especie presentó en cuanto a sus variables morfológicas manteniéndose alejada del resto de las especies (Figura 1).

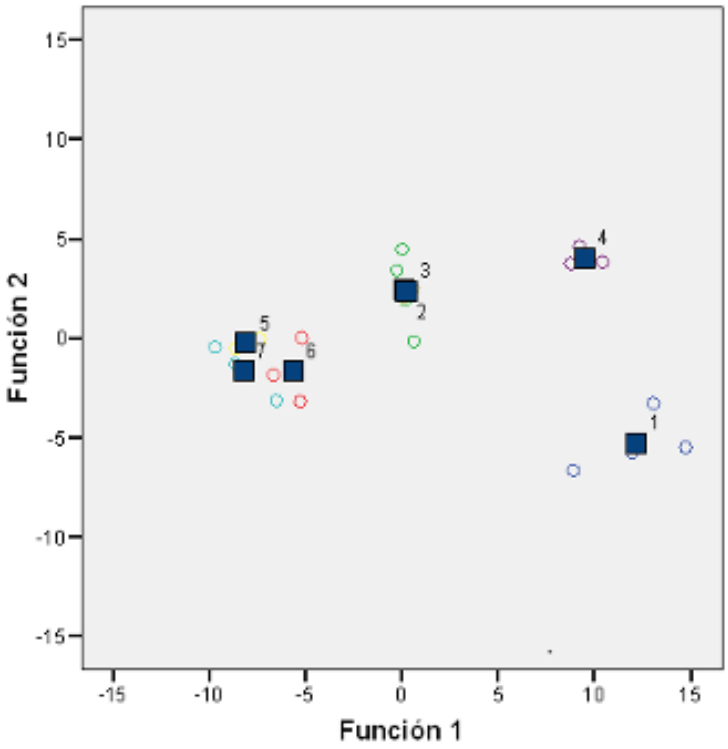


Figura 1. Diagrama de dispersión de las funciones discriminantes canónicas de las características fitoquímicas de las siete especies de *Echinocereus*. Especie 1; *E. stramineus*, Especie 2; *E. coccineus*, Especie 3*; E. triglochidiatus*, Especie 4; *E. dasyacanthus*. Especie 5; *Echinocereus* sp. 1. Especie 6; *Echinocereus* sp. 2, Especie 7; *Echinocereus* sp. 3. Cada punto representa una muestra individual, y su distribución está determinada por las funciones discriminantes.

Conclusiones

Las semillas del género *Echinocereus* presentaron una forma reniforme y ovaladas, con una coloración de la testa de color negro y brillante, rugosa, con los límites de relieve celular acanalados y con las celdas elevadas, con tendencia isodiamétrica tetragonal a isodiamétrica hexagonal. El análisis de las funciones discriminantes canónicas de las variables morfológicas y fitoquímicas de las semillas mostró que las especies con las mayores diferencias en esas características fueron *E. stramineus*, presentando las características morfométricas más pequeñas y un mayor contenido de taninos, azúcares reductores y actividad antioxidante determinada por FRAP.

Referencias

Ávila-Núñez, R., Rivera-Pérez, B., Hernández-Motzezak, R., Chirinos, M. (2012). Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores en *Agave cocui* Trelease. *Multiciencias,* 12, 129-136.

Georgé, S., Brat, P., Alter, P., Amiot, M.J. (2005). Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1370-1373. https://doi.org/10.1021/jf048396b

González-Cortés, A., Reyes-Valdés, M. H., Torres, V., Villarreal-Quintanilla, J. A. & Ramírez-Godina, F. (2018). Pre-germination treatments in four prickly pear cactus (*Opuntia* sp.) species from Northeastern Mexico. *Australian Journal of Crop Science,* 12(10), 1676-1684. https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.10.pne1430

González-Cortés, A., Ramírez-Godina F., Reyes-Valdés, M. H., Robledo-Torres V., Pérez- Rodríguez M. Á., Villarreal-Quintanilla J. A. & López-Benítez, A. (2019). Morfología de semillas de siete especies del género *Opuntia* (Cactaceae) del sureste de Coahuila (México). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica,* 54(4), 1-10. https://doi.org/10.31055/1851.2372.v54.n4.23572

López-Palacios, C., Peña-Valdivia, C. B., Reyes-Agüero, J.A., Aguirre-Rivera, J.R., Ramírez-Tobías, H.M., Soto-Hernández, R.M. & Jiménez-Bremont, J.F. (2015). Inter- and intra-specific variation in fruit biomass, number of seeds, and physical characteristics of seeds in *Opuntia* spp., Cactaceae. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 62, 1205-1223. https://doi.org/10.1007/s10722-015-0223-9

Moreno-Escamilla, O., Álvarez-Parrilla, E., De la Rosa, L., Núñez-Gastélum, J. A., González-Aguilar, G., Rodrigo-García, J. (2017). Effect of different elicitors and preharvest day application on the content of phytochemicals and antioxidant activity of Butterhead Lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata) produced under hydroponic conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 65, 5244-5254. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b01702

Núñez-Gastélum, J. A., González-Fernández, R., Hernández-Herrera, A., Campas- Baypoli, O., Rodríguez-Ramírez, R., Lobo, N. & Valero-Galván, J. (2018). Morphological characteristics, chemical composition, and antioxidant activity of seeds by four wild *Opuntia* species from North of Mexico. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 20, 23-33. https://doi.org/10.56890/jpacd.v20i.26

Reyes-Corral, V.I., González-Fernández, R., Quiñónez-Martínez, M., Rodrigo-García, J., Garza-Vallejo, G. I. & Valero-Galván, J. (2022). Characterization of the morphometry, germination process, phytochemicals, and antioxidant capacity of seeds of three species of the genus *Cylindropuntia* (Cactaceae) of Chihuahua state. *Journal of the. Professional Association for Cactus Development,* 24, 251-268. https://doi.org/10.56890/jpacd.v24i.506

Valero-Galván, J., González-Fernández, R., Sigala-Hernández, A., Núñez-Gastélum, J. A., Ruiz-May, E., Rodrigo-García, J. & Martínez-Ruiz, N. D. R. (2021). Sensory attributes, physicochemical and antioxidant characteristics, and protein profile of wild prickly pear fruits (*O. macrocentra* Engelm., *O. phaeacantha* Engelm., *and O. engelmannii* Salm-Dyck ex Engelmann.) and commercial prickly pear fruits (*O. ficus-indica* (L.) Mill.). *Food Research International,* 140, 109909. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109909

Zironi, R., Buiatti, S., Celotti, E. (1992). Evaluation of a new colorimetric method for the determination of catechins in musts and wines. *Wein-Wissenschft, Wiesbaden,* 47, 1-7.

QIIME2 Y EL MICROBIOMA DE RIZÓSFERA DE MAÍZ CRIOLLO CON INOCULACIÓN BACTERIANA

Jesús Vásquez-Arroyo[1]*, Galilea Ramírez-Regis[1], Gloria Nayeli Hernández-Ibarra[1], Eduardo Blanco-Contreras[2], Alejandra Cabrera-Rodríguez[2], Erika Nava-Reyna[3], Luis, M. Valenzuela-Núñez[4], Cristina García-De la Peña[4]*

[1]División de Estudios de Posgrado e Investigación. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad s/n, Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, México, 35010. [2]Departamento de Agroecología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez Km 2.0, Colonia Valle Verde. CP 27054, Torreón, Coahuila, México. [3]Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Margen Derecho del Canal de Sacramento km 6.5. Gómez Palacio, Durango, México, 35140. [4]Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad s/n, Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, México, 35010. *Autor de correspondencia: cristina.garcia@ujed.mx

Introducción

En la actualidad las nuevas tecnologías en secuenciación molecular nos han permitido describir de manera detallada el microbioma de diversos nichos ecológicos, un ejemplo es la secuenciación de nueva generación (NSG), que analiza de manera simultánea grandes cantidades de DNA en poco tiempo (Rubio et al., 2020); aunado a esto, existen plataformas como QIIME-2, que nos permiten analizar grandes cantidades de datos con el propósito de conocer la estructura de comunidades microbianas.

El maíz criollo es un cultivo importante en diversos países, debido a su valor nutricional y su relevancia cultural. En México del 70-80% de la superficie sembrada utiliza maíz criollo (Godina et al., 2020). Dentro de la Comarca Lagunera (Coahuila y Durango), este cultivo tiene relevancia económica para la producción de alimentos derivados para aves y bovinos, principalmente (Ramírez et al., 2019)., Grandes superficies se emplean para la producción de maíz forrajero en la región del Noreste de México empleando variedades mejoradas. Los fertilizantes y plaguicidas sintéticos han desempeñado un papel esencial para incrementar el rendimiento agrícola, sin embargo, su uso indiscriminado a largo plazo ha ocasionado daños ambientales al suelo como lo es en el ciclo del carbono (Li et al., 2023; Papin et al., 2024).

La demanda de la producción agrícola genera desafíos ambientales y se buscan alternativas amigables, destacando el uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Vuolo et al., 2022), las cuales son aisladas de las raíces (rizósfera, principalmente) y resultan ser prometedoras (Daraz et al., 2023). Se ha reportado que la producción y calidad del maíz está influenciada por los microorganismos que se encuentran en su rizósfera (Gao et al., 2023), cuya diversidad de microorganismos aporta beneficios al cultivo (Wang et al., 2022). Sin embargo, sus cualidades de promoción in vitro, no siempre logran ser expresadas en campo (Ibarra et al., 2023) y se requiere de mayor investigación. Por tanto, se estudió el empleo de tres inoculantes bacterianos en dos razas de maíz criollo y los efectos en el rendimiento vegetativo y la diversidad bacteriana de su rizósfera empleando QIIME-2 como plataforma bioinformática para su análisis.

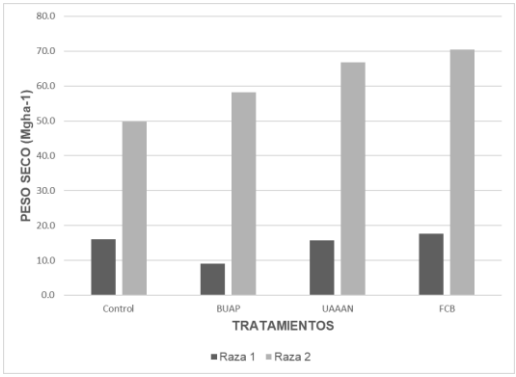
Materiales y métodos

La experimentación se realizó en el Campo Experimental El Retiro, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en el municipio de Francisco I. Madero, Coahuila de Zaragoza, México (25º 49' 53.45" N y 103º 7' 4.03" O), mientras que el análisis bioinformático de los datos se realizó en el posgrado de la Facultad de Ciencias Biológicas UJED, Gómez Palacio, abarcando el periodo de junio 2023 a junio 2024.

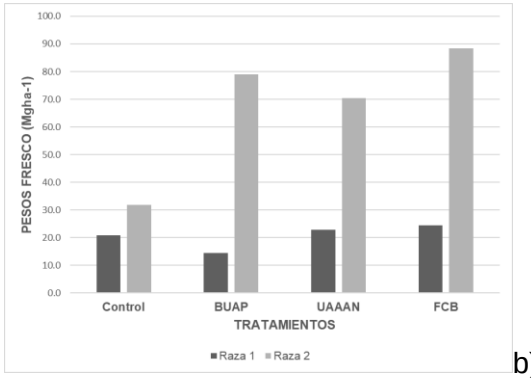
La parcela experimental consistió de 6m^2 (0.75m x 8m), mientras que la parcela útil fue 5.25m^2 (0.75m x 7m). Se utilizó un diseño experimental factorial (AxB) con cuatro repeticiones; donde el factor A (razas de maíz criollo; R1 y R2) y el factor B, los inoculantes BUAP (patente de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, compuesto por *Azospirillum brasilense* Sp7, *Gluconacetobacter diazotrophicus* PAI5, *Paraburkholderia unamae* MTI-641, *Sphingomonas* sp. OF-178, *Bradyrhizobium* sp. MS22, *Pseudomonas putida* KT2440), UAAAN (aislados bacterianos del suelo experimental), FCB (especies bacterianas de la Facultad de Ciencias Biológica de la UJED; *Pseudomonas paralactis*, *Sinorhizobium meliloti*, *Acinetobacter radioresistens* y *Bacillus* sp., así como un control (testigo, sin inocular).

La siembra de la semilla inoculada se realizó el 3 de septiembre del 2023. A los 60 días después de la siembra se sacó la planta completa separando la raíz, y a la planta se le determinó la biomasa en peso fresco y seco. De la raíz se llevó a cabo la extracción de DNA de la rizosfera con tres repeticiones. Se utilizó el kit de DNA MiniPrep de la marca Zymo Research™ conteniendo 750 µl de buffer lisante/estabilizador Xpedition™. Con la ayuda de un disruptor celular TerraLyzer™ se agitó cada tubo durante 45 segundos y se conservó a temperatura ambiente. Se realizó la amplificación de la región V3-V4 del gen 16S rARN mediante los iniciadores recomendados por Klindworth et al., (2013), generando un amplicón de ~460 pb. Posteriormente, se sintetizaron las secuencias con adaptadores "overhang" del protocolo de Ilumina generando un amplicón de ~550 pb. El análisis de las secuencias se realizó con Quantitive Insights Into Microbial Ecology v.2 (QIIME2), mientras que la taxonomía se asignó utilizando la base de datos Greengenes2 (McDonald et al., 2023).
Resultados y discusión

La R2 de maíz criollo presentó los mejores valores promedio en peso fresco y seco (Mgha^{-1}) así como el mayor número de taxa bacterianos (Figura 1, Cuadro 1), lo cual podría explicar las diferencias encontradas, dado que se ha reportado que a mayor diversidad de microbios, puede significar mayores efectos en promover el crecimiento y desarrollo de la planta (Tiwari et al., 2024). Cabe resaltar que dentro de cada raza, el tratamiento de FCB resultó ser más efectivo, pues ambas razas registraron mayor rendimiento en términos de peso fresco y peso seco. Estos resultados son coherentes con diversas investigaciones que señalan que la inoculación con *Bacillus* sp. aumenta la biomasa vegetal y la biomasa de las raíces, además, *B. flexus* se ha relacionado con la promoción de bacterias benéficas; por otro lado, el uso de este género también aumenta la eficiencia en el uso del agua, a pesar del estrés hídrico, por lo que se recomienda en condiciones de agua limitada (Jalloh et al., 2024; Nawaz et al., 2024).



a)



b)

Figura 1. Rendimientos de peso fresco (a) en Mg ha^{-1} y peso seco (b) Mg ha^{-1} de R1 y R2 a los 60 días después de la siembra.

En el Cuadro 1, se muestran los resultados de QIIME-2 con la diversidad taxonómica observada entre las razas analizadas. La R2 presentó una mayor diversidad bacteriana, especialmente en los niveles más específicos como familia, género y especie; sin embargo, ésta no fue estadísticamente significativa. Por un lado, el phylum que predominó en todos los tratamientos fue Proteobacteria, en el cual se encuentran extremófilos asociados al crecimiento vegetal (Tiwari *et al.,* 2024). Los resultados obtenidos son similares a los de la investigación previa realizada en 2023, donde este phylum también se destacó como el más abundante (Vazquez-Arroyo *et al.,* 2023). Mientras tanto, los géneros cultivables más relevantes encontrados fueron *Longimicrobium* y *Ramlibacter,* el primero de ellos se encontró en mayor abundancia relativa en la R2 y control, y aumentó de 2.99% a 4.32% en R1 y de 3.44% a 3.73 % en R2 con el inoculante proveniente de FCB; por otra parte, *Ramlibacter* se encontró con más presencia en la R1, en el control y en la R2 con el inoculante de UAAAN.

Cuadro 1. Número de taxa bacterianos obtenidos con base en la media de ASVs.

Tratamiento	Filo	Clase	Orden	Familia	Género	Especie
R1C	39	90	306	527	1095	1453
R1BUAP	40	88	301	513	1059	1423
R1UAAAN	41	91	296	502	999	1310
R1FCB	42	90	307	520	1046	1372
R2C	41	96	307	544	1093	1446
R2BUAP	43	101	319	553	1097	1460
R2UAAAN	41	94	308	537	1063	1408
R2FCB	41	96	299	517	1027	1364

Conclusiones

El rendimiento promedio (Mg ha^{-1}), fue mayor para R2, tanto en peso fresco como seco.

No se encontraron diferencias significativas en el microbioma bacteriano de la rizósfera de las dos razas de maíz estudiadas.

La mayoría de géneros encontrados son no cultivables, por lo que no tienen asignación taxonómica, de ellos resaltan *Longimicrobium* y *Ramlibacter*, ambos géneros se encuentran en ambas razas y se observa mayor abundancia de ellos en R2.

Referencias

Daraz, U., Ahmad, I., Li, Q.-S., Zhu, B., Saeed, M. F., Li, Y., Ma, J., & Wang, X.-B. (2023). Plant growth promoting rhizobacteria induced metal and salt stress tolerance in Brassica juncea through ion homeostasis. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 267*, 115657. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2023.115657

Gao, S., Du, Z., Ju, F., Yan, P., Niu, B., & Yao, Y. (2023). Effect of rhizosphere microorganisms on aflatoxin contamination of maize. *Heliyon, 9*(5), e15949. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e15949

Godina Rodríguez, J. E., Garay Martínez, J. R., Mendoza Pedroza, S. I., Joaquín Cancino, S., & Rocandio Rodríguez, M. (2020). Rendimiento de forraje y composición morfológica de maíces nativos en condiciones semiáridas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 24*, 59–68. htt DOI: 10.29312/remexca.v0i24.2358

Ibarra-Villarreal, A. L., Villarreal-Delgado, M. F., Parra-Cota, F. I., Yepez, E. A., Guzmán, C., Gutierrez-Coronado, M. A., Valdez, L. C., Saint-Pierre, C., & Santos-Villalobos, S. D. L. (2023). Effect of a native bacterial consortium on growth, yield, and grain quality of durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) under different nitrogen rates in the Yaqui Valley, Mexico. *Plant Signaling & Behavior, 18*(1), 2219837. DOI: 10.1080/15592324.2023.2219837

Jalloh, A. A., Khamis, F. M., Yusuf, A. A., Subramanian, S., & Mutyambai, D. M. (2024). Long-term push–pull cropping system shifts soil and maize-root microbiome diversity paving way to resilient farming system. *BMC Microbiology*, *24*(1), 92. DOI: 10.1186/s12866-024-03238-z

Klindworth, A., Pruesse, E., Schweer, T., Peplies, J., Quast, C., Horn, M., & Glöckner, F. O. (2013). Evaluation of general 16S ribosomal RNA gene PCR primers for classical and next-generation sequencing-based diversity studies. N*ucleic Acids Research, 41*(1), e1–e1. https://doi.org/10.1093/nar/gks808

Li, Y., Wang, C., Chang, H., Zhang, Y., Liu, S., & He, W. (2023). Metagenomics reveals the effect of long-term fertilization on carbon cycle in the maize rhizosphere. *Frontiers in Microbiology, 14*, 1170214. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1170214

McDonald, D., Jiang, Y., Balaban, M. et al. Greengenes2 unifies microbial data in a single reference tree. Nat Biotechnol 42, 715–718 (2024). https://doi.org/10.1038/s41587-023-01845-1

Nawaz, H., Akgün, İ., & Şenyiğit, U. (2024). Effect of deficit irrigation combined with *Bacillus simplex* on water use efficiency and growth parameters of maize during vegetative stage. *BMC Plant Biology, 24*(1), 135. DOI: 10.1186/s12870-024-04772-8

Papin, M., Philippot, L., Breuil, M. C., Bru, D., Dreux-Zigha, A., Mounier, A., Le Roux, X., Rouard, N., & Spor, A. (2024). Survival of a microbial inoculant in soil after recurrent inoculations. *Scientific Reports, 14*(1), 4177. DOI: 10.1038/s41598-024-54069-x

Ramírez, B. A., González, A., Valdivia, R., Salas, J. M., & García, J. A. (2019). Tarifas eficientes para el agua de uso agrícola en la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10*(3), 539-550. DOI: 10.29312/remexca.v10i3.1295

Rubio, S., Pacheco-Orozco, R. A., Gómez, A. M., Perdomo, S., & García-Robles, R. (2020). Secuenciación de nueva generación (NGS) de ADN: presente y futuro en la práctica clínica. *Universitas Médica*, *61*(2). DOI: 10.11144/Javeriana.umed61-2.sngs

Tiwari, P., Bose, S. K., Park, K.-I., Dufossé, L., & Fouillaud, M. (2024). Plant-microbe interactions under the extreme habitats and their potential applications. *Microorganisms, 12*(3), 448. DOI: 10.3390/microorganisms12030448

Vásquez-Arroyo, J., López-Astudillo, M., Delgado-Castro, Y., Morales-Martínez, E. M., Blanco-Contreras, E., Zapata-Sifuentes, G., Cabrera-Rodríguez, A., Guillén-Enríquez, R. R., Moreno-Reséndez, A., & García-de La Peña, C. (2023). Microbioma rizosférico de bacterias en maíz criollo de grano: impacto sobre el rendimiento bajo transición agroecológica. *Terra Latinoamericana, 41*. DOI: 10.28940/terra.v41i0.1664

Vuolo, F., Novello, G., Bona, E., Gorrasi, S., & Gamalero, E. (2022). Impact of plant-beneficial bacterial inocula on the resident bacteriome: Current knowledge and future perspectives. *Microorganisms, 10*(12), 2462. DOI: 10.3390/microorganisms10122462

Wang, N., Li, H., Wang, B., Ding, J., Liu, Y., Wei, Y., Li, J., & Ding, G.C. (2022). Taxonomic and functional diversity of rhizosphere microbiome recruited from compost synergistically determined by plant species and compost. *Frontiers in Microbiology*, *12*. DOI: 10.3389/fmicb.2021.798476

EXTRACCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE PROTEÍNAS DE HARINA DE FRIJOL COMÚN SILVESTRE

Liliana Wallander-Compeán[1*], Norma Almaraz-Abarca[1], José Antonio Ávila-Reyes[1], Nancy Noemi Rodarte-Rodríguez[1], Shaila Nayeli Pérez-Salinas[1], Heberto Salas-Ayala[1]

[1]Instituto Politécnico Nacional CIIDIR Unidad Durango, Av. Sigma 119, Fraccionamiento 20 de noviembre II, Durango, Durango. C.P.34220. *Autor de correspondencia: lilywallcom@gmail.com

Introducción

Las leguminosas presentan una elevada proporción de carbohidratos solubles (35-70%), bajo contenido en grasas (1-2%), alto porcentaje de proteínas, en general superior al 20%, fibra que varía (5-10%), destacando su alto contenido en calcio y hierro (Kan et al., 2018).

En conjunto con el maíz el frijol ocupa un lugar importante en la economía agrícola de México, ya que constituyen la dieta básica del pueblo mexicano y en consecuencia son los productos de mayor importancia socioeconómica. El cultivo de *Phaseolus* en México comprende cerca de 70 especies; de las cuales el frijol común (*P. vulgaris* L.) es relevante por su importancia económica, social, biológica, alimenticia y cultural (CEDRSSA, 2020).

Las proteínas de frijol, son importantes por ser consideradas proteínas. Por otra parte, los recursos silvestres de frijol poseen una fuerte adaptabilidad al medio ambiente, sirviendo para los nuevos cultivos de semilla domesticada. Se han propuesto diversas alternativas tecnológicas para el aprovechamiento del frijol domesticado, ya que es considerada como una de las principales fuentes de proteína en Latinoamérica y África (Omae et al., 2012).

El método de Bradford para la cuantificación de proteínas, se basa en la unión no covalente del colorante Coomassie Blue G-250 con la proteína. Este colorante, en ausencia de proteínas posee una coloración rojo pálida, mientras que en presencia de proteínas produce una coloración azulada, con una absorbancia en el espectro visible de 595 nm (Cotto et al., 2018).

Materiales y métodos

La especie de frijol silvestre analizada fue *P. vulgaris*, se usaron ocho formas silvestres de municipios del Estado de Durango (El Mezquital, Súchil, Nombre de Dios, Canatlán, Nuevo Ideal y Pueblo Nuevo) y una variedad domesticada (Canatlán), obtenidas de la colección de semillas de frijol silvestre del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional unidad Durango del Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR IPN Durango).

Extracción y fraccionamiento de las proteínas. Las semillas se molieron finamente y se hizo la extracción, posteriormente se cuantificó con Bradford. Se estudió el efecto de utilizar tres solventes en un sistema secuencial para extraer en forma fraccionada las proteínas del frijol, seleccionándose como solventes: cloruro de sodio 0.5 M, hidróxido de sodio 0.01 M, y agua destilada. Se siguió el sistema de fraccionamiento a través de diferentes solventes, el residuo de extracción con un solvente se sometió a extracción con un segundo solvente, y así sucesivamente hasta utilizar los tres solventes propuestos. Se obtuvieron así tres extractos de una misma porción de material y un solo residuo. (Gómez et al., 1983)

Cuantificación de proteínas con el Método de Bradford. Existen diferentes métodos para la cuantificación de proteínas. Muchos de estos métodos se basan en: a) la propiedad intrínseca de las proteínas para absorber luz en el UV, b) para la formación de derivados químicos, o c) la capacidad que tienen las proteínas de unir ciertos colorantes. El método de Bradford se basa en la unión de un colorante, Coomassie Blue G-250 (también Serva Blue) a las proteínas.

Las fracciones de proteínas se cuantificaron por triplicado mediante el método de Bradford (1976), a partir de una curva estándar construida con seis concentraciones de albúmina de suero bovino, obteniendo la ecuación de la recta, Abs595nm= 9.6667 [albumina de suero bovino] – 7.7778, coeficiente de correlación r = 0.997.

Resultados y discusión

Extracción de las fracciones de proteínas. Se obtuvo un buen rendimiento en la extracción de proteínas de las distintas harinas de las formas silvestres de frijol común con el método de Gómez *et al*. (1983). Se observó un contenido de Globulinas alto en la semilla proveniente de El Mezquital con 56.78mg/mL, y en la población de Nuevo Ideal se observó el menor contenido con 39.92 mg/mL. En la fracción de glutelinas la mayor concentración se encontró en la población de Pinto Saltillo con 36.83 mg/mL y la menor cantidad en Nuevo Ideal con 23.48 mg/mL. De la fracción de albuminas la mayor concentración se encontró en la población silvestre de El Mezquital con 17.79 mg/mL y la menor cantidad se encontró en la población de Nombre de Dios con 5.78 mg/mL.

En la literatura se reporta la clasificación de las diferentes fracciones de acuerdo a su solubilidad: globulinas (65%), albúminas (15%) y glutelinas (10%) y prolaminas (2%) (Mani et al., 2021). Los resultados encontrados en el presente estudio confirman que la mayor fracción encontrada en formas silvestres de frijol común son las globulinas.

Cuadro 1. Cuantificación de las fracciones de proteínas de ocho formas silvestres y una variedad domesticada (Pinto Saltillo) de frijol común de Durango, México.

Población	Globulinas mg/mL	Glutelinas mg/mL	Albuminas mg/mL
El Mezquital	56.10 ± 1.49 a	28.06 ± 2.01 abc	17.79 ± 1.15 a
Súchil 1	55.89 ± 0.77 a	24.44 ± 1.89 bc	9.81 ± 2.60 c
Súchil 2	57.59 ± 0.62 a	29.59 ± 2.05 ab	13.96 ± 0.70 ab
Nombre de Dios	51.08 ± 2.33 bc	27.87 ± 3.94 abc	5.78 ± 1.32 d
Canatlán	52.42 ± 0.61 b	25.53 ± 1.91 bc	5.91 ± 0.75 d
Nuevo Ideal	39.92 ± 0.33 e	23.48 ± 1.88 c	6.01 ± 1.50 d
Pueblo Nuevo 1	47.74 ± 2.62 cd	26.80 ± 3.53 bc	15.22 ± 1.37 ab
Pueblo Nuevo 2	49.44 ± 2.13 bcd	33.29 ± 1.16 a	13.46 ± 1.75 bc
Pinto Saltillo	46.53 ± 0.55 d	32.74 ± 0.36 a	12.79 ± 2.45 bc
Pr > F(Modelo)	<0.0001	0.024	0.000
Significativo	Sí	Sí	Sí

Diferentes letras minúsculas indican diferencias significativas entre las poblaciones silvestres, P <0,05 (prueba de Tukey), los datos son media ± DE (n = 3).

Las semillas de frijol domesticado han sido ampliamente estudiadas, estas son consumidas después del remojo y tratamiento térmico, reduciendo la concentración de taninos, ácido fítico y los factores anti nutricionales solubles y termolábiles como la fitohemaglutininas, inhibidores de la proteasa y oligosacáridos. Esto mejora la palatabilidad, la digestibilidad de la proteína y disponibilidad de algunos nutrientes (Corzo-Ríos et al., 2020; Campos-Vega et al., 2018).

En la figura 1 se muestran los resultados de los análisis de componentes principales (A) los primeros tres factores explicaron el 85.73% de la varianza en los dos primeros componentes principales. Para el componente 1 las variables de albuminas y glutelinas fueron las que aportaron esta varianza, en las poblaciones de Nuevo Ideal con un 43% del total de las contribuciones, en el componente dos la fracción de Globulinas aporto esa varianza, las poblaciones relacionadas con este componente son El Mezquital y Súchil 2. El análisis de agrupamiento (B) reveló dos grupos principales, uno de frijoles silvestres procedentes de las localidades de la Región Sur (El Mezquital, Pueblo Nuevo 1 y 2, Súchil 2 y Pinto Saltillo y una población de la Región Noroeste (Nuevo Ideal), y el segundo grupo con poblaciones provenientes de la Regiones Centro del estado (Nombre de Dios, Canatlán y Súchil 1). Las regiones del centro se caracterizan por tener clima semi templado, la Región Noroeste con lima seco semicálido y la Región del Sur con clima templado subhúmedo y en la parte de Pueblo Nuevo, semifrío húmedo con abundantes lluvias en el verano.

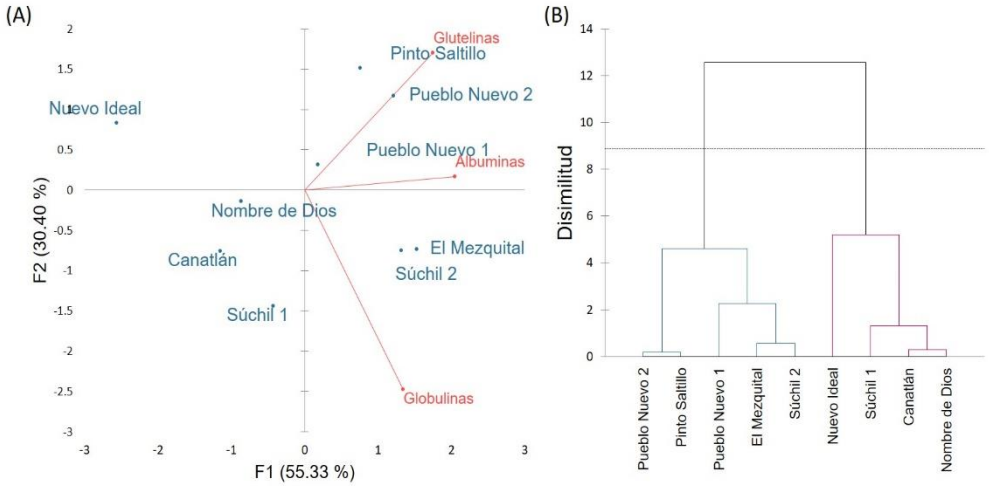


Figura 1. Resultados de los análisis de componentes principales (A) y agrupamiento (B) basados en la cuantificación de las fracciones de proteínas de semillas de ocho formas silvestres y una variedad domesticada (Pinto Saltillo) de frijol común de Durango, México.

Conclusiones

La extracción de proteína de diferentes formas silvestres de frijol común y una variedad domesticada tuvo buen rendimiento, la semilla con mayor concentración de las diferentes fracciones de proteínas fue la proveniente de El Mezquital

.

El método de extracción tuvo buena efectividad en el correcto fraccionamiento de las proteínas, esta información de especies silvestres de frijol sirve de base para la planificación de programas de fitomejoramiento para semillas de frijol domesticado.

Es necesario realizar estudios de palatabilidad, la digestibilidad de la proteína y disponibilidad de algunos nutrientes en especies silvestres, y de esta manera aprovechar este recurso para su consumo.

Agradecimientos:
CONAHCYT y al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo para la realización de este trabajo.

Referencias

Bradford, M. M. 1976. Determinación de proteínas: Método de Bradford. Anal. Biochem, 254, 248-254.

Campos-Vega, R., Nieto-Figueroa, K. H., & Oomah, B. D. (2018). Cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds. Trends in Food Science & Technology, 81, 172-184. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.022

CEDRSSA. 2020. Mercado del frijol, situación y prospectiva. http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/53Mercado%20del%20frijol.pdf

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 Mexico. International Journal of Gastronomy and Food Science, 20, 100206. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100

Cotto Yépez, O. E., Vera de la Cruz, S. P., & García, D. 2018. Identificación de proteínas en el frejol común (*Phaseolus vulgaris)* asociadas al estrés hídrico (Doctoral dissertation, ESPOL. FCV.).

Gomez-Brenes, R. A., Nunez, E. I., Bressani, R., & Braham, J. E. 1983. Effect of various solvents on the extraction of protein fractions of beans (*Phaseolus vulgaris*). Archivos Latinoamericanos de Nutricion, 33(3), 503-518.

Kan, L., Nie, S., Hu, J., Wang, S., Bai, Z., Wang, J., ... & Song, K. 2018. Comparative study on the chemical composition, anthocyanins, tocopherols and carotenoids of selected legumes. Food chemistry, 260, 317-326.

Mani-López, E., Palou, E., & López-Malo, A. 2021. Legume proteins, peptides, water extracts, and crude protein extracts as antifungals for food applications. Trends in Food Science & Technology, 112, 16-24.

Omae, H., A. Kumar, y M. Shono. 2012. Adaptation to high temperature and water deficit in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) during the reproductive period. Journal of Botany doi:10.1155/2012/803413

RIESGOS A LA SALUD HUMANA POR LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA COMARCA LAGUNERA, MÉXICO

Rebeca Pérez-Morales[1*], Edgar Olivas-Calderón[1], Esperanza Yasmin Calleros-Rincón[1], Alberto González-Zamora[2]

[1]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Químicas. Av. Artículo 123 SN, Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, México. [2]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas, Av. Universidad SN, Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, México. * Autor para correspondencia: rebecapms@ujed.mx

Introducción

La toxicología ambiental estudia los efectos de los compuestos contaminantes y su impacto en el ambiente y los organismos vivos, incluida la salud de los humanos, además de que caracteriza, evalúa, monitorea, predice la ruta metabólica y los efectos de estos contaminantes (Laws, 2013). Existe una gran variedad de compuestos químicos que se vierten en los ecosistemas, incluyendo los provenientes de diversas industrias y la producción de alimentos tanto de origen animal como vegetal, que incluyen residuos de plaguicidas y estiércol, entre otros (Huerta, 2022). Las poblaciones establecidas en zonas áridas, a pesar de tener densidades poblacionales más bajas, con respecto a las que localizan en otras condiciones ambientales, se han convertido en sitios altamente contaminados debido a la diversidad de actividades económicas y el consecuente deterioro constante de sus ecosistemas, en los que se incluye cambios en el uso del suelo, como es el caso de la Comarca Lagunera, donde los suelos y la vegetación naturales han sido reemplazados debido a estas actividades (González-Zamora y Pérez-Morales, 2025). Las grandes cantidades de agua utilizadas para las actividades económicas provoca su contaminación además de la extracción desde profundidades cada vez mayores lo que ha deteriorado los ecosistemas y la salud de sus habitantes (García-Torres et al., 2022a).

Existen varias fuentes de contaminación en la Comarca Lagunera, principalmente relacionadas con las actividades mineras y agrícolas, incluyendo el uso de plaguicidas organoclorados; estas actividades pueden causar problemas significativos al medio, incluyendo la erosión del suelo y la concentración de metales pesados tanto en el suelo como en los cuerpos de agua. Esta contaminación impacta el crecimiento y desarrollo de la fauna y se acumula en las plantas y hortalizas cultivadas, muchas de las cuales son consumidas por algunos sectores de la población (Pérez-Morales et al., 2023). La baja producción de materia orgánica en las zonas áridas es responsable de la baja capacidad de retención de los suelos, por lo que los procesos de lixiviación ocurren a un ritmo relativamente alto, esto significa que la contaminación de las aguas subterráneas puede ser mayor en zonas con estas condiciones de que en otras áreas; es decir, la vulnerabilidad de las aguas subterráneas a los contaminantes es mayor en las zonas como la Comarca Lagunera.

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda de INEGI en 2020, la población de La Comarca Lagunera es de 1 605 303 habitantes, de los cuales el 78.3% vive en los tres municipios que se consideran parte de la zona metropolitana de La Laguna. Sin embargo, como consecuencia del crecimiento económico de la región el crecimiento de la población se ha acelerado y en la actualidad cinco municipios presentan más de 100 000 habitantes (Torreón, Gómez Palacio, Lerdo, Matamoros y San Pedro). Estos municipios requieren de servicios como agua potable, lo que ha llevado a que el agua sea extraída de pozos a mayores profundidades, y esta agua presenta concentraciones de contaminantes que en ocasiones están por encima de los niveles permitidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 (NOM-127) (Diario Oficial de la Federación, 2022).

Materiales y Métodos

Para la realización de este trabajo definimos a la Comarca Lagunera una región en el centro del norte de México con límites 24.37° N-26.84° N, 101.86° W-104.82° W, es una cuenca donde convergen los ríos Nazas y Aguanaval que ocupa un territorio aproximado de 43 000 km^2, lo que representa el 2.2% de la superficie total de México; está compuesta por quince municipios, cinco de ellos pertenecientes al estado de Coahuila (Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro, Torreón y Viesca) y diez a Durango (General Simón Bolívar, Gómez Palacio, Lerdo, Mapimí, Nazas, Rodeo, San Juan de Guadalupe, San Luis del Cordero, San Pedro del Gallo y Tlahualilo) (Sánchez, 2010).

La recopilación de la información acerca de las concentraciones de los contaminantes se obtuvo de la base de Datos Abiertos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (https://datos.conagua.gob.mx/DatosAbiertos) e incluye el periodo de 2012 a 2022. Se analizó la información para ubicar los pozos que contenían nitratos, fluoruros, arsénico y plomo, y se tomaron las categorías que propone la propia CONAGUA, a partir de esta información se ubicaron los pozos que rebasan las concentraciones límites que marca la NOM-127. Adicionalmente se consultó la literatura publicada en relación con los principales contaminantes en el suelo como los bifenilos policlorados y los pesticidas organoclorados reportados para la Comarca Lagunera, y se compiló la información relacionada con las principales afectaciones a la salud humana debido a la ingesta de todos estos contaminantes.

Resultados y Discusión

De acuerdo con los datos de CONAGUA para el área que abarca La Comarca Lagunera, 281 pozos de agua fueron analizados en el periodo 2012-2021. Cabe mencionar que la concentración de algunos contaminantes no se realizó para todos los pozos en algunos periodos de tiempo. El arsénico es un metaloide ampliamente distribuido por la actividad minera principalmente, así como la extracción de agua de zonas profundas. La toxicidad del arsénico incluye su asociación con la neurotoxicidad y enfermedades crónicas como el cáncer, trastornos cardiovasculares, alteraciones de la piel, cambios en la pigmentación, hiperqueratosis, daño genético, deterioro de las capacidades de aprendizaje y memoria, neuropatías, disfunciones endocrinas e inmunosupresión, abortos espontáneos, alta mortalidad neonatal y deterioro del crecimiento fetal. Actualmente, la NOM-127 establece un límite máximo de 0.25 mg L^{-1}, los datos proporcionados por CONAGUA muestran que 151 pozos superan significativamente los valores propuestos por la NOM-127, incluyendo un pozo con 0.487 mg L^{-1}. En la población de la Comarca Lagunera se ha encontrado As en órganos y fluidos como la placenta, leche materna, sangre y orina (Olivas-Calderón et al., 2015; Recio-Vega et al., 2015).

Las emisiones de plomo de la minería y fundición presentan poco o ningún control ambiental. La NOM-127 tiene un límite máximo de 0.01 mg L^{-1}, pero la cantidad de Pb emitida por las industrias de La Comarca Lagunera durante los más de 100 años que llevan operando es de 27 580 toneladas. Además de encontrarse en los suelos, el Pb se ha filtrado en los pozos de agua. De acuerdo con CONAGUA 41 pozos no eran aptos como fuente de agua potable por presentar concentraciones de hasta 0.039 mg L^{-1}, lo que supera con creces los límites de la NOM-127 que son de 0.015 mg L^{-1}. Las personas con exposición prolongada al Pb pueden estar en riesgo de presión arterial alta, enfermedad cardíaca, enfermedad renal, fertilidad reducida y cáncer. En La Comarca Lagunera se han monitoreado las concentraciones de plomo en la sangre de niños, al menos 2 500 tenían niveles inaceptables de Pb (Recio-Vega et al., 2012; Soto-Jiménez y Flegal, 2022).

Los bifenilos policlorados (PCB) son contaminantes compuestos por mezclas de más de 200 compuestos y se derivan de diversos procesos industriales, aunque su producción ha sido prohibida o severamente limitada debido a su estabilidad química, persisten en el ambiente en casi todo el mundo. Son compuestos liposolubles y se han detectado como contaminantes en el aire, el agua, los sedimentos, los alimentos y la vida silvestre y en el tejido adiposo humano, la leche y el suero de leche; la exposición a altas concentraciones de PCB se asocia con diferentes resultados de salud, como déficits neuropsicológicos y neuroconductuales, demencia, disfunciones del sistema inmunológico, enfermedades cardiovasculares y cáncer, puede reducir la fertilidad, con efectos nocivos sobre el sistema reproductivo que pueden transmitirse a la descendencia. La NOM-127 no contiene información sobre los límites permitidos de PCB. En La Comarca Lagunera se ha documentado la presencia de PCBs y sus efectos. En un estudio sobre la asociación entre la exposición a PCB y el riesgo de cáncer de mama en mujeres de Gómez Palacio, Durango, se informó que las concentraciones de cuatro congéneres de PCB con las concentraciones más altas fueron 180 (15.26 ppb), 18 (5.09 ppb), 44 (3.72 ppb) y 126 (3.47 ppb); además, la concentración media de PCB totales detectados en suero fue de 4.29 ppb (Recio-Vega et al., 2013; Idowi et al., 2023).

De acuerdo con la NOM-127, los fluoruros como F^- tienen un límite de 1.5 mg L^{-1}, sin embargo, en La Comarca Lagunera CONAGUA encontró que 70 pozos presentan concentraciones por encima de este límite, incluyendo un pozo con 6.7 mg L^{-1} y 112 presentan valores óptimos para consumo. La ingesta excesiva de flúor no ha sido considerada un problema grave de salud, sin embargo, se ha asociado a los fluoruros con toxicidad para el cerebro en desarrollo, efectos sobre los dientes, como daño en el esmalte, áreas moteadas e hipoplasia, además de daños en los riñones que pueden llevar a enfermedad renal crónica y alteración de la biosíntesis de colágeno que conduce a daños en diferentes órganos, incluidos los del sistema reproductivo (Dharmaratne, 2019; Green et al., 2020).

Aunque en Los últimos años se han implementado prácticas de manejo agrícola amigables con el medio ambiente en La Comarca Lagunera, los plaguicidas principalmente organoclorados (OCPs), persisten a diferentes profundidades del suelo. Los niveles máximos permisibles de OCPs dentro de la NOM-127 se encuentran entre 100 µg L^{-1} para atrazina y 0.03 µg L^{-1} para la combinación Aldrin + Dieldrin. Los efectos adversos para la salud asociados con la exposición a estos contaminantes incluyen bajo peso, baja estatura, circunferencia más pequeña y tamaño de tórax más pequeño, desarrollo neurológico deficiente, deterioro endocrino y deficiencias del sistema inmunológico y reproductivo. La mayoría de estos efectos se han observado en recién nacidos debido a que los OCP se acumulan en la placenta e interactúan con los sistemas de transporte de hormonas y nutrientes, por lo que en algunas ocasiones inducen un parto prematuro (García-Carrillo et al., 2017; Woods et al., 2017).

Para el caso de los nitratos, que es la principal fuente de contaminación de pozos en La Comarca Lagunera debido a su alta producción de leche que representa el 20% de la producción nacional, se encontró que había 222 pozos con agua potable de buena a excelente calidad en los cuales la mayor concentración fue de 10.87 mg L^{-1} $N\text{-}NO_3^-$ y 59 pozos con agua no apta como fuente de abastecimiento de agua potable en la que se rebasa el límite propuesto por la NOM-127 encontrándose un pozo con hasta 153.11 mg L^{-1} $N\text{-}NO_3^-$. La contaminación por nitratos es la responsable de problemas de salud cardiovascular, diabetes tipo II, resistencia a la insulina, hipertensión, disfunción renal, cáncer gastrointestinal, cáncer colorrectal, cáncer de vejiga, cáncer de mama, enfermedades de la tiroides, metahemoglobinemia y defectos del tubo neural (Gandarilla-Esparza et al., 2021; García-Torres et al. 2022b).

Conclusión

La Comarca Lagunera es una de las zonas con mayor crecimiento industrial y económico de México. Desde finales del siglo XIX, debido a las actividades agropecuarias, se ha logrado un mayor desarrollo que ha permitido el aprovechamiento de los recursos naturales; sin embargo, con el paso del tiempo, el agotamiento y deterioro de estos recursos ha dado como resultado que esta región tenga altos niveles de contaminación de agua y suelo. Sin embargo, con el creciente número de casos de enfermedades asociadas a la contaminación, se necesita un mayor esfuerzo para desarrollar análisis centrados en la toxicología ambiental para determinar no solo el estado de salud de la población humana, sino también de las poblaciones de animales silvestres y la acumulación de estos compuestos en las plantas y comprender los factores asociados a la contaminación.

Referencias

Laws, E. A. (2013). Environmental Toxicology, Introduction. En *Springer eBooks* (pp. 1-15). https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5764-0_1

Huerta, S. G. (2022). Toxicología ambiental, clínica y cotidiana. Bases y casos de estudio. México City, Ed. Manual Moderno. 2022: pp. 449.

González-Zamora, A., & Pérez-Morales, R. (2025). Chihuahuan Desert. In: Demolin-Leite G.L. (Ed.). Global Biome Conservation and Global Warming: Impacts on Ecology and Biodiversity. London, Elsevier. eBook ISBN: 9780443157257. In press. https://shop.elsevier.com/books/global-biome-conservation-and-global-warming/demolin-leite/978-0-443-15726-4

García-Torres, E., Pérez-Morales, R., González-Zamora, A., Ríos-Sánchez, E., Olivas-Calderón, E. H., Alba-Romero, J. J. & Calleros-Rincón, E. Y. (2020). Consumption of water contaminated by nitrate and its deleterious effects on the human thyroid gland: a review and update. *International Journal Of Environmental Health Research*, *32*(5), 984-1001. https://doi.org/10.1080/09603123.2020.1815664

Pérez-Morales, R., Téllez-López, M. A., Olivas-Calderón, E. H. & González-Zamora, A. (2023). Toxicological aspects of medicinal plants that growth in drylands and polluted environments. In: Aguillón-Gutiérrez, D. R., Torres-León, C. & Aguirre-Joya, J. A. (Eds.). Aromatic and medicinal plants of drylands and deserts. Boca Ratón, CRC Press. 2023; 269-282.

Sánchez, A. (2010). Delimitación geográfica. In: López, A. & Sánchez, A. (Coords.). Comarca Lagunera. Procesos regionales en el contexto global. México, DF, Instituto de Geografía UNAM. 2010; pp.15-36.

Diario Oficial de la Federación. NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 (2022). Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. México, Ciudad de México, Secretaría de Gobernación: 124 p.

Gandarilla-Esparza, D. D., Calleros-Rincón, E. Y., Macias, H. M., González-Delgado, M. F., Vargas, G. G., Sustaita, J. D., González-Zamora, A., Ríos-Sánchez, E., & Pérez-Morales, R. (2021). FOXE1 polymorphisms and chronic exposure to nitrates in drinking water cause metabolic dysfunction, thyroid abnormalities, and genotoxic damage in women. *Genetics And Molecular Biology*, *44*(3). https://doi.org/10.1590/1678-4685-gmb-2021-0020

García-Torres, E., Pérez-Morales, R., González-Zamora, A., & Calleros-Rincón, E. Y. (2022). Subclinical Hypothyroidism in Families Due to Chronic Consumption of Nitrate-Contaminated Water in Rural Areas with Intensive Livestock and Agricultural Practices in Durango, Mexico. *Water*, *14*(3), 282. https://doi.org/10.3390/w14030282

Green, R., Till, C., Cantoral, A., Lanphear, B., Martinez-Mier, E., Ayotte, P., Wright, R., Tellez-Rojo, M., & Malin, A. (2020). Associations between Urinary, Dietary, and Water Fluoride Concentrations among Children in Mexico and Canada. Toxics, 8(4), 110. https://doi.org/10.3390/toxics8040110

Dharmaratne, R. (2018). Exploring the role of excess fluoride in chronic kidney disease: A review. *Human & Experimental Toxicology*, *38*(3), 269-279. https://doi.org/10.1177/0960327118814161

Recio-Vega, R., González-Cortes, T., Olivas-Calderón, E., Lantz, R. C., Gandolfi, A. J., & Alba, C. G. (2014). In utero and early childhood exposure to arsenic decreases lung function in children. *Journal Of Applied Toxicology*, *35*(4), 358-366. https://doi.org/10.1002/jat.3023

Olivas-Calderón, E., Recio-Vega, R., Gandolfi, A. J., Lantz, R. C., González-Cortes, T., Alba, C. G., Froines, J. R., & Espinosa-Fematt, J. A. (2015). Lung inflammation biomarkers and lung function in children chronically exposed to arsenic. *Toxicology And Applied Pharmacology*, *287*(2), 161-167. https://doi.org/10.1016/j.taap.2015.06.001

Soto-Jiménez, M. F., & Flegal, A. R. (2021). Inventory of Pb emissions from one of the largest historic Pb smelter worldwide: 118-year legacy of Pb pollution in northern Mexico. Environmental Science And Pollution Research, 28(16), 20737-20750. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11788-8

Recio-Vega, R., Valdez-Abrego, C., Adame-Lopez, B., & Gurrola-Mendez, A. (2012). Surveillance of elevated blood lead levels in children in Torreon, Coahuila, Mexico, 1998–2010. *International Journal Of Hygiene And Environmental Health*, *215*(5), 507-513. https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.10.009

Idowu, I. G., Megson, D., Tiktak, G., Dereviankin, M., & Sandau, C. D. (2023). Polychlorinated biphenyl (PCB) half-lives in humans: A systematic review. *Chemosphere*, *345*, 140359. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140359

Recio-Vega, R., Mendez-Hernández, A., Gabriel, A. P. Y., Jacobo-Ávila, A., Portales-Castanedo, A., Hernández-González, S., Gallegos-Arreola, M. P., & Ocampo-Gómez, G. (2012). Potentially estrogenic polychlorinated biphenyls congeners serum levels and its relation with lung cancer. *Journal Of Applied Toxicology*, *33*(9), 906-914. https://doi.org/10.1002/jat.2763

Carrillo, M. G., Luna-Ortega, J. G., González-Torres, A., González-Zamora, A., Gallegos- Robles, M. Á., Vázquez-Vázquez, C., Vázquez, M. & González-Salas, U. (2017). Relationship of dieldrin and soil properties in Comarca Lagunera, Mexico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8(8), 1691-1703. https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193305784

Woods, M. M., Lanphear, B. P., Braun, J. M., & McCandless, L. C. (2017). Gestational exposure to endocrine disrupting chemicals in relation to infant birth weight: a Bayesian analysis of the HOME Study. Environmental Health, 16(1). https://doi.org/10.1186/s12940-017-0332-3

LAS PLANTAS ENDÉMICAS DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE EN MÉXICO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Alberto González-Zamora[1*], Rebeca Pérez-Morales[2].

[1]Facultad de Ciencias Biológicas, UJED. Av. Universidad SN, Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, México. [2]Facultad de Ciencias Químicas-Gómez Palacio, UJED. Av. Artículo 123 SN, Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, México. [*]Autor para correspondencia: agzfc@ujed.mx

Introducción

El capital natural es el conjunto de ecosistemas y los organismos que en ellos habitan, incluyendo los procesos naturales que proporcionan bienestar social (Sarukhán et al., 2017). La sobreexplotación de los recursos naturales y los cambios en el uso del suelo provocan la pérdida de biodiversidad, lo que implica no solo la pérdida de especies sino también de diversidad genética. Esto afecta negativamente la viabilidad y capacidad de los organismos para responder a los cambios ambientales, particularmente en especies con poblaciones de especies endémicas (Bertola et al., 2022).

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), el Desierto Chihuahuense es la zona desértica más grande de América del Norte; se trata de una ecorregión con una superficie aproximada de 509,429 km^2 que se ubica dentro de la región ecológica de los desiertos cálidos. En este trabajo, seguimos los criterios de la EPA y lo delimitamos a la parte correspondiente al territorio de México, en adelante denominado Desierto Chihuahuense de México (DCM), con una superficie de 347,282 km^2.

Debido a su topografía, en el DCM se generan diversos microclimas, lo que ha permitido que esta ecorregión sea reconocida como un área de gran importancia para especies terrestres y acuáticas (McDaniel, 2022). La vegetación se caracteriza por el predominio de diversos tipos de matorrales y pastizales, una pequeña superficie de bosques y vegetación hidrófila en zonas montañosas, así como vegetación gipsófila y xerófila halófila (Zavala-Hurtado y Jiménez, 2020).

En el DCM se han establecido 70 áreas de conservación de la biodiversidad, 18 a nivel federal, 42 a nivel estatal, municipal y ejidal y 10 sitios voluntariamente designados para la conservación. El estado de Coahuila es donde se ha realizado el mayor esfuerzo para conservar la biodiversidad al abarcar la mitad de las áreas decretadas, seguido de Nuevo León, donde se ubican 20 áreas para la conservación.

Las poblaciones humanas han crecido sustancialmente durante las últimas décadas y tienen una mayor demanda de bienes y servicios. Esto ha provocado una gran deforestación, prácticas agrícolas intensivas que degradan el ecosistema y una mayor industrialización que genera contaminantes y gases de efecto invernadero que conducen al calentamiento global. Esto requiere extraer agua de mayores profundidades, y combinado con la contaminación del suelo, el agua y la atmósfera, el cambio de uso del suelo y la desertificación, el impacto ambiental resultante pone en riesgo a las especies del DCM (González-Zamora et al., 2020).

Materiales y métodos

Para este trabajo, compilamos la diversidad florística del DCM a partir de tres fuentes principales: mediante la consulta de la base de datos del Texas-Oklahoma Regional Consortium of Herbaria (TORCH), que contiene información de especímenes de más de 50 herbarios en América del Norte; una revisión de la literatura para la región; y datos obtenidos de nuestras salidas a campo. Para cada registro, se verificaron las coordenadas asignadas a cada ubicación para detectar posibles errores de georreferenciación. En los casos en los que se detectó alguna inconsistencia, las coordenadas se corrigieron consultando la cartografía del Instituto Nacional de Informática y Geografía de México (INEGI).

La literatura revisada incluyó descripciones originales; revisiones taxonómicas de varios grupos; e inventarios de la flora del DCM (González-Elizondo et al., 2017; Henrickson y Johnston, 2007). La información obtenida de las diferentes fuentes fue analizada, revisada taxonómicamente, sintetizada y combinada en una base de datos. Se eliminaron de la base de datos los taxones reportados como malezas, así como las especies cultivadas en campos agrícolas, introducidas en jardines de zonas urbanas y utilizadas para la alimentación del ganado. Se consideraron únicamente los taxones endémicos a nivel de especie.

Se realizó un análisis de la riqueza de especies en el DCM en siete periodos de tiempo diferentes; para ello, se utilizaron los mapas de vegetación y uso del suelo de las Series I a VII del INEGI. En cada periodo se cuantificó la superficie destinada a actividades agropecuarias y el número de especies endémicas que se perdieron al final de cada periodo por cambios en el uso del suelo. Se realizó un análisis de la posible pérdida de biodiversidad por actividades agropecuarias. Dado que esta actividad implica la modificación del hábitat, se plantea la hipótesis de que los registros históricos ya no están representados en los sitios alterados.

Para desarrollar los modelos de distribución potencial se utilizó el algoritmo de máxima entropía (MaxEnt v3.4.4) (Phillips et al., 2006) ya que este algoritmo ha sido utilizado para modelar especies con tamaños de muestra pequeños (Ballesteros-Barrera et al., 2022). La estimación de la contribución porcentual de cada variable se obtuvo mediante un análisis jackknife (Meza-Joya et al., 2020). El modelado se realizó dividiendo el conjunto de datos y utilizando el 80% para entrenamiento y el 20% para pruebas. La configuración en MaxEnt consistió en un número máximo de iteraciones = 500 y un umbral de convergencia = 0.00001 (Phillips et al., 2006). Los modelos se validaron mediante validación cruzada del área bajo la curva (AUC) de la curva ROC. Para maximizar la sensibilidad y minimizar la especificidad, se utilizó el percentil 10 como punto de corte para la elaboración de los mapas de predicción. Estos mapas fueron posteriormente convertidos a mapas binarios para obtener la superficie potencialmente ocupada por cada especie. Este proceso se realizó tanto para los datos de las variables ambientales actuales como para los dos escenarios de cambio climático utilizados en el presente análisis. Los cambios en la superficie de la distribución potencial se obtuvieron calculando la diferencia entre la superficie de la distribución potencial actual y la superficie de la distribución bajo los escenarios de cambio climático; el resultado final se expresó como porcentaje.

Los datos se tomaron de las especies endémicas del CDM registradas con presencia posterior al 2021 y se seleccionaron aquellas que presentaron al menos 10 registros de distribución y se utilizaron 19 variables ambientales de la base de datos WorldClim (Fick y Hijmans, 2017) a una resolución de ~1 km^2. Se realizó un análisis de correlación (coeficiente de correlación de Pearson) para descartar la colinealidad entre las capas ambientales e identificar variables ambientales redundantes en los sitios de ocurrencia de cada especie. Se utilizó un punto de corte de $r \leq 0.85$.

Para los modelos de distribución y proyección por efecto del cambio climático, las variables climáticas futuras se obtuvieron del modelo de circulación general (GCM) ACCESS-CM2 ssp585 (O'Neill *et al*., 2014), que predice la combinación del forzamiento radiativo futuro y el modelo GFDL-ESM4 ssp370 (Krasting et al., 2018), que predice un cambio sustancial en el uso del suelo (disminución de la cobertura forestal global) y altas emisiones de forzadores climáticos de corto plazo (NTCFs). Ambos modelos predicen cambios climáticos asociados a trayectorias alternativas de desarrollo socioeconómico para el año 2060 (2041-2060).

Resultados y Discusión

La base de datos compilada consta de 32,981 registros históricos desde 1830 hasta 2022, siendo el periodo de 1971 a 1990 en el que se realizó la mayor actividad de recolección dentro de esta área, para luego disminuir considerablemente en los últimos 30 años.

La diversidad total de la flora vascular endémica del DCM corresponde a 254 especies. La representación de cada especie corresponde no supera los 10 registros de colecta, por lo que pueden considerarse raras. Muchos de estos grupos posiblemente corresponden a especies de reciente surgimiento en términos geológicos de acuerdo a la edad del DCM (González-Zamora et al., 2023).

El análisis de la riqueza de especies mostró que el número de especies disminuyó conforme aumentó la superficie destinada a actividades agrícolas, de tal forma que, debido a este aumento, en la actualidad, posiblemente se han perdido aproximadamente 157 especies endémicas. La falta de registros de colecciones actuales en el área de estudio impide corroborar si representantes de estas especies sobreviven en otros sitios.

El análisis de la superficie destinada a la agricultura según datos del INEGI en siete periodos de tiempo muestra que el tamaño de la superficie alterada ha aumentado de manera relativamente lenta pero sostenida, de modo que actualmente corresponde a más de 42 mil km^2, lo que representa poco más del 12% de la superficie total del DCM.

Del total de especies endémicas del CDM, sólo 38 cuentan con al menos 10 registros únicos de colección. Una vez realizados los análisis de correlación y modelación, sólo 23 especies pertenecientes a 12 familias botánicas cumplieron con los requisitos para modelar la distribución potencial. Ninguna de las especies seleccionadas aparece en ninguna lista de especies en peligro de extinción.

Las pruebas de validación para las 23 especies indicaron que los modelos tienen buena capacidad predictiva. El análisis de las curvas ROC de 15 de las especies mostró valores altos de AUC (mayores a 0.9), mientras que para ocho especies se obtuvieron valores entre 0.72 y 0.89, lo que demuestra que los modelos son suficientemente robustos para predecir la presencia de especies en el área de estudio. De las variables climáticas, BIO15 (estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)), BIO6 (temperatura mínima del mes más frío) y BIO9 (temperatura media del trimestre más seco) fueron las variables que presentaron mayores contribuciones en las condiciones actuales.

En las condiciones climáticas actuales, la idoneidad del hábitat para las especies modeladas indica que, en promedio, para las 23 especies, la superficie potencial es de 108,374 km^2. Bajo el escenario ACCESS-CM2 ssp585, para el año 2060, se pronostica que 15 de las especies tendrán una disminución en su área de distribución en promedio del 12%, mientras que el resto experimentarán una expansión de su área de distribución en promedio de 36%. Los resultados de la modelación bajo el escenario GFDL-ESM4 ssp370 mostraron algunas diferencias con respecto al escenario anterior; 15 especies experimentarán una disminución en su área de distribución en promedio del 17%; y aquellas cuya área de distribución aumentará, la expansión promedio será del 57%.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son consistentes con los de Cortes et al. (2014), Mosco (2019) e Iracheta-Lara et al. (2021), quienes también reportaron una ligera disminución en las áreas de distribución potencial de las especies de Cactaceae bajo un escenario y un aumento de estas bajo otro escenario.

Conclusión

La adaptación a las condiciones áridas de la flora endémica del DCM aparentemente no se verá afectada en gran medida como en otros ecosistemas donde las plantas se adaptarían a condiciones de mayor humedad y menores oscilaciones de temperatura. En el MDL, el mayor riesgo para la biodiversidad seguirá siendo el cambio de uso del suelo, el abandono de sitios por agotamiento de nutrientes del suelo y la acumulación de contaminantes.

Referencias

Ballesteros-Barrera, C., Tapia-Pérez, O., Zárate-Hernández, R., Leyte-Manrique, A., Martínez-Bernal, A., Vargas-Miranda, B., Martínez-Coronel, M., & Ortiz-Burgos, S. (2022). The Potential Effect of Climate Change on the Distribution of Endemic Anurans from Mexico's Tropical Dry Forest. *Diversity*, 14(8), 650. https://doi.org/10.3390/d14080650

Bertola, L. D., Miller, S. M., Williams, V. L., Naude, V. N., Coals, P., Dures, S. G., Henschel, P., Chege, M., Sogbohossou, E. A., Ndiaye, A., Kiki, M., Gaylard, A., Ikanda, D. K., Becker, M. S., & Lindsey, P. (2022). Genetic guidelines for translocations: Maintaining intraspecific diversity in the lion (*Panthera leo*). *Evolutionary Applications*, *15*(1), 22-39. https://doi.org/10.1111/eva.13318

Cortes, L., Domínguez, I., Lebgue, T., Viramontes, O., Melgoza, A., Pinedo, C., & Camarillo, J. (2014). Variation in the Distribution of Four Cacti Species Due to Climate Change in Chihuahua, Mexico. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, *11*(1), 390-402. https://doi.org/10.3390/ijerph110100390

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal Of Climatology*, *37*(12), 4302-4315. https://doi.org/10.1002/joc.5086

González-Elizondo, M., González-Elizondo, M. S., González-Gallegos, J. G., Tena-Flores, J. A., López-Enriquez, I. L. L., Ruacho-González, L., & Retana-Rentería, F. I. (2017). Updated checklist and conservation status of Cactaceae in the state of Durango, Mexico. *Phytotaxa*, *327*(2), 103. https://doi.org/10.11646/phytotaxa.327.2.1

González–Zamora, A., Ríos–Sánchez, E., & Pérez–Morales, R. (2020). Conservation of vascular plant diversity in an agricultural and industrial region in the Chihuahuan Desert, Mexico. *Global Ecology And Conservation*, *22*, e01002. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01002

González-Zamora, A., González-Elizondo, M., González-Delgado, M. F., Ríos-Sánchez, E., & Pérez-Morales, R. (2023). Genetic diversity and population structure of *Coryphantha durangensis*, a narrow endemic in the chihuahuan desert. *Journal Of Arid Environments*, 216, 105026. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.105026

Henrickson, J., & Johnston, M. C. (2007). *A flora of the Chihuahuan Desert Region*. Published by J. Henrickson, Los Angeles.

Iracheta-Lara, I. Z., Hernández-Quiroz, N. S., Pinedo-Alvarez, A., Santellano-Estrada, E., Prieto-Amparán, J. A., Villarreal-Guerrero, F., & Morales-Nieto, C. R. (2021). Potential Distribution of Five Native Grass Species in Northern Mexico and their Dynamics due to Climate Variability. *Polish Journal Of Ecology*, *69*(2). https://doi.org/10.3161/15052249pje2021.69.2.001

Krasting, J.P., John, J.G., Blanton, C., et al., (2018). *NOAA-GFDL GFDL-ESM4 model output prepared for CMIP6 CMIP*. Version 20231130. Earth System Grid Federation. doi:10.22033/ESGF/CMIP6.1407

McDaniel, J.L. (2022). *Chihuahuan Desert rock pool community assemblages: patterns of taxonomic diversity*. Open Access Theses & Dissertations. 3615. https://scholarworks.utep.edu/open_etd/3615

Meza-Joya, F. L., Rojas-Morales, J. A., & Ramos, E. (2020). Predicting distributions of rare species: the case of the false coral snake *Rhinobothryum bovallii* (Serpentes: Colubridae). *Phyllomedusa Journal Of Herpetology*, 19(2), 141-164. https://doi.org/10.11606/issn.2316-9079.v19i2p141-164

Mosco, A. (2019). Specific habitat requirements and niche conservatism for nine species of the Mexican genus *Thelocactus* (Cactaceae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *90*(0). https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2246

O'Neill, B. C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K. L., Hallegatte, S., Carter, T. R., Mathur, R., & Van Vuuren, D. P. (2013). A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, *122*(3), 387-400. https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, *190*(3-4), 231-259. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

Sarukhán, J., et al., (2017). *Capital natural de México. Síntesis: evaluación del conocimiento y tendencias de cambio, perspectivas de sustentabilidad, capacidades humanas e institucionales*. CONABIO, México.

Zavala-Hurtado, J. A., & Jiménez, M. (2020). Diversity and Uniqueness at Its Best: Vegetation of the Chihuahuan Desert. En *Cuatro ciénegas basin: an endangered hyperdiverse oasis* (pp. 1-17). https://doi.org/10.1007/978-3-030-44963-6_1

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD MORFOLÓGICA DEL CHILE DE ÁRBOL EN CHIHUAHUA Y SINALOA

Francisco Alfonso Gordillo-Melgoza[1]*, Fernando Borrego-Escalante[1], Neymar Camposeco-Montejo[2], Juan Antonio Núñez-Colima[3], Cristina Patricia Aguilar-Aranda[1], José Alejandro Loyo-Melchor[4]

[1]Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, [2]Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, [3]Departamento de Recursos Naturales Renovables, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Saltillo, Coahuila. México. [4]Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 99, Av. Del Monasterio s/n Col. Xanxuanco, Coscomatepec, Veracruz. México. *Autor de correspondencia: gordillomelgoza@gmail.com

Introducción

Los principales estados productores de chile de árbol son Jalisco, San Luis Potosí, Hidalgo, Chihuahua, Zacatecas y Nayarit (SIAP, 2023). Sin embargo, en estas regiones se observan variaciones morfológicas en el fruto, relacionadas principalmente con la forma, color, tamaño, textura, aroma e incluso el nivel de pungencia, estas diferencias se deben a que las plantas han estado sujetas a distintas presiones de selección natural y artificial (Walsh & Hoot, 2001; Rêgo et al., 2011). La caracterización morfológica ha sido empleada por los mejoradores, para seleccionar, agrupar genotipos de chile sobresalientes en calidad, resistencia a enfermedades y rendimiento (Quevedo & Laurentin, 2020). El mejoramiento de chile de árbol se ha llevado a cabo principalmente a través de la selección que los productores han realizado en sus propios cultivos. Como resultado, los materiales obtenidos presentan una alta variabilidad que aún no ha sido completamente caracterizada, lo cual es crucial para iniciar un proceso formal de mejoramiento genético a mediano y largo plazo. El objetivo de este estudio fue caracterizar la variabilidad morfológica del chile de árbol (*Capsicum annuum* L.) proveniente de las regiones de Chihuahua y Sinaloa, y evaluar su potencial para ser aprovechado en programas de mejoramiento genético.

Materiales y métodos

Material vegetal. La semilla de chile árbol de obtuvieron de una selección derivados de una colecta que se realizó en Chihuahua y Sinaloa. Los frutos que se seleccionaron de plantas con buen porte, con frutos uniformes y maduros. La siembra se realizó el 15 de febrero 2023 en charolas de 200 cavidades, utilizando como sustrato peat-moss y vermiculita, el trasplante se realizó bajo condiciones de invernadero el 20 de abril 2023, bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

Descriptores evaluados. Se utilizaron 20 genotipos derivados de una selección. Se evaluaron cinco plantas y diez frutos de acuerdo con los descriptores para Capsicum del IPGRI (1995). Los descriptores evaluados en invernadero fueron, altura de la planta (AP, cm); ancho de la planta (ANP, cm); longitud del tallo (LT, cm); diámetro tallo (DT, cm); ancho de la hoja madura (AHM, cm); longitud de la hoja madura (LHM, cm); longitud de la corola (LC, mm); longitud del fruto (LF, cm); ancho de fruto (AF, cm); longitud del pedicelo del fruto (LP, mm); espesor de la pared del fruto (EPF, cm); número frutos por planta (NF); peso fresco total (PF, g); peso promedio fruto (PPF, g).

Análisis estadístico. Se realizó el análisis estadístico por medio de componentes principales (CP) para determinar las variables que más influyan en la formación de los grupos y se realizó un análisis de conglomerados jerárquico mediante el ligamiento promedio con el propósito de agrupar las colectas con base en distancias euclidianas y la técnica mínima varianza de Ward (Ward, 1963). Los análisis estadísticos se realizaron con el software R Core Team (2000), utilizando el paquete “Factoextra”.

Resultados y discusión

Análisis de componentes principales. En el análisis multivariado de componentes principales (CP) se evaluó la diversidad de 14 características morfológicas del chile de árbol, lo que permitió agrupar tres componentes principales que explicaron el 64.7% de la varianza total (Cuadro 1). Los estudios han demostrado que los componentes principales pueden explicar una parte significativa de la varianza total en los rasgos morfológicos, que van desde 42.55% a 79.3% (Gutiérrez-Burón et al., 2020; Garcia, 2021; Bran et al., 2023). Los tres primeros componentes principales representan la mayoría de la variación total, el componente principal 1 (CP1) explicó el 28.2% de la variación total, el cual estuvo explicado por la altura de la planta, ancho de la planta, longitud de la corola y longitud del pedicelo del fruto, en general este componentes estuvo influenciado por características de crecimiento de la planta, el CP2 explicó el 20.9% de la variación total, siendo las variables peso promedio fruto, espesor de la pared del fruto y longitud del fruto, este componente está relacionado con las características del fruto y el CP3 el 15.6% de la variación total, ancho de la hoja madura y longitud de la hoja madura están relacionado con el follaje de la planta (Cuadro 1).

Cuadro 1. Vectores y valores propios de los componentes principales en las características morfológicas de 20 selecciones de chile árbol Chihuahua y Sinaloa.

Variables	CP1	CP2	CP3
AP	0.8	-0.1	0.0
ANP	0.7	0.1	0.1
LT	0.3	-0.4	0.4
DT	0.5	-0.1	0.5
AHM	0.3	0.2	0.8
LHM	0.4	-0.1	0.7
LC	0.8	0.0	0.0
LF	0.4	0.7	-0.3
AF	-0.1	0.6	0.2
LP	0.8	0.3	0.2
EPF	0.0	0.9	0.2
NF	0.1	-0.3	-0.9
PF	0.1	0.3	-0.7
PPF	0.1	1.0	0.1
Valor propio	3.9	2.9	2.2
Varianza explicada (%)	28.2	20.9	15.6
Varianza Acumulada (%)	28.2	49.0	64.7

CP= Componente principal 1, 2 y 3. Altura de la planta (AP, cm); ancho de la planta (ANP, cm); longitud del tallo (LT, cm); diámetro tallo (DT, cm); ancho de la hoja madura (AHM, cm); longitud de la hoja madura (LHM, cm); longitud de la corola (LC, mm); longitud del fruto (LF, cm); ancho de fruto (AF, cm); longitud del pedicelo del fruto (LP, mm); espesor de la pared del fruto (EPF, cm); número frutos por planta (NF); peso fresco total (PF, g); peso promedio fruto (PPF, g).

Análisis de conglomerados. El análisis de conglomerados agrupó 20 selecciones de chile de árbol en cuatro grupos morfológicamente distintos (Figura 1). De manera similar, Toledo-Aguilar *et al.,* (2016) identificaron cuatro grupos morfológicos diferentes en sus estudios sobre chiles poblanos. El grupo 1, corresponde a las selecciones 6, 16, 9, 15 y 17, se caracterizan por tener peso fresco total de 99.6 g. El grupo II, corresponde 1, 18,20, 21, 2, y 14 que se relacionan con el número frutos por planta con 36.0. El grupo III está integrado por las selecciones 12, 13, 11 y 19 que se caracteriza por la longitud tallo 23.4 cm. El grupo IV está constituido por las selecciones 4, 5, 8, 7 y 10 que se caracterizan por el peso promedio fruto de 3.0 g y espesor de la pared del fruto de 0.66 mm. Estos análisis proporcionan una comprensión detallada de la amplia variabilidad morfológica y genética en las poblaciones de chile, destacando la importancia del germoplasma nativo en los programas de mejoramiento genético y conservación (Leyva et al., 2018).

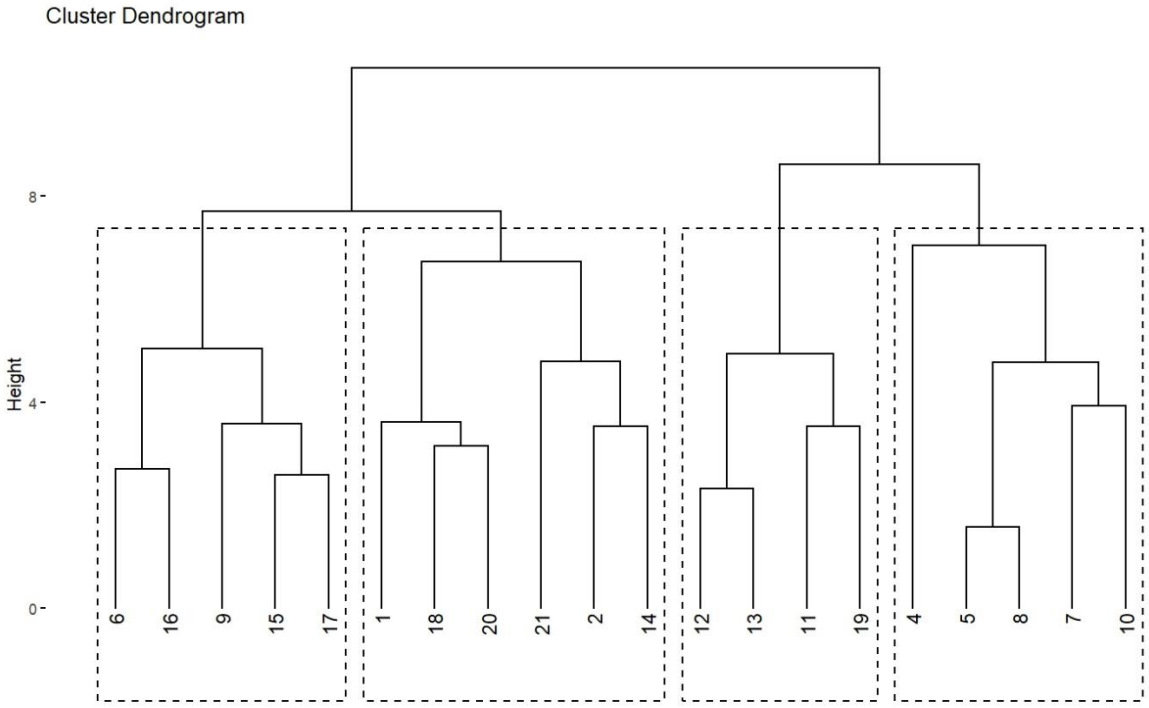


Figura 1. Dendograma de 20 selecciones de chile de árbol de Chihuahua y Sinaloa.

Conclusiones

El análisis de la variabilidad morfológica del chile de árbol proveniente de las regiones de Chihuahua y Sinaloa revela una amplia diversidad en las características evaluadas. Los resultados del análisis de componentes principales y del análisis de conglomerados muestran que es posible identificar y agrupar genotipos con características distintas que podrían ser aprovechadas en programas de mejoramiento genético.

Referencias

Bran, R. A. A., Castillo, B. Z., Astudillo, E. A., & Morales, C. J. M. (2023). Análisis de la variabilidad morfológica ex situ del chile miraparriba (*Capsicum spp*.). *South Florida Journal of Development, 4(2)*, 761-772. https://doi.org/10.46932/sfjdv4n2-011

Garcia, A. R. (2021). Caracterización morfológica in situ de chiles (*Capsicum spp*.) silvestres y cultivados en la región Usumacinta, Tabasco. *Kuxulkab'*, *27*(58), 49-57. https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n58.3959

Gutiérrez-Burón, R., Latournerie-Moreno, L., Garruña-Hernández, R., Ruiz-Sánchez, E., Lara-Martín, A. R., & Castañón-Nájera, G. (2020). Diversidad fenotípica de chile Amashito de Tabasco y Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *11*(3), 649-662. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.2087

IPGRI (1995) Descriptores para Capsicum (*Capsicum spp*.). International Plant Genetic Resources Institute. Roma, Italia. Centro Asiático para el Desarrollo y la Investigación relativos a los Vegetales, Taipei, Taiwán y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 51.

Leyva, O. R., Andrés, M. P., Del Valle, H. D., Meneses, M. I., Murguía, G. J., Galindo, M.E., López, S. H., Serna, L. R., Del Rosario, A. L., Lee E. H., Sierra, M. & Espinosa, C. A. (2018). Caracterización morfológica de poblaciones de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz y Pav.) en la región centro del estado de Veracruz, México. *Revista Bio Ciencias 5,* e388. https://doi.org/10.15741/revbio.05.e388

Quevedo, M., & Laurentin, H. (2020). Caracterización fenotípica de tres cultivares de ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq.) venezolano. *Agronomía Mesoamericana*, *31*(3), 729-741. https://doi.org/10.15517/am.v31i3.40302

R Core Team. (2000). R language definition. *Vienna, Austria: R foundation for statistical computing*, *3*(1), 116. https://www.R-project.org/

Rêgo, E. R., Rêgo, M. M., Matos, I. W. F., Barbosa, L. A. (2011). Morphological and chemical characterization of fruits of *Capsicum spp*. accessions. *Hortic. Bras*, *29*, 3 364-371. https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000300018

SIAP. 2023. Panorama agroalimentario 2020. [Consultado 15 abril 2023] Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Toledo-Aguilar, R., López-Sánchez, H., López, P. A., Guerrero-Rodríguez, J. D. D., Santacruz-Varela, A., & Huerta-de la Peña, A. (2016). Diversidad morfológica de poblaciones nativas de chile poblano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *7*(5), 1005-1015.

Walsh, B. M., & Hoot, S. B. 2001. Phylogenetic relationships of Capsicum (Solanaceae) using DNA sequences from two noncoding regions: the chloroplast atpB-rbcL spacer region and nu-clear waxy introns. International Journal of Plant Sciences, 162(6), 1409-1418.

Ward J. H. (1963). Hierarchic al grouping to optimize an objective function. *Journal of the American statistical association*, *58*(301), 236-244.

LA BIODISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES COMO INDICADOR DE LA CALIDAD DEL SUELO

José Alberto Urrieta-Velázquez[1]*, Erika Nava-Reyna[1], Mariana de Jesús Marcial-Pablo[1], Vicenta Constante-García[1], Erickson Basabe-Villalobos[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CENID-RASPA, Km. 6.5 Margen Derecha Canal de Sacramento S/N, Ejido Las Huertas, Gómez Palacio, Durango. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de Guadiana. Km. 4.5 Carretera Durango-El Mezquital, Durango, Dgo. *Autor de correspondencia: aurrietav@gmail.com

Introducción

Las características de un suelo para uso agrícola deben crear las condiciones para la producción de alimentos, las cuales a través del manejo agronómico del mismo se deben mantener reflejándose en su calidad o salud. Para ello es importante mantener un equilibrio entre las diferentes fracciones del suelo (mineral, orgánica, soluble y gaseosa) para mantener su funcionalidad sin causar impactos negativos al mismo u otros recursos naturales como el agua (Lal, 2016). La salud del suelo la podemos dividir en indicadores físicos, químicos y biológicos: entre los físicos se encuentran la densidad aparente, infiltración o conductividad hidráulica principalmente, que permiten saber las condiciones de oxigenación y distribución de humedad para el crecimiento de raíces. En los indicadores químicos está el pH, conductividad eléctrica, contenido de macronutrimentos y micronutrimentos que permiten medir la disponibilidad de nutrientes para los cultivos y detectar procesos de lixiviación. De acuerdo a algunos científicos y productores, los indicadores biológicos son la diversidad de la microbiota, estructura bioquímica de la microbiota, respiración del suelo, actividad enzimática, grupos funcionales de nematodos, microartrópodos, mesofauna (Tahat et al., 2020). Cuando estas características se pierden al transformar un suelo natural a uso agrícola, la actividad agrícola se vuelve insostenible e incluso puede convertirse en un suelo degrado debido a que pierde 3-12 veces su productividad (Bhaduri et al., 2022). Esto se ha observado bajo diferentes condiciones de manejo del suelo donde el hombre modifica sus condiciones naturales para la producción de cultivos (Bhardwaj et al., 2011). Es por ello que el objetivo de la investigación fue comparar la fracción soluble de los nutrimentos y otros indicadores químicos de suelos en diferentes condiciones para observar procesos de lixiviación y biodisponibilidad.

Materiales y Métodos

El sitio muestreado fue un polígono de bosque en Echeverría de la Sierra, Durango, donde se tomaron muestras de suelo en tres áreas: 1) sitio sin perturbar o natural (23° 48’ 55” N y 105° 03’ 00” W), 2) sitio en recuperación (23° 48’ 48” N y 105° 02’ 59” W) y 3) sitio talado o recién aprovechado (23° 48’ 09” N y 105° 02’ 17“ W) a una altitud de 2,496-2,564 msnm en la Sierra Madre Occidental, cuya precipitación anual es de 800-1200 mm (Hernández *et al*., 2024). Las muestras compuestas (3 submuestras) se tomaron cada 10 cm hasta la profundidad que el suelo lo permitió debido a que hubo áreas donde el suelo fue de 20 cm de profundad, por lo cual se comparan la capa superficial y la capa más profunda. Para el análisis de suelo se hizo únicamente la fracción soluble con el extracto saturado de pasta y su acondicionamiento para determinar concentraciones en un equipo de absorción atómica (PerkinElmer AAnalyst 700, 190-900 nm) para cuantificar Ca++, Mg++, K+ y Na+ (Sonmez et al., 2007), mientras que el NO3- y PO4= se determinaron por colorimetría usando un espectrofotómetro UV-Vis (Modelo GENESYS 50, 200-800 nm) a 420 nm. Además, se determinaron la materia orgánica, pH y conductividad eléctrica. Los datos fueron procesados como un diseño factorial 3X2 con tres repeticiones a través de un análisis de varianza y una prueba de agrupación de medias de Tukey (α=0.05) utilizando el software SAS/STAT v15.2 (SAS Institute Inc., 2016).

Resultados y discusión

En la región de estudio, la vegetación predominante fue bosque de pino-encino, donde el suelo tuvo una profundidad entre 20 y 40 cm. Uno de los indicadores determinados fue la reacción del suelo, la cual tuvo un pH de neutro a ligeramente ácido sin cambio significativos entre los sitios muestreados (α=0.05), rango en el cual la mayoría de los macronutrimentos están biodisponibles para las plantas. Otro indicador de la disponibilidad de los nutrimentos fue la conductividad eléctrica, en la cual no se observaron cambios significativos entre las áreas de muestreo y cuyos valores se ubicaron entre 0.08 y 0.31 dS/m con una tendencia de mayor valor en sitio recién aprovechado. Pasando de los indicadores generales a las formas biodisponibles de los macronutrimentos, el sodio (Na^+) disponible para la vegetación fue similar entre los sitios y las profundidades muestreadas, lo que podría significar poca perturbación del suelo por efecto del aprovechamiento del bosque. Al igual que el sodio, el potasio (K^+) tuvo una variación alta en la solución del suelo (CV=256.88%) (Cuadro 1), observándose un patrón de distribución en el perfil del suelo contrastante con el sodio, en el que el potasio se encuentra principalmente en la capa superficial del suelo, excepto en el sitio aprovechado que está en mayor concentración en la capa más profunda del muestreo, lo cual muestra el efecto que pueden tener la presencia o ausencia de vegetación en este tipo de suelos y clima en específico (Yang et al., 2020).

Cuadro 1. Fracción soluble del suelo como indicador de la calidad del suelo bajo diferentes condiciones de manejo.

Condición	Profundidad	pH	CE	Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	$PO_4^=$	NO_3^-
			dS/m	$me{\cdot}L^{-1}$				$mg{\cdot}L^{-1}$	
Aprovechado	Superficial	6.89a	0.31a	0.22a	0.47a	1.97a	0.470a	3.06a	2.38a
	Fondo	7.19a	0.27a	0.20a	1.89a	0.55b	0.087a	2.25a	0.71a
Natural	Superficial	6.84a	0.25a	0.20a	0.38a	0.64a	0.137a	6.27a	0.92a
	Fondo	7.00a	0.18a	0.12a	0.23a	0.49b	0.135a	5.40a	0.67a
Reforestada	Superficial	6.63a	0.14a	0.07a	0.26a	0.95a	0.135a	5.84a	0.53a
	Fondo	6.60a	0.08a	0.08a	0.17a	0.38b	0.137a	5.57a	0.54a
CV (%)		6.23	111.99	79.64	256.88	86.62	137.95	84.47	114.47
Condición		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Profundidad		ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
CondiciónXProfundidad		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

CE: conductividad eléctrica; CV: coeficiente de variación, ns: no significativo, *: significativo con α=0.05

El calcio disponible para la vegetación en área de estudio se encontró principalmente en la capa superficial del suelo, que fue significativamente mayor su concentración (α=0.05) con respecto a la capa más profunda del suelo como indica en el Cuadro 1. Este patrón se aprecia con mayor contraste en el sitio recién aprovechado, y que puede deberse a que no hay vegetación que pueda absorber el calcio de la solución del suelo. Continuando con los cationes divalentes, el contenido de magnesio en la solución del suelo de los diferentes sitios y profundidades muestreadas fue estadísticamente similar (α=0.05), y tuvo un patrón de distribución similar entre las profundidades, excepto en el sitio talado que registró mayor concentración en la capa superficial.

De los aniones determinados, el fosfato ($PO_4^{=}$) en la solución del suelo fue similar entre los sitios y profundidades muestreadas (α=0.05) y tuvo una variación estadística alta. A pesar de no haber diferencias estadísticas entre los valores de concentración encontrados, en el sitio aprovechado su concentración fue más baja con respecto a los sitios con vegetación en ambas profundidades analizadas. Otro de los aniones cuantificados fue el nitrato (NO_3^-) que es fácilmente lixiviable en los suelos, no obstante, en los sitios muestreados y en las dos profundidades no se observaron cambios significativos (α=0.05), además, se observó una tendencia de mayor concentración en la capa superficial, como se indica en el Cuadro 1 para el sitio aprovechado.

Los elementos que potencialmente podrían causar problemas de contaminación de cuerpos de agua son el sodio, nitrato y fosfato que pueden causar eutrofización y salinidad en cuerpos de agua y suelos de uso agrícola. Sin embargo, en esta área explorada no se encontraron problemas potenciales de contaminación o degradación del suelo debido a que no hay diferencias estadísticas significativas entre el sitio sin perturbar y los sitios aprovechado y reforestado, ni entre las capas del perfil del suelo como ocurre con otros usos del suelo o actividad agrícola (Bhardwaj *et al*., 2011). Por lo cual, las prácticas de aprovechamiento del bosque en la región no causan impacto negativo en la fracción soluble del suelo, en la Figura 1 se muestran algunas obras de conservación de suelo que se practican en el polígono de aprovechamiento y que ayudan mantener la vegetación natural.



Figura 1. Residuos vegetales del aprovechamiento dispuestos en curvas a nivel para prevenir la erosión del suelo en los sitios aprovechados.

La materia orgánica tiene una función importante en la retención de nutrimentos del suelo y la actividad microbiológica en el mismo (He *et al*., 2021), y su contenido en el perfil del suelo (0-30 cm, datos no mostrados) fue de 1.98-3.33%, lo cual puede estar favoreciendo que iones como el calcio, magnesio, potasio y sodio estén en mayor concentración en la capa superficial del suelo.

Conclusiones

Los cationes (sodio, potasio, calcio y magnesio) y aniones (fosfato y nitrato) contenidos en la solución del suelo tuvieron una concentración similar entre las profundidades analizadas del perfil del suelo. Adicionalmente, no se observaron diferencias significativas entre el sitio con la vegetación sin perturbación con respecto al sitio aprovechado y reforestado. El rango de pH mostró un suelo ligeramente ácido donde la mayoría de los macronutrimentos esta biodisponible, lo cual se vio reflejado en los valores de conductividad eléctrica, principalmente en el sitio recién aprovechado.

Referencias

Bhaduri D., Sihi D., Bhowmik A., Verma B. C., Munda S., Dari B. (2022) A review on effective soil healt bio-indicators for ecosystem restoration and sustainability. *Frontiers: frontier in microbiology 13:938481*, 10.3389/fmicb.2022.938481

Bhardwaj A. K., Jasrotia P., Hamilton S. K., Robertson G. P. (2011) Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustainable productivity. Agriculture, Ecosystems and Environment, 140, 419-429. 10.1016/j.agee.2011.01.005

He M., Xiong X., Wnag L., Hou D., Bolan N. S., Ok Y. S., Rinklebe J., Tsang D. C. W. (2021) A critical review on performance indicators for evaluating soil biota and soil healt of biochar-amended soils. *Journal of Hazardous Materials, 414*, 125378. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125378

Hernández M. C., Domínguez G. T. G., Rodríguez G. E., Cantú S. I., Corral R. J. J., Colín J. G., González R. H. (2024) Intercepción de la lluvia en bosques del ejido Adolfo Ruíz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 15(83)*, 1-27. 10.29298/rmcf.v15i83.1439

Lal R. (2016) Soil healt and carbón management. *Food and Energy security, 5(4)*, 212-222. https://doi.org/10.1002/fes3.96

Tahat M. M., Alananbeh K. M., Othman Y. A., Leskovar D. I. (2020) Soil Health and Sustainable Agriculture. *Sustainability, 12*, 4859. https://doi.org/10.3390/su12124859

SAS Institute Inc. (2016) SAS/STAT 15.2 v9.4 para Windows. North Carolina, U.S.A.

Sonmez S., Buyuktas D., Okturen F., Citak S. (2007) Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in soil salinity studies. *Geoderma, 144*, 361-369. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.12.005

Yang T., Siddique K H. M., Liu K. (2020) Cropping systems in agricultura and thier impacto n soil healt-A review. Global Ecology and Conservation 23, e01118. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01118

HEMÍPTEROS ASOCIADOS A GOBERNADORA *Larrea tridentata* (Sessé & Moc. ex DC.) Coville. DEL ÁREA DE BERMEJILLO, DGO. MÉXICO

Fabián García-González[1*] y Clementina Araceli Sandy-Pacheco[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Gómez Palacio - Ciudad Juárez, Bermejillo, 35230 km 40, Durango. *Autor de correspondencia: fabiangglez@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

El Desierto Chihuahuense es el segundo con mayor diversidad biológica en la tierra con 3,382 especies de plantas, entre las que se incluyen un gran número de elementos restringidos (Henrickson y Johnston, 2007, citado por Villareal-Quintana et al. 2017). 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, el 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 con 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 son muy escasos. Los insectos tienen una gran importancia desde varios puntos de vista como polinizadores, como plagas de las especies vegetales ya que estas especies como cualquier planta es susceptible 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 y de algunos insectos plaga de los cuales resaltan los estudios de extractos de gobernadora, sin embargo, estudios de insectos plaga y de sus enemigos naturales de estas especies vegetales son escasos tales como el realizado por Reyes-Carrillo y colaboradores en 2009 en la Comarca Lagunera en el cual reportaron que las abejas obreras de *Apis mellifera* L. realizan pecoreo en especies vegetales nativas de zonas áridas como la gobernadora *Larrea tridentata* (DC) Cov.) y mezquite *Prosopis juliflora* (Swartz) DC.

Materiales y métodos

Fase de Campo: Durante el periodo del 29 de julio al 28 de octubre de 2015, se realizaron colectas semanales de insectos en plantas de gobernadora *L. tridentata* en el área aledaña al Rancho del Carmen, perteneciente a la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACh), ubicado en las coordenadas 25.896316 N, -103.591838 O, a una altitud de 1120 metros sobre el nivel del mar. El método de colecta fue de red de golpeo realizando diez pasos de red en diez plantas de gobernadora cada una. El material colectado de las 10 plantas de pasó a una cámara letal con acetato de etilo para matar el material biológico y se transfirió a un recipiente de 250 ml con alcohol al 70% debidamente etiquetado para su posterior limpieza e identificación.

Fase de Laboratorio: Del total de los insectos colectados, se realizó la separación de los grupos morfológicos de los hemípteros para realizar su montaje por el método más adecuado según su tamaño y posteriormente se realizó su identificación en base a las claves de Triplehorn y Johnson (2005), Slater y Baranowski (1978) y Domínguez (1989).

Resultados y discusión

En total se colectaron 508 ejemplares incluidos en nueve familias (Cuadro 1), de las cuales las chicharritas (Cicadellidae) fue la más abundante con 264 ejemplares representando el 52%, seguida por Membracidae, Miridae, Aleyrodidae, Aphididae y Psilidae con 68, 55, 49, 30 y 30 respectivamente. De la familia Piesmatidae solo se obtuvo un ejemplar en la muestra del 21 de octubre.

En relación con el número de ejemplares por fecha de colecta, la mayor cantidad se presentó el 30 de septiembre y de esta fecha hasta el 28 de octubre, la cantidad de hemípteros colectados fue mayor a las obtenidas al inicio del periodo de colecta. Este periodo coincide con la etapa de lluvias que se presenta en la región cada año.

En el presente estudio se encontró una mayor diversidad de familias de Hemíptera en relación a otros estudios como el de Rango (2005) quien reporta solo las familias Miridae, Cicadellidae, Membracidae y Flatidae en Phoenix Arizona. Otro estudio el cual incluye una amplia información sobre insectos en *L. tridentata* es el de Hurd y Linsley (1975) quienes realizaron un estudio sobre algunos insectos distintos de las abejas asociados con *L. tridentata*, en el suroeste de los Estados Unidos, en el cual respecto a Hemiptera, reportan a las familias Miridae, Reduviidae, Lygaidae, Phyrrocoridae, Coreidae, Pentatomidae, Membracidae, Cixiidae, Flatidae, Issidae y Coccidae. Es importante mencionar que esta diversidad de Hemíptera encontrada por estos autores es representativa de una región de los Estados Unidos en comparación a los hemípteros que se encontró en el presente estudio el cual se realizó en un área muy localizada del Estado de Durango por lo que es necesario realizar un estudio regional en el norte de México para tener un conocimiento más completo de la diversidad de insectos asociados a esta especie vegetal típica de las zonas áridas.

Cuadro 1. Familias de hemípteros colectados en *Larrea tridentata* (Moç. & Seseé ex DC.) Coville en Bermejillo, Dgo. 2015

Fecha de colecta	Aphi	Aley	Cica	Flat	Miri	Memb	Penta	Pies	Psil	Total
29/Jul.	0	1	20	0	0	2	1	0	0	24
05/Ago.	0	0	14	0	1	2	0	0	0	17
12/Ago.	0	0	10	0	0	0	0	0	0	10
19/Ago.	0	1	7	0	3	3	0	0	22	36
27/Ago.	0	0	2	2	6	11	0	0	0	21
02/Sept.	0	0	8	0	1	3	0	0	0	12
09/Sept.	0	0	12	0	2	1	0	0	0	15
17/Sept.	0	0	7	0	2	1	0	0	0	10
23/Sept.	0	0	7	0	2	8	0	0	0	17
30/Sept.	3	32	60	1	13	4	0	0	0	113
09/Oct.	15	3	19	0	4	6	0	0	0	47
14/Oct.	6	5	28	0	9	3	0	0	1	52
21/Oct.	2	4	39	0	2	8	0	1	1	57
28/Oct.	4	3	31	0	10	16	7	0	6	77
Total	30	49	264	3	55	68	8	1	30	508

Aphi: Aphididae; Aley: Aleyrodidae; Cica: Cicadellidae; Flat: Flatidae; Miri:Miridae Memb: Membracidae; Penta: Pentatomidae; Pies: Piesmatidae

Conclusiones

Los resultados del presente estudio muestran de manera significativa la diversidad de insectos del orden Hemiptera en *L. tridentata* aun que solo se realizaron colectas semanales durante los meses de agosto, septiembre y octubre de 2015.

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 *L. tridentata* y establecer posibles relaciones con variables climáticas y con los insectos que atacan especies cultivables de la región como hortalizas y frutales.

Referencias

Domínguez, R.R. (1989). Taxonomía de insectos. Volumen 1. Protura a Coleoptera. Departamento de Parasitología. Universidad Autónoma Chapingo. 256 p.

Hurd, P. D. Jr. and Linsley E. G. (1975). Some insects other than bees associated with Larrea Tridentata in the Southwestern United States. Proc. Entomol. Soc. Washington, 77(1) 100-120.

Rango J.J. (2005). Arthropod communities on creosote bush (Larrea tridentata) in desert patches of varying degrees of urbanization. Biodiversity and Conservation 14: 2185–2206.

Reyes-Carrillo, J. L., Eischen, F. A., Cano-Ríos, P., Rodríguez-Martínez, R. and U. Nava-Camberos. (2009). Plant species visited by honey bee foragers during induced cantaloupe pollination. Acta Zoologica Mexicana. 25(3): 507-514.

Slater J. A. and R. M. Baranowski. (1978). How to Know the True Bugs (Hemiptera-Heteroptera) (The Pictured Key Nature Series). Wm C. Brown Company Publishers. 256 p

Triplehorn, A.C. and N. F. Johnson. (2005). Chapter 22 Hemiptera. *In* Borror and Delong's Introduction to the Study of Insects. Seventh Edition. Thomson Brooks/Cole. Pp 268-332.

Villarreal-Quintanilla José A., Bartolomé-Hernández Jenry A., Estrada Castillón Eduardo, Ramírez-Rodríguez Homero y Martínez-Amador Silvia 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

Zavala-Hurtado, J.A: y Jiménez, M. (2020) Diversity and Uniqueness at Its Best: Vegetation of the Chihuahuan Desert. *En* Mandujano, M.C., Pisanty, I., Eguiarte, L.E.(Eds) (2020) Plant Diversity and Ecology in the Chihuahuan Desert Emphasis on the Cuatro Ciénegas Basin. Springer Nature Switzerland AG 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44963-6

RESPUESTA CLIMÁTICA DEL PINO REAL (*Pinus arizonica* var. stormiae) EN EL SUR DE NUEVO LEÓN, MÉXICO

José Villanueva-Díaz[1]*, Vicenta Constante-García[1], Aldo Rafael Martínez-Sifuentes[1], Julián Cerano-Paredes[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera. Margen Derecha del Canal Sacramento, Gómez Palacio, Durango, México. 35140.*Autor por correspondencia; villanueva.jose@inifap,gob.mx

Introducción

La Sierra Madre Oriental constituye una región de alta biodiversidad biológica, donde del total de 47 especies de pinos reconocidos para México (Farjon et al., 1997), 15 de ellos se encuentran reportados para el estado de Nuevo León (Estrada Castillón et al., 2014), con la presencia adicional de ocho especies de coníferas de los géneros *Picea*, *Abies*, *Pseudotsuga*; amen de una diversidad de encinos y de otras latifoliadas ahí presentes (INEGI, 1986). Los bosques de pino y de pino-encino que se distribuyen en una superficie de 190,564 ha y que representan 3% de la superficie estatal de Nuevo León, se encuentran entre las comunidades forestales de mayor riesgo.

Estas comunidades forestales son de gran importancia ecológica y socioeconómica al proveer una serie de servicios ambientales y materias prima para la construcción e industria de la transformación; no obstante lo anterior, disturbios de origen natural (sequías, plagas) o antropogénico (aprovechamiento forestal, cambios de uso del suelo, ganadería extensiva, incendios intencionales) han diezmado notablemente sus poblaciones y puesto en peligro la permanencia de algunos de sus componentes arbóreos (Alanís Flores et al., 2004). Así, por ejemplo, la plaga de descortezadores ha ocasionado el mayor impacto en poblaciones de pino piñonero (*Pinus cembroides*) en los municipios de Galeana y Santa Catarina, los cuales cuentan con la mayor superficie forestal en el estado (Reyna González, 2021).

Una de las especies de pino característico de sitios semiáridos de los municipios de Galena, Aramberri, Dr. Arroyo y General Zaragoza, Nuevo León es el *Pinus arizonica* var. stormiae, que habita suelos yesosos, caracterizados por su escaso desarrollo morfológico y limitada fertilidad, condiciones que aunado a otros factores climáticos limitantes, como sequías recurrentes han acelerado la mortandad de individuos de esta especie y detonando la presencia de descortezadores, que han acelerado el decaimiento de las poblaciones de *P. arizonica* en la región. El objetivo de esta investigación fue determinar la función de respuesta climática de la especie, desarrollar una reconstrucción de precipitación y analizar la influencia que ejercen en su comportamiento fenómenos circulatorios de amplio impacto e índices de sequía.

Materiales y métodos

Dos rodales de coníferas con dominancia de *P. arizonica* var. stormiae de individuos vivos, muertos o en proceso de mortandad (especímenes con muerte descendente), fueron seleccionados en septiembre de 2013 en el municipio de Galeana, Nuevo León, coordenadas geográficas 24º 45’ 23” N, -100º 02’ 02” WG; 1677 m y 24º 42’ 58” N, -100º 01’ 48” WG; 1762 m de elevación (Figura 1). En cada rodal, se seleccionaron individuos vivos y muertos, de los cuales se obtuvieron tres núcleos de crecimiento por árbol con un taladro Pressler y con motosierra, secciones transversales de árboles muertos y caídos.

El material fue pulido con lijas de diferente grado en una secuencia de gruesa a fina para resaltar las estructuras de crecimiento y facilitar su datado, proceso que fue apegado a métodos dendrocronológicos convencionales (Stokes & Smiley, 1968). La verificación del datado de crecimientos, se verificó a través del programa COFECHA (Holmes, 1983) y los índices dendrocronológicos de anillo total, madera temprana y tardía se generaron mediante el programa ARSTAN (Cook & Krusic, 2005).

Para analizar la respuesta de la especie al clima regional, la cronología de *P. arizonica* se comparó con otras previamente desarrolladas en la región. La determinación de la función de respuesta de la especie a la precipitación se determinó con registros de lluvia de las estaciones climáticas San Roberto (20.71º N, -100.303º WG, 1893 m de elevación) y Potosí (24.843º N, 100.321º WG; 1890 m de elevación) e índices dendrocronológicos para el período de disponibilidad de registros climáticos (1985-2020) al considerar 18 meses (6 meses del año previo y 12 meses durante el año de crecimiento). Para reconstruir la variable climática con mayor influencia en el crecimiento, se generó un modelo de reconstrucción, el cual fue calibrado y verificado mediante parámetros estadísticos (Fritts, 1976).

La variabilidad climática encontrada en la reconstrucción, se comparó con índices de fenómenos de circulación general como El Niño Oscilación del Sur (ENSO) y Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO) para definir la influencia de estos fenómenos en la región y detectar posibles tendencias. La serie dendrocronológica también se comparó con índices de sequía (PDSI, SPI), que involucran ´balances hidrológicos al considerar variables de temperatura, precipitación y evaporación, lo cual permite analizar la influencia de estos índices en el crecimiento radial de la especie.

Resultados y discusión

Se dataron 32 series, con una intercorrelación de 0.7, sensibilidad media de 0.5, autocorrelación de primer orden 0.24 y relación señal ruido de 14.9; parámetros que indican que las series poseen una señal climática común y que los crecimientos responden a la variabilidad climática interanual (Fritts, 1976). La extensión de la cronología fue de 154 años (1870-2023) y es confiable con fines de reconstrucción climática en todo el período de extensión, acorde al tamaño de muestra involucrado desde la parte interna de la cronología (EPS > 0.85). La calidad dendrocronológica de la serie es similar al de otras desarrolladas para la región, con parámetros dendrocronológicos similares (Villanueva et al., 2018).

La comparación entre la serie de *P. arizonica* y otras generadas en la región, indican una asociación significativa ($p < 0.01$) en el período común (1870-2010), con correlaciones en el rango de 0.38 a 0.54, donde la mejor correlación se obtuvo con las series de *Pinus gregii* (SZAP_Pgre) y *Pinus cembroides* de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila (SZAP_Pcem) y *Pinus pseudotrobus* del municipio de Iturbide, Nuevo León (ITU_PPse) (Figura 1).

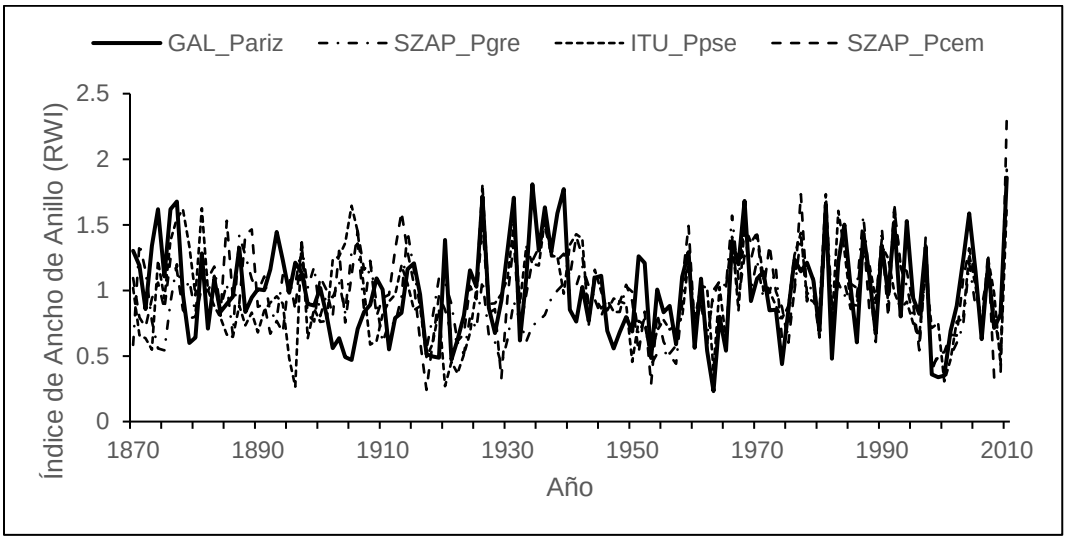


Figura 1. Comparación de la variabilidad interanual entre las cronologías de P. arizonica y otras desarrolladas previamente en la región. La correlación entre series fue significativa entre todas ellas ($p < 0.01$)

El crecimiento del anillo anual respondió significativamente a la precipitación de la estación climática San Roberto, período 1986-2020, en los meses de noviembre (r = 0.45) y diciembre (r = 0.33) del año previo al crecimiento y enero (r = 0.36), febrero (r = 0.55), mayo (r = 0.57) y junio (r = 0.46) del año actual de crecimiento y de manera estacional al período octubre-julio (r = 0.82) (Figura 2). La respuesta climática observada de la especie fue similar a otras coníferas en la región, cuya respuesta involucra una porción de otoño del año previo hasta verano del año actual de crecimiento (Arroyo-Morales et al., 2022).

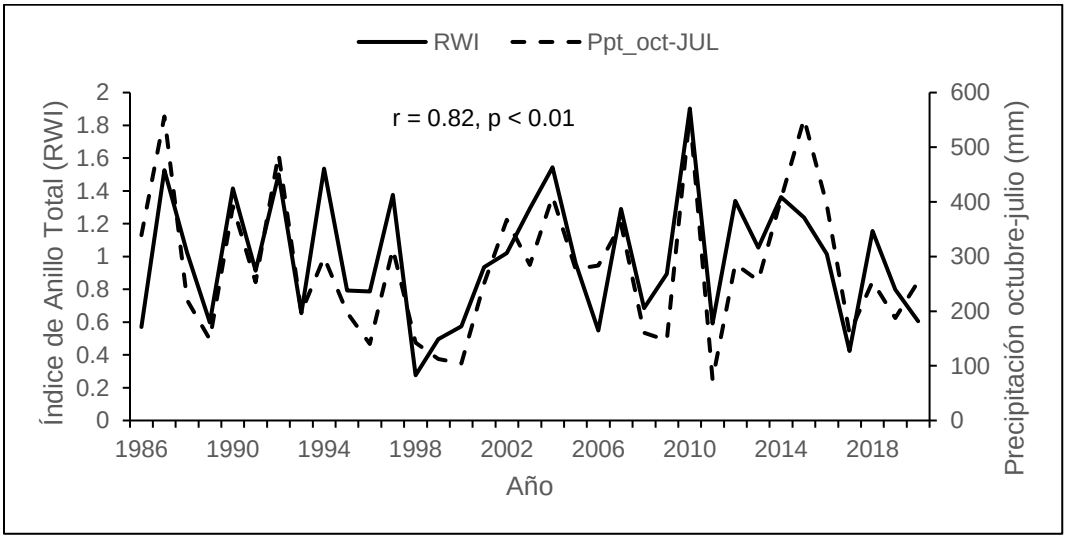


Figura 2. Relación entre registros de precipitación acumulada de octubre previo a julio del año actual de crecimiento de la estación climática San Roberto, Galeana, Nuevo León e índices de anillo total de *Pinus arizonica*.

Esta relación, permitió generar un modelo estadísticamente confiable para reconstruir la precipitación del período estacional octubre-julio en la extensión de la cronología (1870-2023). El gráfico de reconstrucción señala la presencia de períodos y de años húmedos y secos extremos al considerar una desviación estándar por encima y por debajo de la media reconstruida (Figura 3). Algunos de los años extremadamente secos ocurrieron en 1872, 1921, 1932, 1963, 1982, 1998-2000, 2017 y 2021-2023; mientras que los años húmedos se presentaron en 1874, 1920, 1926, 1931, 1934, 1966-1958, 1981, 1987, 2004 y 2010.

El análisis de la influencia de modos circulatorios, mediante procesos de tele-conexión en la variabilidad interanual del clima en esta región, indican que ENSO es el fenómeno que más impacta la precipitación de la época fría del año y, por ende, en el crecimiento del anillo total y de la madera temprana, donde la influencia que ejerce este fenómeno se manifiesta desde julio del año previo hasta mazo del año actual de crecimiento, con valores de correlación en el rango de 0.28 a 0.36. Esta influencia, aunque significativa no es tan alta como la observada en otras áreas del norte de México, donde la asociación de este fenómeno en el período invernal supera 0.5 de correlación (Stahle et al. 1998); sin embargo, algunos de los años con precipitación extrema (húmedos, secos), si coinciden con eventos extremos de ENSO (https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php), lo cual corrobora el impacto de este fenómeno en la región. Por otra parte, la influencia de AMO no fue significativa para ninguna de las series analizadas (anillo total, madera temprana, madera tardía) de la especie. Este fenómeno ejerce influencia en la presencia de huracanes en el Golfo de México, que llegan a penetrar hasta el municipio de Galeana, afectando la cantidad de lluvia y por ende el crecimiento de las especies arbóreas ahí presentes, por lo que es importante un mayor análisis de este fenómeno.

La relación entre los índices de sequía (SPI, PDSI) y la serie dendrocronológica anillo total y madera temprana, señala asociación significativa del SPI de diciembre a abril con valores de correlación de 0.48 ($p < 0.01$, $n = 147$), mientras que con el PDSI reconstruido de verano junio-agosto), la correlación alcanzada fue de 0.36 ($p < 0.01$, $n = 142$). Lo anterior implica que la especie se ve afectada tanto durante las estaciones invierno-primavera, como durante el verano, situación que corrobora el bajo incremento radial cuando ocurren condiciones de sequía, particularmente cuando se producen temperaturas extremas que aceleran el abatimiento de la humedad disponible, situación que se asocia con el calentamiento global.

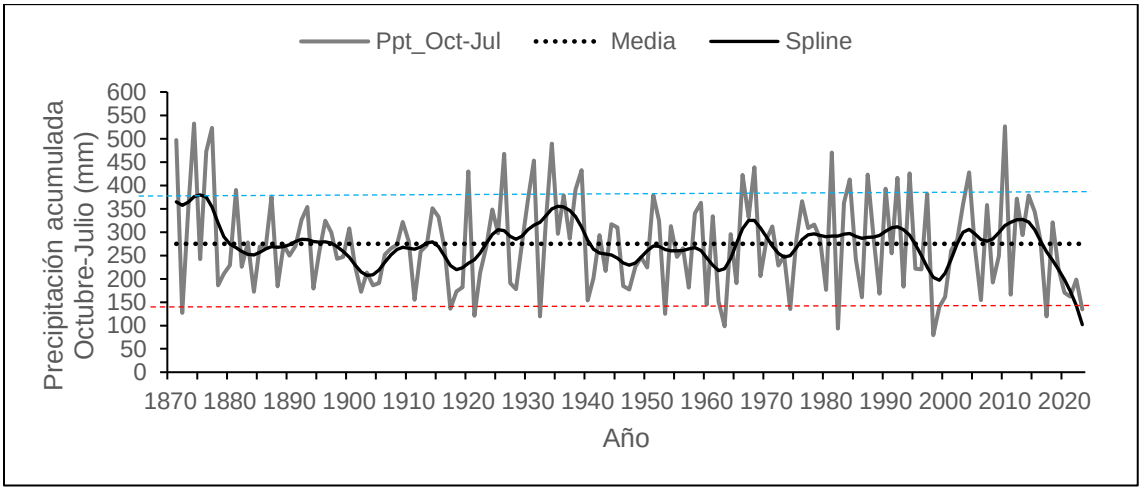


Figura 3. Reconstrucción de precipitación estacional octubre-julio para el área de *Pinus arizonica* en Galeana, Nuevo León. Valores por encima de la línea horizontal azul, constituyen eventos húmedos extremos; mientras que por debajo de la línea roja, eventos de sequía extrema.

Conclusiones

El crecimiento de *Pinus arizonica* presente en rodales aislados del municipio de Galeana, Nuevo León, muestra problemas de crecimiento y mortandad, con una reducción en su incremento radial a partir de 2010. Esta reducción depende significativamente de la precipitación acumulada que se presenta a partir de octubre del año previo a marzo del año actual de crecimiento, como se demuestra en la reconstrucción de precipitación que cubre el período 1870-2023. El fenómeno del Niño mostró influencia significativa en la precipitación del período invierno-primavera, aunque su efecto no es equiparable a la que ocurre en otras áreas del norte de México. No se encontró influencia de la Oscilación Multidecadal del Atlántico, aunque es importante realizar un análisis más detallado de este fenómeno, ya que su fase positiva incrementa la presencia de huracanes, que influyen en la cantidad de lluvia que se presenta en esta región y por ende, en el crecimiento de la especie. Los valores de los índices de crecimiento de anillo total y de madera temprana se asocian significativamente con índices de sequía como PDSI y SPI; de esta manera reducción en precipitación e incremento en la temperatura, variables que afectan el balance hidrológico y por ende el crecimiento de la especie, De esta manera, incrementos en temperatura asociados al calentamiento global, ejercen una influencia negativa en el crecimiento y sobrevivencia de la especie.

Referencias

Alanís Flores, G., Velazco Macías, J. C. G., Foroughbakhch Pournavab, R., Valdez Tamez, V. y Alvarado Vázquez, M. A. (2004). Diversidad florística de Nuevo León: especies en categoría de riesgo. Ciencia UANL, 7 (2). ISSN 1405-9177.

Arroyo-Morales, S., Astudillo-Sanchez, C. C., Aguirrre-Calderon, O. A., Villanueva-Diaz, J., Soria-Diaz, L. y Martinez-Sifuentes, A.R. (2022) A precipitation reconstruction based on pinyon pine tree rings from the northeastern Mexican subtropic. *Theoretical and Applied Climatology*. https://doi.org/10.1007/s00704-022-04303-1.

Cook E.R & Krusic P. J. (2005) Program ARSTAN: A tree-ring standardization program based on detrending and autoregressive time series modeling, with interactive graphics. Palisades, NY: Tree Ring Lab, Lamont Doherty Earth Observatory of Columbia University of Arizona Press

Estrada Castillón, A. E., Villareal Quintanilla, J. A., Salinas Rodríguez, M. G., Martín Cantú Ayala, C. M., González Rodríguez, H y Jiménez Pérez, J. (2014) Coníferas de Nuevo león, México. Universidad Autónoma de Nuevo león, facultad de Ciencias Forestales. 145 p.

Farjón, A., Pérez de la Rosa, J. A. & Styles, B. T. (1997) Guía de campo de los pinos de México y América Central. Royal Botanic Gardens, Kew. University of Oxford, UK. 151 pp.

Fritts HC (1976) Tree Rings and Climate. Caldwell, New Jersey: The Blackburn Press.

Holmes R. L. (1983) Computer-Assisted Quality Control in Tree-Ring Dating and Measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.

INEGI (1986) Síntesis geográfica del estado de Nuevo León. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, D.F.

Leyte Manrique, A. (2022) Biodiversidad de Coníferas del Estado de Nuevo León, México. Innovacademia, 4(8), 4–13. https://ojs.biblio.uanl.mx/index.php/ojs/article/view/87

Stahle, D. W., D' Árrigo, Krusic, P. J., Cleaveland, M. K., Cook, E. R., R.J. Allan, R. J., Cole, J. E., Dunbar, R. B., Therrell, M. D., Guy, D. A., Moore, M. D., Stokes, M. A., Burns, B. T., Villanueva-Diaz, J. & Thompson, L. G. (998) Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 70(10): 2137-2152.

Stokes, M. A. & Smiley T. L. (1968) An introduction to tree-ring dating. Tucson, Arizona: The University of Arizona

Villanueva Díaz, J., Vázquez Selem. L, Estada Ávalos, J., Martínez Sifuentes, A. R., Cerano Paredes, J., Canizalez V. P.M, Franco Ramos, O. y Reyes Camarillo F. del R. (2018) Comportamiento hidroclimático de coníferas en el Cerro Potosí, Nuevo León, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9 (49). https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.128

AISLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE BACTERIAS DE NÓDULOS DE FRIJOL NATIVOS DE MÉXICO

Cinthya Judith Ortega-Esparza[1], Erika Nava-Reyna[2*], Ricardo Trejo-Calzada[1], Oscar Martin Antúnez Ocampo[3]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Dgo., Méx.; [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Gómez Palacio, Dgo., Méx.; [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Iguala, Guerreo, México; *Autor por correspondencia: nava.erika@inifap.gob.mx

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris L.)* es una leguminosa que ha sido cultivada desde tiempos ancestrales por pequeños y grandes productores alrededor del mundo. Su cultivo se posiciona como uno de los tres más importantes a nivel mundial, junto a la soya (*Glycine max L.)* y el cacahuate *(Arachis hypogaea L.),* siendo una fuente importante de proteína, fibra dietética y almidón para países en desarrollo (Shamseldin & Velázquez, 2020). El frijol, así como otras leguminosas, son capaces de formar relaciones endosimbióticas con bacterias conocidas como rizobacterias, donde las bacterias proveen de compuestos que estimulan el crecimiento y permiten fijar de manera altamente eficiente elementos como nitrógeno que, posteriormente, pueden aprovecharse para su uso en cultivos futuros, pudiendo reducir el uso de fertilizantes químicos, y así, acercarse más a la agricultura sustentable (Meza et al., 2022).

El uso de rizobacterias con capacidad promotora de crecimiento (PGPR, por plant growth-promoting rhizobacteria) en la agricultura sustentable se ha posicionado a lo largo de las últimas décadas como una alternativa amigable con el ambiente, económica, accesible y eficiente a través del mundo, ya que han contribuido significativamente en el crecimiento y rendimiento de cultivos de interés agrícola; en contraste, múltiples estudios recientes han demostrado que la habilidad promotora de crecimiento de las bacterias es altamente especifica en función de las especies vegetales, así como el tipo y uso de suelo (Figueiredo et al., 2008). Así, las rizobacterias colonizan las raíces del frijol y otras leguminosas formando nódulos, facilitando la producción de amonio.

Esta relación permite que los nódulos radiculares puedan fijar entre 100 a 200 veces más N que bacterias presentes en los suelos libremente, ya que los nódulos cuentan con la capacidad de fijar N durante largos periodos de tiempo, en contraste con las bacterias de vida libre. Sin embargo, la capacidad simbiótica planta-bacteria se ve afectada significativamente por diferentes factores, entre ellos, las altas temperaturas, el estrés hídrico y la fertilidad del suelo (Torres-Gutiérrez et al., 2021). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es aislar y caracterizar las bacterias presentes en nódulos de frijol nativos de México, así como evaluar sus características promotoras de crecimiento.

Materiales y métodos

Se recolectaron nódulos visibles de 5 plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) nativo de las localidades de Iguala, Guerrero, y Durango, Durango, México, cuando la plantas se encontraban en etapa de floración/fructificación. Las plantas se extrajeron cuidadosamente del suelo con una pala de jardinería asegurándose de no dañar las raíces y se retiró suavemente el exceso de suelo de las raíces, posteriormente se localizaron los nódulos, se retiraron cuidadosamente de estas y se colocaron en un vial de transporte hermético de vidrio con sílica gel y algodón.

Se seleccionaron al azar entre 10 y 12 nódulos no dañados de cada planta muestreada para lavar y aislar bacterias. Los nódulos se sumergieron en etanol al 70% (v/v) por un minuto, se enjuagaron y se dejaron en remojo en una solución de hipoclorito de sodio al 6% (v/v) durante tres minutos; posterior al remojo, se enjuagaron seis veces con agua destilada estéril para eliminar completamente el hipoclorito de sodio. Terminado el proceso, los nódulos se aplastaron con pinzas estériles sobre una placa Petri y se suspendieron en 2.5 ml de agua destilada estéril. Se inocularon 100 µl de la suspensión en agar levadura-manitol modificado para contener 0.00125% de rojo congo (p/v) durante 24h. El criterio de selección inicial para las cepas fue la capacidad de fijar N, observado en el medio por la coloración de las colonias en un tono rosado pálido.

Las colonias se aislaron en nuevas placas de agar levadura-manitol, y una vez purificadas se conservaron 17 cepas en medio levadura-manitol modificado con 30% de glicerol a -80°C, utilizando para el experimento 9 cepas correspondientes a nódulos provenientes del estado de Guerrero (G) y 8 cepas provenientes de nódulos del estado de Durango (D). Se observaron macroscópicamente las 17 cepas aisladas de nódulos y se describió la morfología de las colonias.

Se determinó cualitativamente la capacidad productora de amilasas sembrando las cepas en placas de agar almidón a 28°C durante 48 horas. La producción de amilasas se visualizó inundando las placas con Lugol, observando halos transparentes alrededor de las colonias que tengan actividad amilasa (Chaiharn et al., 2008).

Para determinar la capacidad productora de celulasas se sembraron las cepas en placas de agar carboximetilcelulosa (CMC) a 28°C durante 5 días, posterior al tiempo, las placas se inundaron con una solución de rojo Congo al 1% (p/v), observando zonas transparentes alrededor de las colonias que degraden celulosa (Stewart et al., 1982).

Además, se determinó la producción de amonio inoculando las cepas en agua peptonada y se incubó durante 72 horas a 28°C para posteriormente añadir 5 ml de reactivo de Nessler a cada tubo indicando positividad al cambiar de color a naranja (Cappuccino & Sherman, 1992).

Resultados y discusión

Las ocho cepas aisladasde frijol nativo de Durango y las 9 de frijol nativo de Guerrero tomaron un color rosado en el medio levadura-manitol, indicando que todas son bacterias fijadoras de N, ya que estas no son capaces de absorber totalmente el colorante rojo Congo. Se codificaron las cepas con una G inicial a aquellas aisladas de frijol de Guerrero y una D a las aisladas de frijol de Durango, Las características morfológicas se enlistan en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Cuadro 1. Características morfológicas de 17 cepas aisladas de nódulos de frijol de Guerrero (G) y Durango (D).

Cepa	Colonia	Borde	Superficie	Elevación	Color
G1	Circular	Completo	Lisa, Brillante	Convexo	Naranja
G2	Filamentoso	Filamentoso	Algodonosa	Umbonante	Rosa claro
G3	Circular	Completo	Suave, Cremosa	Convexo	Naranja
G4	Circular	Completo	Lisa, Brillante	Umbonante	Rosa claro
G5a	Rizoide	Completo	Lisa, Brillante	Convexo	Rosa claro
G5b	Circular	Completo	Lisa, Brillante	Convexo	Rojo
G6	Puntiforme	Completo	Lisa, Brillante	Convexo	Rosa claro
G7	Circular	Completo	Mucoide	Pulvinante	Rosa claro
G8	Rizoide	Ondular	Seca, Áspera	Umbonante	Rosa claro
D1	Circular	Completo	Suave, Cremosa	Convexo	Rosa claro
D2	Puntiforme	Completo	Lisa, Brillante	Departamentada	Rosa claro
D3	Puntiforme	Completo	Suave, Cremosa	Departamentada	Rosa claro
D4	Puntiforme	Completo	Seca, polvorienta	Departamentada	Blanco
D5	Puntiforme	Completo	Suave, Cremosa	Departamentada	Rosa claro
D6	Irregular	Irregular	Mucoide	Convexo	Rosa claro
D7	Puntiforme	Completo	Suave, Cremosa	Convexo	Naranja
D8	Rizoide	Completo	Suave, Cremosa	Elevado	Rosa claro

Se han caracterizado ampliamente bacterias propias del suelo de la familia Rhizobiaceae, comúnmente denominadas como rizobios, esta familia incluye los géneros *Rhizobium, Bradyrhizobium, Sinorhizobium, Mesorhizobium, Allorhizobium* y *Azorhizobium*, géneros que tienen la habilidad de nodular simbióticamente especies vegetales de la familia Fabaceae (Leguminosae), especialmente en frijol (*P. vulgaris).* Diversos estudios han reportado que las bacterias asociadas a *Phaseolus* son ampliamente diversas entre las especies que infectan, esto dificulta el reconocimiento de factores que intervienen en la distribución de las especies de rizobios (Yadav & Raverkar, 2021), precisamente por eso es que la necesidad de caracterizar las bacterias asociadas a nódulos de especies nativas se vuelve sumamente relevante para lograr una alternativa eficiente ante el uso de fertilizantes químicos que impactan al medio ambiente.

Los resultados de la actividad enzimática de las cepas aisladas de nódulos de frijol se encuentran en el Cuadro 2. De acuerdo con los resultados, la mayoría de las cepas producen amilasas, a excepción de las G6, D3 y D5. Las bacterias que producen amilasas desempeñan un papel significativo en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de las enfermedades de las plantas (Farhaoui et al., 2022; Sousa et al., 2008).

Cuadro 2. Actividad enzimática de las 17 cepas aisladas de nódulos de frijol de Guerrero (G) y Durango (D).

Bacteria	Amilasas	Celulasas	Amonio
G1	+	+	+
G2	+	-	-
G3	+	+	+
G4	+	+	+
G5A	+	+	-
G5B	+	+	-
G6	-	+	-
G7	+	-	+
G8	+	+	+
D1	+	+	+
D2	+	+	-
D3	-	+	-
D4	+	+	-
D5	-	+	-
D6	+	+	+
D7	+	+	-
D8	+	+	+

En cuanto a la actividad celulasa, casi todas las cepas presentaron actividad, excepto las G2 y G7. Se ha reportado que la enzima celulasa, producida por bacterias como *Rhizobium Leguminosarum,* bacteria que nodula a leguminosas como *P. vulgaris* contribuye catalizando la hidrólisis localizada de la pared celular de las raíces, promoviendo así la infección primaria y secundaria en los tejidos de las leguminosas huésped (Menéndez et al., 2019).

Finalmente, las cepas G1, G3, G4, G7, G8. D1, D6 y D8 fueron positivas para la producción de amonio, mientras que las cepas G2, G5A, G5B, G6, D2, D3, D4, D5 y D7 no tuvieron actividad. El N es esencial para las plantas. La productividad de estas depende en gran medida del aporte de N, de hecho casi el 70% del N fijado biológicamente deriva de la simbiosis de rizobacterias con leguminosas como el frijol, estas bacterias pueden proporcionar hasta el 90% del N requerido por estas plantas (Mus et al., 2016).

Conclusiones

La caracterización de bacterias presentes en nódulos de frijol nativo nos acerca a poder aprovecharlas como alternativa o suplemento a los fertilizantes/pesticidas químicos para reducir el uso de fertilizantes químicos en el suelo y minimizar la contaminación de este, así como mejorar el crecimiento y producción de leguminosas como el frijol común, contribuyendo también a fijar nutrientes en el suelo para ser aprovechado posteriormente por diferentes cultivos.

Referencias

Cappuccino, J., & Sherman, N. (1992). Biochemical activities of microorganisms. *Microbiology, A Laboratory Manual. The Benjamin/Cummings Publishing Co. California, USA*, *76*.

Chaiharn, M., Chunhaleuchanon, S., Kozo, A., & Lumyong, S. (2008). Screening of rhizobacteria for their plant growth promoting activities. *Current Applied Science and Technology*, *8*(1), 18-23.

Farhaoui, A., Adadi, A., Tahiri, A., El Alami, N., Khayi, S., Mentag, R., Ezrari, S., Radouane, N., Mokrini, F., & Belabess, Z. (2022). Biocontrol potential of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) against Sclerotiorum rolfsii diseases on sugar beet (Beta vulgaris L.). *Physiological and Molecular Plant Pathology*, *119*, 101829. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2022.101829

Figueiredo, M., Martinez, C., Burity, H., & Chanway, C. (2008). Plant growth-promoting rhizobacteria for improving nodulation and nitrogen fixation in the common bean (Phaseolus vulgaris L.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *24*, 1187-1193. https://doi.org/10.1007/s11274-007-9591-4

Menéndez, E., Robledo, M., Jiménez-Zurdo, J. I., Velázquez, E., Rivas, R., Murray, J. D., & Mateos, P. F. (2019). Legumes display common and host-specific responses to the rhizobial cellulase CelC2 during primary symbiotic infection. *Scientific Reports*, *9*(1), 13907. https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-019-50337-3

Meza, C., Valenzuela, F., Echeverría-Vega, A., Gomez, A., Sarkar, S., Cabeza, R. A., Arencibia, A. D., Quiroz, K., Carrasco, B., & Banerjee, A. (2022). Plant-growth-promoting bacteria from rhizosphere of Chilean common bean ecotype (Phaseolus vulgaris L.) supporting seed germination and growth against salinity stress [Original Research]. *Frontiers in Plant Science*, *13*. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1052263

Mus, F., Crook, M. B., Garcia, K., Garcia Costas, A., Geddes, B. A., Kouri, E. D., Paramasivan, P., Ryu, M.-H., Oldroyd, G. E., & Poole, P. S. (2016). Symbiotic nitrogen fixation and the challenges to its extension to nonlegumes. *Applied and environmental microbiology*, *82*(13), 3698-3710.

Shamseldin, A., & Velázquez, E. (2020). The promiscuity of Phaseolus vulgaris L.(common bean) for nodulation with rhizobia: a review. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *36*, 1-12. https://doi.org/10.1007/s11274-020-02839-w

Sousa, C. d. S., Soares, A. C. F., & Garrido, M. d. S. (2008). Characterization of streptomycetes with potential to promote plant growth and biocontrol. *Scientia Agricola*, *65*, 50-55. https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000100007

Stewart, J., Stewart, C., & Heptinstall, J. (1982). The use of tritiated cellulose in screening for cellulolytic microorganisms. *Biotechnology Letters*, *4*, 459-464.

Torres-Gutiérrez, R., Granda-Mora, K. I., Bazantes Saltos, K. d. R., & Robles-Carrión, Á. R. (2021). Rhizobium Diversity Is the Key to Efficient Interplay with Phaseolus vulgaris. Case of Study of Southern Ecuador. In N. R. Maddela, L. C. García Cruzatty, & S. Chakraborty (Eds.), *Advances in the Domain of Environmental Biotechnology: Microbiological Developments in Industries, Wastewater Treatment and Agriculture* (pp. 521-548). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8999-7_19

Yadav, S. K., & Raverkar, K. P. (2021). Characterization of Rhizobium and plant growth promoting rhizobacteria from French bean rhizosphere and their effect on French bean productivity. *Agricultural Development in Asia-Potential Use of Nano-Materials and Nano-Technology*.

MANEJO Y REPRODUCCIÓN DE LA TORTUGA DEL BOLSÓN *Gopherus flavomarginatus* EN CONDICIONES DE CAUTIVERIO EN EL TORTUGARIO DE LA URUZA RESERVA BIOLÓGICA DE LA TORTUGA DEL DESIERTO

Rafael Carrillo Flores[1*], Sara Isabel Valenzuela Ceballos[2], Gamaliel Castañeda Gaytán[2], Cristóbal Hernández Bautista[1], Adela Ivone Pulido Nava[1] Jair de Jesús Silva Guzmán[1] Ruth Enedina Rodríguez García[1]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. [2]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas. [*]Autor para correspondencia: rcarrillo@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

La tortuga del Bolsón (*Gopherus flavomarginatus*) es la especie de tortuga terrestre más grande de Norteamérica (Morafka 1982). De acuerdo con el registro fósil, su área de distribución durante el Pleistoceno abarcó desde el sur de Estados Unidos hasta Aguascalientes en México. Sin embargo, esta área se redujo un 90% debido a cambios orográficos ocurridos durante el Plioceno-Holoceno y a la presión ejercida por el hombre en las últimas décadas (Bury et al., 1988; Morafka,1989; Adest et al., 1989). Al igual que el área de distribución, la densidad poblacional de la especie ha ido a la baja. En 1988 se calculó un tamaño poblacional máximo de 10,000 individuos (Bury et al., 1988), sin embargo, actualmente se estima la existencia de solo 2,500 ejemplares adultos (Kiester et al., 2018). Debido a su condición, esta especie está considerada en peligro de extinción conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010; SEMARNAT, 2019), en riesgo crítico y en estado decreciente por la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN (IUCN, 2024), en el Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, 2024) y es considerada como una de las 40 especies de tortugas más amenazadas del planeta (Rhodin, et al., 2011).

Una de las formas de evitar la pérdida de especies amenazadas o en peligro de extinción es mantener poblaciones en cautiverio con el fin de salvaguardar a los individuos y ejecutar programas de reproducción que permitan mantener un stock disponible para su reintroducción en un futuro. Se ha demostrado para otras especies altamente amenazadas que la reproducción en cautiverio, así como el mantenimiento de las crías durante las primeras etapas de vida, es benéfico pues se reducen las tasas de mortalidad derivadas de la depredación en las etapas más vulnerables y se asegura el crecimiento y desarrollo óptimo de los individuos para su uso en programas de reintroducción en su hábitat.

En este sentido, el presente trabajo tiene como propósito el manejo de una población de la Tortuga del Bolsón *Gopherus flavomarginatus* en condiciones de cautiverio que permita el mantenimiento, la conservación, la reproducción, de individuos adultos así como la cría de ejemplares nacidos dentro del Tortugario de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo “Reserva Biológica de la Tortuga del Desierto” que permita un desarrollo favorable en sus primeras etapas y posterior liberación controlada en poblaciones naturales, así como investigación, difusión, divulgación y educación ambiental que contribuya a la recuperación de las poblaciones naturales en el mediano y largo plazo.

Materiales y métodos

A partir de 1997 se estableció el Tortugario de la URUZA bajo el nombre de “Reserva Biológica de la Tortuga del Desierto” como resultado de la donación de 23 tortugas del Bolsón *Gopherus flavomarginatus* adultas por parte de la SEMARNAT producto de un decomiso y la alimentación brindada desde su establecimiento consistió principalmente de alfalfa, pastos y herbáceas anuales que crecen en los alrededores del Tortugario (Castro et al., 2007). El Tortugario está conformado con dos áreas octagonales identificadas como encierro norte y encierro sur con una superficie de 518 m2 y 318 m2 respectivamente protegidas con cerco perimetral de malla ciclónica. Cuentan con disposición de agua permanente y vegetación nativa buscando mantener un hábitat adecuado para la especie.

A pesar de que el Tortugario se estableció hace 27 años, en 2021 se inició la gestión para su registro como UMA, registro que se obtuvo en 2022 con número SEMARNAT-UMA-IN-0447-DGO y que actualmente cuenta con un Plan de Manejo avalado por la SEMARNAT Tiene como propósitos el resguardo, la reproducción, la investigación, la educación ambiental y la exhibición de ejemplares de tortuga del bolsón en condiciones de cautiverio en sus diferentes etapas de desarrollo y busca contribuir a la recuperación de las poblaciones naturales de *G. flavomarginatus* en su área de distribución natural dentro de la Reserva de la Biósfera de Mapimí.

A partir de su registro, con la colaboración de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, se inició una adecuación a su alimentación, la elaboración de protocolos para alimentación, reproducción, registro y control de individuos adultos, rescate y registro de neonatos, cuidado de neonatos y juveniles, monitoreo de la salud, recepción de individuos producto de decomisos o de donaciones voluntarias, identificación y registro de individuos, individuos en condiciones de cuarentena y de liberación y monitoreo de individuos liberados.

Se han realizado evaluaciones periódicas trimestrales de ambos encierros y mensual para los neonatos y juveniles nacidos en el Tortugario. Las evaluaciones de las tortugas adultas se iniciaron en septiembre del 2019, sin embargo, de 2019 a 2021 las evaluaciones eran esporádicas A partir de mayo de 2022, se inició una evaluación periódica trimestral de las tortugas adultas.
En cada tortuga, se evalúan 6 parámetros: 1. Largo del caparazón (LC); 2. Ancho del caparazón (AC); 3. Largo del plastrón (LP); 4. Ancho del plastrón (AP); 5. Alto (H); 6. Peso (Kilogramos). Además, Con el propósito de contar con un registro y control de cada tortuga, se definieron 3 formas de identificación: a) Marca con muescas en las placas dérmicas marginales del caparazón para identificación numérica individual; b) Colocación de microchip marca AVID bajo la piel de la pata trasera izquierda utilizando una aguja hipodérmica estéril de un solo uso modelo AVID2002. Para el escaneo del microchip, se adquirió el lector RFID veterinario Minitracker; c) Colocación del número correspondiente a las muescas de las placas dérmicas marginales en el caparazón con pintura vinílica para su identificación visual a distancia. Cabe señalar que esta última marca es temporal, pues con el movimiento dentro de la madriguera o su comportamiento durante los cotejos para el apareamiento o peleas, éste tiende a borrarse por lo cual en cada evaluación se vuelve a marcar.

Con respecto a neonatos y juveniles, hasta el 2020, el Tortugario no contaba con un plan de rescate y recuperación de neonatos de tortugas nacidas dentro de los encierros hasta el 2021. Es probable que los nidos y tortugas nacidas fueran atacadas por distintos depredadores como aves y víboras por su vulnerabilidad, por lo que no se encontraron neonatos o tortugas juveniles. Por tal motivo, a partir del mes de septiembre del 2021, se inició el rescate y recuperación de neonatos. Una vez recuperados se registran con un número consecutivo y una letra para diferenciar las camadas anuales. La letra A corresponde a las nacidas en 2021, la letra B a las nacidas en 2022, la C para las nacidas en 2023 y la letra D a las nacidas en 2024. Además, una vez rescatadas se les toma 6 fotografías: Arriba (Caparazón), abajo (Plastrón), enfrente, atrás, Izquierda y derecha (Dorsales), y se lleva a cabo una primera evaluación midiendo los 6 parámetros considerados para las tortugas adultas. Posteriormente las evaluaciones son de manera mensual.

También se han llevado a cabo actividades de divulgación dando a conocer la importancia de la conservación y la recuperación de las poblaciones naturales de esta importante especie y la contribución de la URUZA en coordinación con la Facultad de Ciencias Biológicas de la UJED y la Reserva de la Biósfera de Mapimí en esta loable labor.

Resultados

El inventario es de 24 tortugas (15 hembras y 9 machos) en el encierro Norte y de 39 tortugas (26 hembras y 13 machos) en el encierro sur con un total 63 tortugas adultas (41 hembras y 22 machos). El peso promedio es de 8.3 kg con un mínimo de 4.7 kg y un máximo de 13.7 kg. El largo de caparazón promedio es de 33.45 con un mínimo de 25.8 cm y un máximo de 39.0 cm. En ambos encierros se lleva a cabo el programa de reproducción con el total de las tortugas adultas.

Con respecto a los neonatos, en el mes de septiembre del 2021 se inició el rescate y recuperación de tortugas nacidas en ambos encierros del Tortugario. Con ello se logró rescatar 11 neonatos de las cuales sobreviven 9, para 2022 dicha actividad se realizó todo el año, desde la ubicación de nidadas de abril a julio y la recuperación de neonatos de julio a octubre. De esta manera, para 2022 se recuperaron 16 tortugas recién nacidas de las cuales actualmente sobreviven 13. Durante 2023, se modificó la alimentación de las tortugas adultas agregando de 3 a 4 veces por semana verduras frescas, pencas de nopal, pastos y algunas hierbas anuales y complementando la alimentación con alfalfa. Es probable que con este cambio en la dieta se presentara una tendencia al aumento de la tasa reproductiva y una mayor eclosión. Así, para 2023 se recuperaron 48 neonatos de los cuales sobreviven 43 y para este 2024 se han recuperado 53 neonatos de los cuales dos ha fallecido.

Con las tortugas nacidas de 2021 a la fecha en el Tortugario de la URUZA, el inventario es de 63 tortugas adultas y 116 neonatos y juveniles (las nacidas de 2021 a 2024) con un total de 179 tortugas, incrementando la población en 184% de 2020 a 2024.

Cabe hacer mención que las tortugas nacidas en cautiverio en el Tortugario tienen el propósito de ser liberadas en un mediano a largo plazo en su hábitat natural dentro de la Reserva de la Biósfera de Mapimí previa autorización de la SEMARNAT y con el aval de la CONANP a través de la Administración de esta Área Natural Protegida. Para ello, es importante señalar que se está llevando a cabo una caracterización genética a todos los individuos adultos en colaboración con la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango con el propósito de garantizar la existencia de individuos puros de la especie y evitar posibles híbridos.

A mediados del 2023, se gestionó con las autoridades de la URUZA la disposición de un área para llevar a cabo las actividades de resguardo de neonatos y el desarrollo en sus primeras etapas previo a su liberación en su hábitat natural, otorgando las condiciones que permita garantizar la mayor sobreviviencia posible. Además, se plantea que dicha área sea utilizada para las actividades de reproducción, investigación y zona de cuarentena.

Como parte de las actividades de divulgación, se ha participado en la Semana de Vinculación Regional de la URUZA con 2 módulos demostrativos dirigidos a alumnos de educación básica y preparatoria, además de atención a visitantes ya sea en grupo o individual y se han publicado notas periodísticas en periódicos locales y regionales.

Además, en 2023 con la colaboración de 3 alumnos que han participado en el Tortugario desde el 2021, se concursó en el evento de Expociencias con el proyecto “Caracterización y conservación ex situ de la Tortuga del Bolsón *Gopherus flavomarginatus*” en 3 de las 4 etapas de este evento: Nivel regional el 10 de agosto del 2023 en Cuencamé, Durango donde lograron una acreditación para el concurso estatal y obtuvieron constancia de participación; Nivel Estatal el 22 de septiembre en la ciudad de Durango, Dgo donde lograron una acreditación al concurso nacional y obtuvieron constancia de participación; Nivel Nacional que se llevó a cabo del 5 al 8 de diciembre en Hermosillo, Sonora y obtuvieron constancia de participación. Con su participación se divulgó la importancia de la conservación de esta especie y las actividades desarrolladas por la URUZA en conjunto con la Facultad de Ciencias Biológicas de la UJED y de la Reserva de la Biósfera de Mapimí a nivel regional y nacional, poniendo en alto a la Universidad Autónoma Chapingo y en particular a la URUZA.

Conclusiones

El llevar a cabo un programa de manejo y reproducción de la tortuga del Bolsón Gopherus flavomarginatus en condiciones de cautiverio, así como un programa de liberación de tortugas juveniles y adultas nacidas y desarrolladas en las mismas condiciones en el Tortugario de la URUZA “Reserva biológica de la Tortuga del Desierto en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, en conjunto con la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango y la Reserva de la Biósfera de Mapimí, permite contribuir de manera significativa en la recuperación de las poblaciones naturales de esta importante especie catalogada en peligro de extinción.

Es posible que derivado del cambio de dieta en 2023 para las tortugas adultas en ambos encierros del Tortugario de la URUZA, la tendencia en el estado de salud de las adultas ha mejorado, resultando en un mayor apareamiento y mayor incidencia de neonatos, aunque es necesario llevar a cabo una investigación más profunda que permita verificar esta tendencia.

Los esfuerzos realizados hasta el momento por parte de diferentes instituciones no han sido suficientes y se espera que el presente trabajo pueda proporcionar conocimiento ecológico de las tortugas adultas, neonatos y juveniles desde el cuidado, manejo, reproducción, liberación y seguimiento que permita garantizar el aumento de las poblaciones y de la diversidad genética de esta especie.

Referencias

Adest, G.A., Aguirre León, G., Morafka, D.J. & Jarchow, J.V. (1989). Bolsón Tortoise (Gopherus flavomarginatus) conservation : II. Husbandry and reintroduction. *Vida Sylvestre Neotropical 2*(1):1420.

Bury, R. B., Morafka, D. J. & McCoy, C. J. (1988). Parte I. distribution, abundance and status of the Bolson Tortoise. In: D. J. Morafka & J. c. MacCoy. (Eds). *The Ecogeography of the Mexican Bolson Tortoise (Gopherus flavomarginatus): derivation of its Endangered Status and Recommendations for its Conservation*. Annals Carnegie Museum.

Castro Franco, R., Hernández Herrera, JA, & Ortiz Cano, HG (2007). Manejo en cautiverio e incorporación a su hábitat de la tortuga (Gopherus flavomarginatus) del Bolsón de Mapimí, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas , VI* (2), 223-227.

CITES (2024). Apéndices I, II y III de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) en vigor a partir del 25 de mayo de 2024. https://cites.org/sites/default/files/esp/app/2024/S-Appendices-2024-05-25.pdf

IUCN. (2024). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2024-1. : https://www.iucnredlist.org.

Kiester, A.R., Palomo-Ramos, R., Rios-Arana, J. & Goode, E.V. (2018). Gopherus flavomarginatus. The IUCN Red List of Threatened Species 2018. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T9402A112660985.en

Morafka, D.J. (1982). The status and distribution of the Bolsón tortoise (Gopherus flavomarginatus). In North American tortoises: conservation and ecology, B. E. Bury (ed.). United States Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington D. C. p. 71-94.

Morafka, D.J. (1989). Gopherus flavomarginatus Bolson Tortoise. In R. Swingland and M.W. Klemends (eds.), The Conservation Biology of Tortoises.

Rhodin, A.G.J., Walde, A.D, Horne, B.D., Van DiJk, P.P., Blanck, T., and Hudson, R. (eds.). (2011). Turtles in Trouble: The World's 25+ Most Endangered Tortoises and Freshwater Turtle. 54 pp.

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. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre del 2010

SEMARNAT (2019). MODIFICACIÓN del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la 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. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de noviembre del 2019.

DIVERSIDAD Y ABUNDANCIA DE AVIFAUNA EN VERANO Y OTOÑO EN HUMEDALES ARTIFICIALES EN BOSQUE DE LA SIERRA SANTA LUCIA, DURANGO

Gonzalo Hernández-Ibarra[1,2*], Jorge Homero Rodríguez-Castro[3], Luis Gerardo Yáñez-Chavez[1] y Mayela Rodríguez-González[4]

[1]Profesor investigador de Tiempo Completo de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo; Km 40 de la Carretera Gómez Palacio, Durango-Cd. Jiménez Chihuahua, C.P. 35230.Teléfonos: 872 77 60160 y 60190, Bermejillo, Mapimi, Durango. [2]Estudiante del Programa Doctoral División de Estudios de Posgrado Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Victoria, Tamaulipas,[3]Profesor-investigador del Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Victoria, Tamaulipas, [4]Egresada del Doctorado en Ciencias por la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. *Autor para correspondencia: chalonza2011@gmail.com

Introducción

En recientes investigaciones se ha resaltado la importancia del grupo taxonómico aves en diferentes áreas a lo largo y ancho del planeta. Particularmente en lugares muy puntuales como los humedales en diversas regiones y climas. En México hay algunos estudios al respecto; autores tales como Enríquez et al. (2006) dicen que los fragmentos de bosque y los sistemas silvopastoriles (cercas vivas y árboles en potreros) desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento de las poblaciones de aves dependientes de bosque, las cuales son generalmente especies prioritarias para la conservación de la biodiversidad. En la década pasada Ugalde et al. (2010) publicaron que la riqueza y abundancia de especies de aves fue significativamente mayor en bosque perturbado que en bosque poco alterado, comportamiento característico de comunidades de aves sujetas a condiciones de perturbación. Los humedales están amenazados por la contaminación, por alteraciones del agua y el clima provocadas por el cambio climático, por las presas que alteran el flujo natural del agua, por la introducción de especies invasoras que perturban las cadenas alimentarias naturales de un humedal específico y por la creencia de que son sitios poco valiosos, lo que lleva a usar sus terrenos como zonas agrícolas, de pastoreo o urbanas (SADER, 2022). Serrano et al. (2013) destacan que los datos que obtuvieron en un humedal en el estado de Veracruz fueron los primeros registros de aves y calidad del sitio, realizados hasta ese momento en el manglar de Tumilco, y podrían ser utilizados para elaborar planes de manejo y conservación en la zona. La avifauna registrada en 18 humedales en India indica que en un hábitat determinado si se presentan altos registros de especies dominantes, será reflejo de un predominio relativo de especies nativas y generalistas (Gayen et al; 2020). En el presente estudio consideramos la relevancia de que existan humedales artificiales en el municipio Poanas y se planteó como objetivo listar y describir las especies de aves silvestres presentes en humedales artificiales en la Sierra Santa Lucia.

Materiales y Métodos

El presente estudio se realizó en 10 humedales artificiales pertenecientes a dos ejidos (La Ochoa y Veracruz), en la parte alta del municipio Poanas, Durango (Sierra Santa Lucia), se localiza en los paralelos 23° 49’ y 24° 15’ de latitud norte y en los meridianos 103° 47’ y 104° 16’ de longitud oeste, presenta una latitud entre los 1800 y 2700 m; las colindancias del municipio son al norte con los municipios de Durango y Guadalupe Victoria; al este con el municipio de Cuencamé y el estado de Zacatecas; al sur con los municipios de Vicente Guerrero y Nombre de Dios, así como con el estado de Zacatecas; al oeste colinda con los municipios de Nombre de Dios y Durango (INEGI, 2010). El municipio Poanas tiene una población total de 23,466 habitantes en 29 localidades, siendo el segundo más pequeño del estado de Durango con una superficie de 1,124.9 km² que representan el 1.53% del total del territorio estatal (INEGI, 2010).

Método. Nosotros registramos las especies avistadas en cada humedal artificial mediante el método de conteo de individuos de la clase taxonómica aves por puntos-extensivo (tamaño variable), se basa en Hilden et al. (1991) y estándares propuestos por Ralph et al. (1996), (Moreno, 2001). Se realizaron visitas y recorridos a campo (los días 1 al 5 de cada mes se realizó una visita y/o conteo de aves a cada uno de los 10 humedales); registramos las especies de aves y las características de los humedales durante los meses de julio a diciembre de 2022 (verano y otoño).

Los horarios de los conteos fueron comprendidos dentro de las 3 horas seguidas al amanecer y dentro de las 3 horas previas al anochecer, 20 minutos de conteo por humedal recorriendo la periferia a paso lento registrando los individuos avistados en captura fotográfica y llenado de datos en formato de campo. Además de georreferenciación de cada humedal, así como altitud en msnm.

La identificación de las especies de aves se realizó con las Guías para la identificación de aves: Dunn y Alderfer, (2017) (Field Guide to the Birds of North America National Geographic), Sibley, (2003) y la plataforma online Naturalista (CONABIO, 2024).

Utilizamos guías para la identificación de aves, cámara fotográficas Nikon COLPIX- P-900, binoculares Screenshot, Hike Crew (Binoculares de visión nocturna: Distancia visual en día= 400 m, de noche=100 m) con infrarrojo, vehículo, bicicleta, formato de campo y pluma. Una vez que se registraron los individuos encontrados en cada humedal en cada visita y debidamente identificadas las especies; fuimos capturando en hojas para análisis en el Software Microsoft Excel; se analizaron los datos en el software PAST 3.06; estos valores se usaron para la elaboración de cuadros y gráficas para la discusión de resultados.

Resultados y discusión

La vegetación característica encontrada alrededor de los 10 humedales artificiales fue de de dos tipos: encino y asociación encino-pino (Cuadro 1). Las altitudes de los humedales oscilaron entre 2000 a 2150 m; todos los humedales fueron creados para acumular y/o almacenar agua de lluvia de escorrentia y sirva como agua para satisfacer los requerimientos diarios de este vital liquido a lo largo del año

.

Cuadro 1. Tipo de vegetación encontrada en 10 humedales en dos Ejidos en la Sierra Santa Lucia.

Humedal	Tipo de vegetación
FLO1	Bosque de encino-pino
FLO2	Bosque de encino-pino
FLO3	Bosque de encino-pino
FLO4	Bosque de encino
V1	Bosque de encino
V2	Bosque de encino
V3	Bosque de encino
V4	Bosque de encino
FLO5	Bosque de encino-pino
V5	Bosque de encino-pino

Nota: FLO1=Humedal 1 Ejido La Ochoa, FLO2=Humedal 2 Ejido La Ochoa, FLO3=Humedal 3 Ejido La Ochoa, FLO4=Humedal 4 Ejido La Ochoa, FLO5=Humedal 5 Ejido La Ochoa, V1= Humedal 1 Ejido Veracruz, V2= Humedal 2 Ejido Veracruz, V3= Humedal 3 Ejido Veracruz, V4= Humedal 4 Ejido Veracruz, V5= Humedal 5 Ejido Veracruz.

Adicionalmente encontramos que en el mes de diciembre se contabilizaron mas especies de aves resaltando en 5 humedales en 5 meses como la mayor cantidad de especies registrada, siendo 17 el número mayor y 10 el menor para dichos meses. En general en los tres meses de la estación otoño se encontraron más especies de aves que en los tres meses de la estación verano; posiblemente atribuible al arribo de las especies migratorias de otoño y al nivel de agua que presentaron los humedales. (Figura 1); Destacando para los tres meses en la estación verano dos especies: “Gorrión mexicano” *Haemorohus mexicanus* (58) y paloma huilota *Zenaida macroura* (28) por otro lado en los tres meses de la estación otoño las dos especies que más se registraron fueron: “Gorrión arlequin” *Chondestes grammacus* (66) y “cardenalito” *Pyrocephalus rubinus* (65) individuos respectivamente. Asi como también para los seis meses de estudio las familias que más registro de especies acumularon son: Passelleridae (7), Tyrannidae (4) y Picidae (4). Medina et al. (2010) aluden que, en bosques de encino, debido a su estructura y ubicación en los gradientes, pudiera funcionar como una barrera que ha limitado el movimiento de especies entre tierras bajas y altas, y por ende ha actuado como un área de recambio para especies congenéricas; sería el caso de especies de aves en nuestro estudio tales como: *Melanerpes formicivorus*, *Tyrannus vociferans* y *Turdus migratorius*.

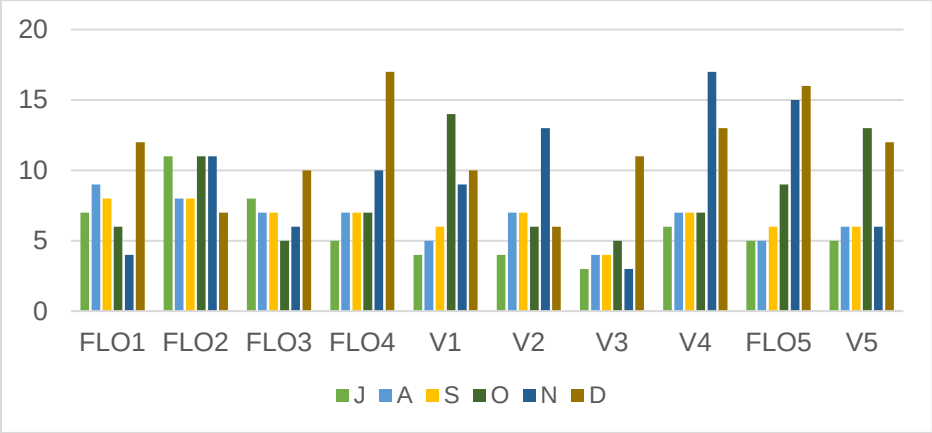


Figura 1. Cantidad de especies contabilizadas por mes en verano (Julio, agosto y septiembre) y otoño (octubre, noviembre y diciembre) en diez humedales artificiales.

En la Figura 2; se aprecia la vista panoramica de un humedal en la Sierra Santa Lucia en el mes de octubre, incluyendo forma, tipo de vegetación encino-pino, relieve cercano y vegetación asociada en las margenes del al cuerpo de agua, coloración de la superficie del agua y acumulación de residuos de plantas como polen, hojas y frutos pequeños. Los humedales se consideran uno de los entornos más productivos del mundo: son cunas de diversidad biológica, fuentes de agua y productividad primaria de las que innumerables especies vegetales y animales dependen para subsistir, señala la Convención de sitios Ramsar (National Geographic, 2024).



Figura 2. Uno de los 10 humedales artificiales en el mes de octubre en la Sierra Santa Lucia.

En la Figura 3; denotamos que la estación otoño manifestó mayor relación y representatividad para 5 humedales, los cuales son: V4, V1, FLO5, FLO4 y V5; y para el caso de la estación verano únicamente 2 humedales manifestaron relación FLO1 y FLO2. Adicionalmente encontramos que el índice de diversidad de Shannon weiner es de 2. 267 para otoño y 2.046 para verano, evidenciando que en otoño se registró mayor diversidad de especies y cantidad de individuos.

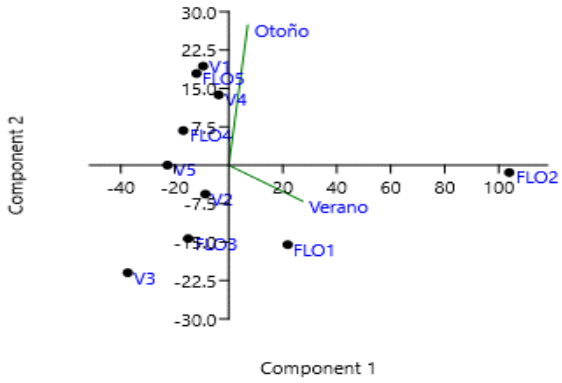


Figura 3. Análisis de Componentes Principales para diez humedales en dos estaciones del año.

Conclusiones

La abundancia de especies de aves silvestres consistio en 37 especies promedio con un total de 616 individuos para otoño y 33 especies promedio con un total de 440 individuos para verano.

Referencias

Comisión Nacional para el uso y conocimiento de la biodiversidad (CONABIO). (2024). Aves. Recuperado el 11 de julio de 2023 de: www.conabio.gob.mx/otros/nabci/doctos/aves.html

Dunn, J. L., & Alderfer, J. (2017). Field Guide to the Birds of North America. Washington, DC: Séptima edición. National Geographic.

Enriquez, M. L. (2006). Riqueza, abundancia y diversidad de aves y su relación con la cobertura arbórea en un agropaisaje domindado por la ganadería en el trópico subhúmedo de Costa Rica. Revista Agroforesteria en las Américas NO. 45. Avances de Investigación. Recuperado el 24 de agosto de 2024 de: https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7749/Riqueza_abundancia_y_diversidad_de_aves.pdf?sequence=1

Gayen, J., Ghosh, P. K., & Datta, D. (2020). Avifauna habitability of wetlands in an intensive cultural landscape: insights from the Ichhamati floodplains, India. *Environmental monitoring and assessment*, *192*(6), 329. https://doi.org/10.1007/s10661-020-08306-1

Hilden, O., Koskimies, P., Pakarinen, R., Vaisanen, R. A. (1991). Point count of breeding landbirds. Monitoring bird populations. Helsinki: Zoological Museum, Finnish Museum of Natural History, University of Helsinki.

INEGI. (2010). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Poanas, Durango. 27 de marzo de 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía Recuperado el 01 de agosto de 2024 de: http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/10/10022.pdf

López-Muñoz, E. C., Enríquez, P. L., Saldaña-Vázquez, R. A., Hernández-Morales, F., Vandame, R.(2022) Diversidad avifaunística y gremios tróficos en tres condiciones diferentes de cobertura vegetal selvática, al sureste de Chiapas, México.Acta Zoológica Mexicana (nueva serie), 38, 1–36.10.21829/azm.2022.3812434elocation-id:e3812434

Medina-Macías, M. N., González-Bernal, M., & Navarro- Sigüenza, A. (2010). Distribución altitudinal de las aves en una zona prioritaria en Sinaloa y Durango, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* , *81*, 487-503.

Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.

National Geographic. 2024. Medio ambiente. Consultado el 12 de septiembre de 2024 de: https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2024/01/que-tipos-de-humedales-existen-en-el-mundo

Ralph. C John; Geupel, Geoffrey R.; Pyle, Peter; Martin Thomas e.; DeSante, David F.; Milá, Borja. (1996). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. General Technical Report, Albany CA: Pacific Southwest Station. Forest Service. U.S. Departament of Agriculture.

SADER. (2022). Los humedales de México belleza y riqueza de enorme importancia. Consultado el 11 de septiembre de 2024 de: https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/los-humedales-de-mexico-belleza-y-riqueza-de-enorme-importancia-145780?idiom=es

Serrano, A., Vázquez-Castán, L., Ramos-Ramos, M., Basáñez-Muñoz, A. J. & Naval-Ávila, C. (2013). Bird diversity and abundance in a wetland of northern Veracruz, Mexico. Acta Zoológica Mexicana (n.s.), 29(3): 473-485.

Sibley, D. A. y Knopf, A. A. (2003). The Sibley. Field Guide to Birds of Western North America. New York, E U A.

Ugalde-Lezama, Saúl, Alcántara-Carbajal, J. Luis, Valdez-Hernández, J. Ignacio, Ramírez-Valverde, Gustavo, Velázquez-Mendoza, Juan, & Tarango-Arámbula, L. Antonio. (2010). Riqueza, abundancia y diversidad de aves en un bosque templado con diferentes condiciones de perturbación. *Agrociencia*, *44*(2), 159-169. Recuperado en 18 de septiembre de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000200004&lng=es&tlng=es.

LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LERDO, DURANGO, MÉXICO

José Antonio Hernández-Herrera [1], José Javier Ochoa Espinoza[1], Michelle Ivonne Ramos-Robles[1], Eloy Alejandro Lozano Cavazos [1], Luis Manuel Valenzuela Núñez [2]*, Edwin Amir Briceño Contreras [2], Aldo Rafael Martínez Sifuentes[3].

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México. [2]UJED-Facultad de Ciencias Biológicas. Av. Universidad S/N, Fracc. Filadelfia C.P. 35020, Gómez Palacio, Durango, México.[3]INIFAP CENID-RASPA. Margen Derecho Canal del Sacramento km. 6.5, Zona Industrial 4ª Etapa, C.P. 35140, Gómez Palacio, Durango, México.[4]Universidad para el Bienestar Benito Juárez García, Sede Hidalgo, Francisco I. Madero, Coahuila, México. *Autor por correspondencia: luisvn70@hotmail.com

Introducción

El cambio climático en México se espera que se traduzca en un aumento de la temperatura anual entre 0.5 y 4.8°C para el período 2020-2100. También se anticipa una reducción en las precipitaciones del 5% en verano y del 15% en invierno. Estos cambios provocarán fenómenos hidrometeorológicos extremos que impactarán la salud, la agricultura, y la infraestructura, como caminos y carreteras lo que aumentará la vulnerabilidad del país en términos de seguridad alimentaria, incremento de incendios forestales, pérdida de servicios ambientales y la posible extinción de especies (Sosa-Rodríguez, 2015). El cambio climático tendrá importantes repercusiones a largo plazo en la actividad económica. Entre 1960 y 2014, se registró un crecimiento per cápita negativo vinculado a las variaciones en la temperatura y la precipitación. Para el año 2100, se estima que el PIB podría disminuir en un 7.22%, afectando diversos aspectos del sector económico, incluidos la producción, el empleo y la productividad laboral (Kahn et al., 2021). Para evaluar las afectaciones del cambio climático, se han establecido variables e indicadores físicos, químicos y biológicos que facilitan el análisis de la evolución de las condiciones climáticas en la Tierra (Bojinski et al., 2014). La Región Lagunera, por su ubicación en una zona desértica y con una topografía plana con escaso drenaje pluvial, es vulnerable a inundaciones en caso de lluvias torrenciales o eventos climáticos extremos en la Sierra Madre Occidental (Ríos-Aguilar, 2018). Sin embargo, el fenómeno más recurrente es la sequía. Según Esquivel-Arriaga et al. (2017), la mayoría de las sequías son leves, mientras que las severas son poco comunes y las extremas son raras. Además, se identificaron eventos de déficit de precipitación que coincidieron con la presencia del fenómeno de El Niño. El objetivo de este estudio es evaluar los indicadores de cambio climático en la estación Lerdo, Durango, con el fin de analizar los posibles cambios en los parámetros ambientales.

Materiales y métodos

Se recopilaron datos de la estación Lerdo, ubicada en la Región Lagunera, al este del estado de Durango, correspondientes al período de 1975 a 2024. Los registros diarios de precipitación y temperatura fueron descargados desde el sitio web de la CONAGUA: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado. Estos datos se integraron en una hoja de Excel, se procesaron y se guardaron en un archivo de texto con formato .txt. Posteriormente, se utilizó el paquete ClimDex 1.9 en el programa R versión 4.4.0 para obtener y analizar diversos índices y tendencias. Se generaron gráficas de las series temporales para la temperatura media máxima (TMax), temperatura media mínima (Tmin), rango de temperatura diurna (DTR), precipitación total anual, y el comportamiento de la precipitación máxima mensual en intervalos de 1 y 5 días.

Resultados y discusión

Se muestra la tendencia de la temperatura media máxima (TMax), con un coeficiente de regresión de 0.022 (Figura 1), lo que indica un aumento promedio 0.022°C por año. Asimismo, la temperatura media mínima (Tmin) ha aumentado 0.018°C por año. Según los análisis de Inzunza-López et al. (2011), se observó una disminución de 0.228 °C por decenio, sin embargo, no se especifica el período analizado. En contraste, nuestros datos muestran un aumento de temperatura, lo cual se alinea más con las estimaciones globales de calentamiento, donde el aumento en las temperaturas mínimas puede tener diversas implicaciones, como un aumento en la frecuencia e intensidad de las olas de frío, sequías, y otros eventos extremos. Además, este incremento es estadísticamente significativo, aunque presenta una considerable variabilidad interanual que se atribuye al fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), el cual puede causar fluctuaciones significativas en las temperaturas de un año a otro.

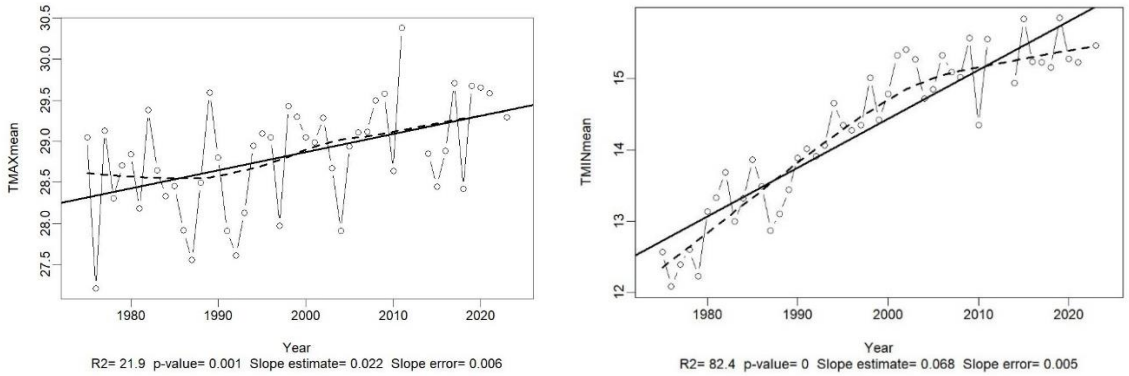


Figura 1. Comportamiento de la temperatura media máxima y la temperatura media mínima.

Se calculó el rango de temperatura diurna (DTR), que es una medida de la variabilidad de la temperatura de un solo día y refleja cómo cambian las temperaturas diurnas y nocturnas. El rango anual de DTR ha disminuido aproximadamente 0.047°C por año (Figura 2), lo que sugiere que las noches se están calentando más rápido que los días. Esto puede tener implicaciones para la agricultura, la salud humana y los ecosistemas. Según Brito-Castillo et al. (2009), el calentamiento global ha reducido el DTR en Zacatecas, México, debido a un aumento más rápido en las temperaturas mínimas, relacionado con las fluctuaciones en las circulaciones subtropicales y extratropicales. En el estudio de Montero-Martínez et al. (2018), se encontró que el rango de temperatura diurna ha aumentado en la cuenca del río Conchos, que abarca las regiones de Durango y Chihuahua.

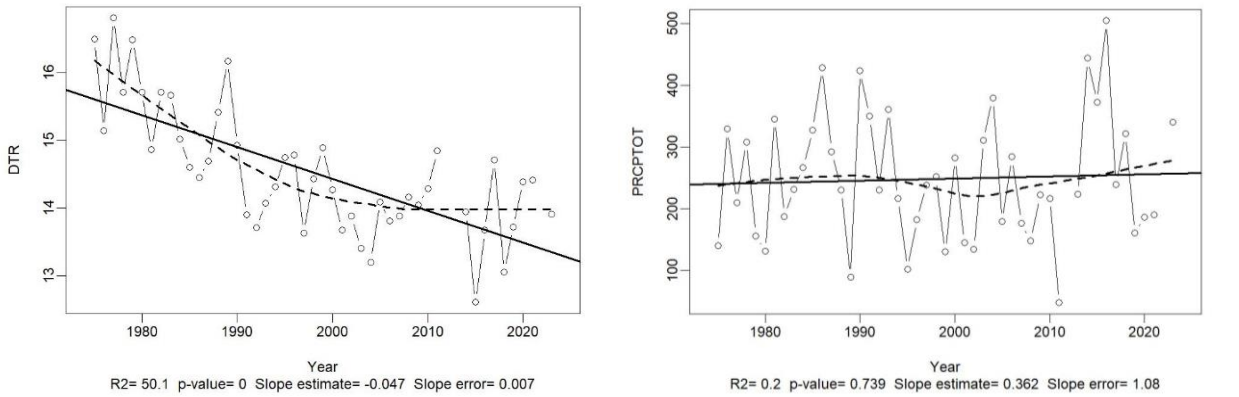


Figura 2. Comportamiento de la temperatura diurna (DTR) y de la precipitación total anual.

La precipitación total anual presenta una gran variabilidad, con años muy secos y otros húmedos (Figura 2). Esta es una característica típica de los patrones climáticos en regiones desérticas, con marcada estacionalidad. Aunque hay una ligera tendencia al aumento en la precipitación total anual, esta no es estadísticamente significativa. Las lluvias fluctúan entre un máximo de 504.5 mm en el año más lluvioso (2016) y un mínimo de 48.1 mm en el año más seco (2011), donde la presencia de sequias en la Región Lagunera es una situación constante. La tendencia de la precipitación total anual en la región muestra un aumento, aunque con una alta variabilidad influenciada por fenómenos climáticos extremos, los cuales varían de un año a otro debido a fenómenos de circulación atmosférica, especialmente cuando coinciden un alto flujo de humedad por efecto del monzón y el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (Pineda-Martínez et al., 2020). La precipitación máxima mensual de 1 día (Rx1day) se utiliza para evaluar eventos extremos de precipitación, como tormentas, y para analizar tendencias en la frecuencia y la intensidad de lluvias intensas. Nuestros resultados indican que las tormentas con precipitaciones superiores a 20 mm han disminuido desde 2010, las cuales generalmente causan daños (Figura 3). Históricamente, las inundaciones en la región, generalmente causadas por tormentas intensas y el aumento del caudal del río Nazas, han provocado daños significativos en las poblaciones. Un ejemplo notable es el año 1991, cuando una sola tormenta dejó más de 80 mm de lluvia en un día, coincidiendo con una de estas inundaciones importantes en la zona de Lerdo, Gómez Palacio y Torreón (Milenio, 2022).

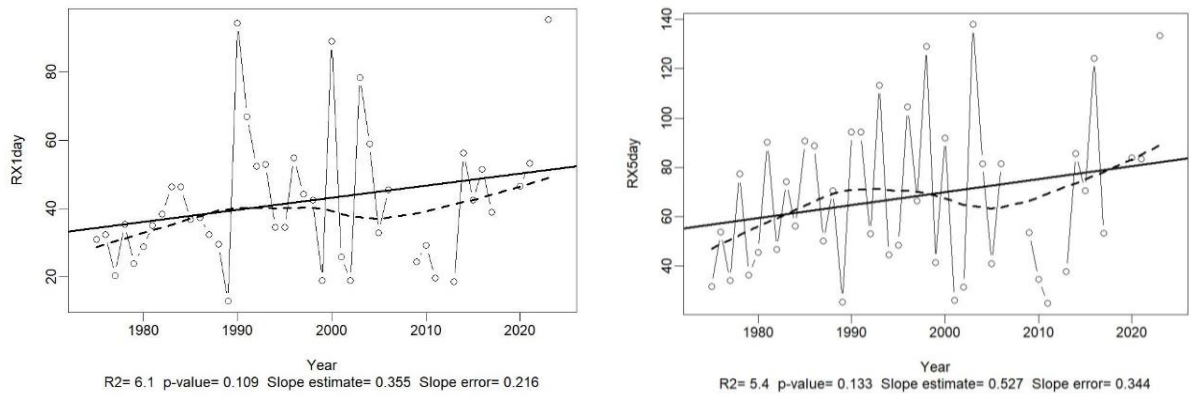


Figura 3. Comportamiento de Precipitación máxima mensual de 1 y 5 días.

En cuanto a la precipitación máxima mensual consecutiva de 5 días (Rx5day), se refiere a la intensidad de las lluvias y la acumulación de agua en un corto período de tiempo, utilizada para analizar el potencial de inundaciones y otros impactos relacionados con eventos de lluvias intensas. De acuerdo con la Figura 3, el riesgo de inundación ha aumentado debido a la mayor magnitud y frecuencia de la precipitación máxima diaria, combinada con la topografía plana, la presencia de suelos de rápida saturación, la disminución de la cobertura vegetal, y el crecimiento urbano, lo que incrementa el escurrimiento generalmente en fenómenos ciclónicos (IMPLAN, 2022).

En cuanto a la duración máxima de la racha seca, nos permite identificar la duración máxima de los períodos secos. De acuerdo con la Figura 4, se observa un aumento en el número de días secos; en 2009 se registraron 209 días sin lluvia, una cifra que aumentó a 285 días en 2011. Esta tendencia es preocupante debido al impacto negativo en la agricultura y la ganadería, las cuales dependen de los escurrimientos de la porción alta de la cuenca del Rio Nazas.

Según Esquivel-Arriaga et al. (2019), las sequías más severas en la Región Lagunera ocurrieron principalmente durante las décadas de 2000 y 2010, mientras que las moderadas se observaron en la década de 1980, un comportamiento similar al observado en nuestros resultados. De acuerdo con Bhattacharya y Chiang, (2014), la causa de la sequía reside en que las anomalías de descenso dominan otros términos del balance de humedad, mientras que, en otros años, se observa el secado de la capa límite en la meseta mexicana.

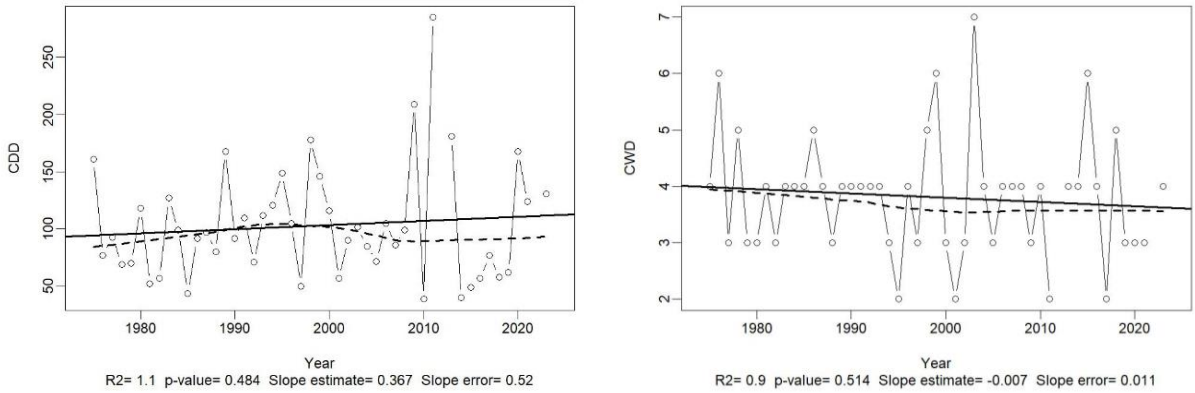


Figura 4. Duración máxima de la racha seca (CDD) y duración máxima de la racha húmeda (CWD).

La duración máxima de la racha húmeda (CWD), mide la duración máxima de un período continuo con precipitación significativa, y se utiliza para evaluar la duración de los períodos húmedos. El número de días con lluvia ha disminuido desde la década de los 90, mostrando una tendencia a la baja en la cantidad de días con precipitación, reduciéndose de 6 días a solo 4 días (Figura 4). La presencia de períodos prolongados de lluvias en años específicos, como ciclones o tormentas tropicales que introducen humedad, está principalmente asociada con la fase cálida del fenómeno de El Niño. Las lluvias intensas han sido estudiadas por Villanueva Díaz et al. (2010), quienes destacan el año 1991 como un período con precipitaciones abundantes, un hallazgo que coincide con nuestros resultados.

Conclusiones

El análisis de la estación Lerdo, Durango, muestra un calentamiento continuo, con aumentos significativos en las temperaturas medias máximas y mínimas de 0.022°C y 0.018°C por año, respectivamente. La disminución en el rango de temperatura diurna (DTR) sugiere que las noches se están calentando más rápido que los días, lo que podría impactar negativamente a las actividades agropecuarias y la salud humana. En cuanto a la precipitación, aunque la tendencia anual sugiere un leve aumento, la alta variabilidad interanual refleja la influencia de fenómenos climáticos como el ENSO. La disminución de las tormentas intensas desde 2010 y el incremento en la duración de los períodos secos, con un récord de 285 días sin lluvia en 2011, son indicativos de una creciente vulnerabilidad a la sequía en la región. Estos resultados destacan la urgencia de implementar un monitoreo climático continuo y desarrollar políticas de adaptación que aborden tanto el incremento de las temperaturas como la creciente variabilidad en los patrones de precipitación.

Referencias

Bhattacharya, T., & Chiang, J. C. (2014). Spatial variability and mechanisms underlying El Niño-induced droughts in Mexico. *Climate Dynamics*, *43*, 3309-3326.

Bojinski, S., Verstraete, M., Peterson, T. C., Richter, C., Simmons, A., & Zemp, M. (2014). The concept of essential climate variables in support of climate research, applications, and policy. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *95*(9), 1431-1443.

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, 211-221. https://doi.org/10.1002/joc.1733

Esquivel-Arriaga, G., Cerano-Paredes, J., Sánchez-Cohen, I., Velásquez-Valle, M. A., Flores-López, F., & Bueno-Hurtado, P. (2019). Temporal analysis of droughts (1922-2016) in the upper Nazas River Basin using SPI and its relationship with ENSO. *Tecnología y Ciencias del Agua*, *10*(5), 126-153.

Esquivel-Arriaga, G., Hurtado, P. B., Valle, M. Á. V., Cohen, I. S., & García, V. C. (2017). Análisis de sequías mediante el índice estandarizado de precipitación (SPI) en dos cuencas de la Sierra Madre Occidental. *Agrofaz: Publicación Semestral de Investigación Científica*, *17*(2), 97-110.

IMPLAN. (2022). Plan Director de Desarrollo Urbano de Torreón, Coahuila 2022. *Recuperado de* https://metropolilaguna.mx/wp-content/uploads/2022/10/plan-director-de-desarrollo-urbano-de-municipio-de-torreon_compressed-1.pdf

Kahn, M. E., Mohaddes, K., Ng, R. N., Pesaran, M. H., Raissi, M., & Yang, J. C. (2021). Long-term macroeconomic effects of climate change: A cross-country analysis. *Energy Economics*, *104*, 105624. https://www.nber.org/papers/w26167

Milenio. (2022). Inundaciones y evacuaciones; Así han sido las veces que el agua ha corrido por el Río Nazas. *Recuperado de* https://www.milenio.com/estados/la-laguna-asi-han-sido-las-veces-que-el-agua-ha-corrido-por-rio-nazas

Montero-Martínez, M. J., Santana-Sepúlveda, J. S., Pérez-Ortiz, N. I., Pita-Díaz, Ó., & Castillo-Liñan, S. (2018). Comparing climate change indices between a northern (arid) and a southern (humid) basin in Mexico during the last decades. *Advances in Science and Research*, *15*, 231-237.

Pineda-Martínez, L. F., León-Cruz, J. F., & Carbajal, N. (2020). Analysis of severe storms and tornado formation in the northern region of Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 7, e885.

Ríos-Aguilar, R. (2018). The provision to pay to remedy an environmental damage in the context of global climate change. Case study of the metropolitan area of La Comarca Lagunera, Mexico. In *Proceedings of International Academic Conferences* (No. 6709322). International Institute of Social and Economic Sciences.

Sosa-Rodríguez, F. S. (2015). Política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, *6*(2), 4-23.

Villanueva Díaz, J., Cerano Paredes, J., Estrada Ávalos, J., Morán Martínez, R., & Constante García, V. (2010). Precipitación y gasto reconstruido en la cuenca baja del río Nazas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *1*(1), 25-37.

TENDENCIAS DE LA EVAPORACIÓN EN LAS ZONAS CLIMATOLÓGICAS DE MÉXICO

Ramiro Chávez Mota[1*]

[1]Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Km. 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, México. * Autor de correspondencia: rchavezm@chapingo.mx.

Introducción

Chacón-Torres & Múzquiz-Iribe (1996) establecen que las tendencias de evaporación en México muestran tasas más altas que las precipitaciones. Aunque Breña-Naranjo et al. (2016) encontraron que las tendencias de evaporación en México muestran una disminución constante de 1961 a 2010, con tasas variables en diferentes periodos, influenciadas por factores como la velocidad del viento y la radiación neta. Tambien Magallanes-Quintanar et al. (2017) encontraron tendencias decrecientes en 21 de 35 estaciones, con disminuciones significativas en 18 de ellas. En diversos estudios hechos a nivel regional se han encontrado tanto tendencias positivas, como negativas. Sánchez-López et al. (2012) encontraron que la evaporación en el noreste de México disminuyó significativamente de 1964 a 2002. Esta disminución se observó en cuatro de cada cinco localidades analizadas. Sánchez-Santillán et al. (2012) tambien encontraron una disminución significativa en esta misma región después de 1964. Blanco-Macías et al. (2011) encontró que, en el centro del país, las tendencias de evaporación muestran tendencias predominantemente negativas, con disminuciones significativas en 18 de 40 estaciones. Debido al cambio de una region a otra es necesario un estudio de esta variable tanto a nivel nacional como a nivel de zonas climatológicas y mostrar la relación que existe con el tipo de clima. Lo cual es el objetivo de este trabajo.

Materiales y métodos

Todos los algoritmos se realizaron en el lenguaje de programación de alto nivel Visual Basic para Aplicaciones (VBA), el cual está integrado con Microsoft 365 Excel. La razón para elegir este lenguaje es porque las bases de datos se descargaron en formato Excel y este lenguaje facilitó su uso. Para la elaboración de mapas se usó el software ArcGIS®.

Las zonas climatológicas del país fueron obtenidas de la página web del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2024) en archivo con formato shapefile. Los datos climatológicos fueron obtenidos del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) a través del sistema ERIC III en su versión 3.2, que contiene un total de 5,272 estaciones climatológicas tradicionales (IMTA, 2013).

Para decidir si el conjunto de datos (anual o por estación del año) tenía la cantidad de datos suficiente. se usaron los siguientes criterios:

1. Si el número de observaciones del mes es mayor o igual a 28 es un mes válido.
2. Si en cada estación del año hay al menos dos meses válidos, es una estación del año válida y se obtiene la media de los datos de toda la estación. Esto se hace para todas las estaciones válidas del año.
3. Si el número de estaciones válidas en un año es tres o más, es un año válido. Y se obtiene la media de los datos de todo el año.

En resumen, para cada año válido se tienen cinco medias: una para los datos de todo el año y una para los datos de cada estación del año: inverno (enero, febrero y marzo), primavera (abril, mayo y junio), verano (julio, agosto y septiembre) y otoño (octubre, noviembre y diciembre).

La forma de categorizar una zona climatológica o todo el país fue la siguiente: si el número de estaciones climatológicas que sufrieron un cambio es mayor o igual al 50% se considera como una zona con tendencia, ya sea positiva o negativa. Caso contrario se etiqueta la zona como neutra (sin tendencia). Si existe una tendencia, la zona climatológica se califica como positiva si el porcentaje de las estaciones con tendencia positiva es mayor, y negativa si sucede lo contrario. Se eligieron solo aquellas zonas con 10 o más estaciones climatologicas (Figura 1).

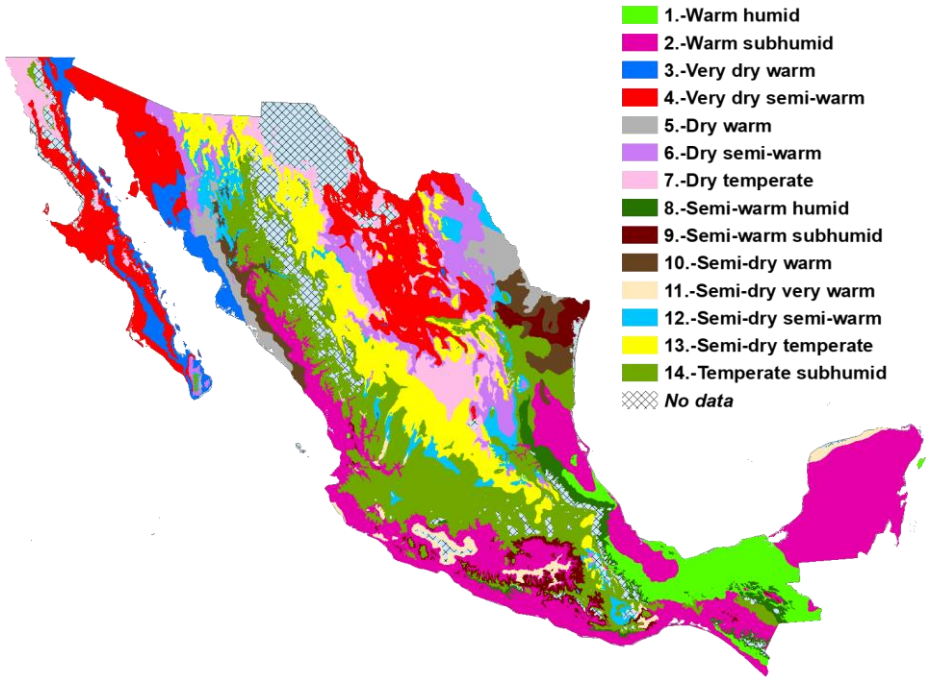


Figura 1. Zonas climatológicas de México usadas en este estudio.

Mann-Kendall test (MK). La autocorrelación presente en algunas series afecta los resultados de la prueba, causando problemas en la detección y evaluación del nivel de significancia de las tendencias (Haan, 2002). Para corregir el efecto que causa la autocorrelación en las series temporales, varios autores han propuesto una metodología llamada pre-blanqueo (Yue et al., 2002 y López et al., 2007), la cual fue aplicada a las series antes de analizar la tendencia. Para el análisis de tendencias, la prueba no paramétrica de Mann-Kendall es la más utilizada para el análisis de variables climáticas (Mann, 1945; Kendall, 1975; Río et al., 2005). Esta prueba es robusta y no se ve afectada cuando existen valores perdidos en la serie temporal. Además, no requiere que las observaciones sigan una función de distribución (Gilbert, 1987). La prueba MK calcula la pendiente de la línea formada al graficar la variable de interés a lo largo del tiempo, considerando solo el signo y no la magnitud de la pendiente. Las estadísticas de la prueba MK se calculan con la suma de los signos de las pendientes. Cada valor en la serie temporal X para t' = t+1, t+2, ..., N, donde N es el número de observaciones, se compara con X(t) y se le asigna una puntuación Z(k) dada por:

Z(k) = 1 if x(t) > x
Z(k) = 0 if x(t) = x
Z(k) = -1 if x(t) < x

La suma de las pendientes está dada por:

$$S = \sum_{k=1}^{N(N-1)/2} Z(k)$$

La estadística de prueba MK, Uc para N > 10 se calcula como:

$$Uc = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, & if\ S > 0 \\ 0, & if\ S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, & if\ S < 0 \end{cases}$$

Y la varianza S está dada por:

Var(S) = [N(N-1) (2N+5)]/18

La hipótesis de no tendencia se rechaza si:
$|Uc| > Z_{1-\alpha/2}$

Donde Z tiene una distribución normal estándar y α es el nivel de significancia.

Si la prueba MK concluye que existe una tendencia, se aplica el método Thail-Sen para estimar su valor. La cual consiste en obtener la mediana de todas las pendientes entre todos los pares posibles de puntos.

Resultados y discusión

El cuadro 1 presenta un resumen de los resultados obtenidos que se mencionan en los párrafos siguientes, con excepción de las pendientes. Usando conjuntos de datos anuales en el análisis, se encontraron los siguientes resultados entre las 14 zonas climatológicas analizadas: 12 zonas (1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14) presentaron tendencia negativa, con un porcentaje promedio de 46.39% y una pendiente promedio de -0.0234. Dos zonas (3 y 4) presentaron tendencia positiva, con un porcentaje promedio de 37.10% y una pendiente promedio de 0.0170.

Estos resultados son consistentes con los obtenidos a nivel nacional. En el cuadro 1 se observa tambien que las estaciones climatológicas predominantes en todo el país son aquellas con una tendencia negativa, presentes en 379 de las 842 estaciones analizadas (45%). Además, estas tienen una pendiente promedio de -0.0225.

Usando conjuntos de datos únicamente de la estación de invierno en el análisis, se encontró que, de las 14 zonas climatológicas analizadas, 9 zonas presentaron tendencia negativa (1, 2, 6, 8, 9, 11, 12, 13 y 14), con un porcentaje promedio de 45.83% y una pendiente promedio de -0.0266. Cuatro zonas (3, 5, 7 y 10) no presentaron tendencia, con un porcentaje promedio de 60.65% y una pendiente promedio de -0.0016. Una zona (4) presentó tendencia positiva, con un porcentaje promedio de 35.00% y una pendiente promedio de 0.0182. Estos resultados son consistentes con los obtenidos a nivel nacional ya que las estaciones climatológicas predominantes en todo el país son aquellas con una tendencia negativa, presentes en 364 de las 842 estaciones analizadas (43.2%) y una pendiente promedio de -0.0267.

Usando conjuntos de datos únicamente de la estación de primavera en el análisis, se encontraron los siguientes resultados entre las 14 zonas climatológicas analizadas: 11 zonas (1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13 y 14) presentaron tendencia negativa, con un porcentaje promedio de 43.94% y una pendiente promedio de -0.0328. Dos zonas (9 y 10) no presentaron tendencia, con un porcentaje promedio de 56.55% y una pendiente promedio de -0.0024. Una zona (4) presentó tendencia positiva, con un porcentaje promedio de 45.00% y una pendiente promedio de 0.0282. Estos resultados son consistentes con los obtenidos a nivel nacional debido a que las estaciones climatológicas predominantes en todo el país son aquellas con una tendencia negativa, presentes en 358 de las 842 estaciones analizadas (42.5%) y una pendiente promedio de -0.0319.

Usando conjuntos de datos únicamente de la estación de verano en el análisis, se encontraron los siguientes resultados entre las 14 zonas climatológicas analizadas: 9 zonas (1, 2, 6, 7, 8, 9, 12, 13 y 14) presentaron tendencia negativa, con un porcentaje promedio de 40.80% y una pendiente promedio de -0.0272. Tres zonas (3, 4 y 10) presentaron tendencia positiva, con un porcentaje promedio de 39.00% y una pendiente promedio de 0.0262. Dos zonas (5 y 11) no presentaron tendencia, con un porcentaje promedio de 57.95% y una pendiente promedio de -.0006. Estos resultados son consistentes con los obtenidos a nivel nacional porque las estaciones climatológicas predominantes en todo el país son aquellas con una tendencia negativa, presentes en 300 de las 842 estaciones analizadas (35.6%) y una pendiente promedio de -0.0245.

Usando conjuntos de datos únicamente de la estación de otoño en el análisis, se encontraron los siguientes resultados entre las 14 zonas climatológicas analizadas: 12 zonas (1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 y 14) presentaron tendencia negativa, con un porcentaje promedio de 40.73% y una pendiente promedio de -0.0228. Una zona (8) presentó tendencia positiva, con un porcentaje promedio de 29.20% y una pendiente promedio de 0.0110. Una zona (4) no presentó tendencia, con un porcentaje promedio de 60.00% y una pendiente promedio de 0.0030. Estos resultados son consistentes con los obtenidos a nivel nacional debido a que las estaciones climatológicas predominantes en todo el país son aquellas con una tendencia negativa, presentes en 322 de las 842 estaciones analizadas (38.2%) y una pendiente promedio de -0.0223.

Cuadro 1. Medias predominantes de cada zona climatológica y a nivel nacional, de cada estación del año y a nivel anual. Rojo=Tendencia positiva. Azul=Tendencia negativa. Verde=No tendencia.

	Medias de la evaporación				
Zona climatológica	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Anual
1.-Cálido húmedo	15/39 = 38.5%	18/39 = 46.2%	19/39 = 48.7%	15/39 = 38.5%	**18/39 = 46.2%**
2.-Cálido subhúmedo	84/210 = 40.0%	87/210 = 41.4%	65/210 = 31.0%	84/210 = 40.0%	**92/210 = 43.8%**
3.-Muy seco cálido	15/24 = 62.5%	8/24 = 33.3%	9/24 = 37.5%	7/24 = 29.2%	**7/24 = 29.2%**
4.-Muy seco semi cálido	7/20 = 35.0%	9/20 = 45.0%	9/20 = 45.0%	12/20 = 60.0%	**9/20 = 45.0%**
5.-Seco cálido	11/17 = 64.7%	7/17 = 41.2%	10/17 = 58.8%	7/17 = 41.2%	**7/17 = 41.2%**
6.-Seco semicálido	10/19 = 52.6%	12/19 = 63.2%	8/19 = 42.1%	10/19 = 52.6%	**12/19 = 63.2%**
7.-Seco templado	8/15 = 53.3%	6/15 = 40.0%	7/15 = 46.7%	8/15 = 53.3%	**7/15 = 46.7%**
8.-Semicálido húmedo	9/24 = 37.5%	10/24 = 41.7%	11/24 = 45.8%	7/24 = 29.2%	**9/24 = 37.5%**
9.-Semicálido subhúmedo	10/19 = 52.6%	11/19 = 57.9%	8/19 = 42.1%	8/19 = 42.1%	**10/19 = 52.6%**
10.-Semiseco cálido	18/29 = 62.1%	16/29 = 55.2%	10/29 = 34.5%	13/29 = 44.8%	**12/29 = 41.4%**
11.-Semiseco muy cálido	10/21 = 47.6%	9/21 = 42.9%	12/21 = 57.1%	7/21 = 33.3%	**9/21 = 42.9%**
12.-Semiseco semicálido	23/48 = 47.9%	22/48 = 45.8%	18/48 = 37.5%	21/48 = 43.8%	**24/48 = 50.0%**
13.-Semiseco templado	44/93 = 47.3%	43/93 = 46.2%	32/93 = 34.4%	30/93 = 32.3%	**42/93 = 45.2%**
14.-Templado subhúmedo	116/239 = 48.5%	99/239 = 41.4%	93/239 = 38.9%	90/239 = 37.7%	**110/239 = 46.0%**
País entero	**364/842 = 43.2%**	**358/842 = 42.5%**	**300/842 = 35.6%**	**322/842 = 38.2%**	**379/842 = 45.0%**

Conclusiones

Los datos de evaporación media anual muestran una tendencia negativa en la mayoría de las zonas climatológicas (zonas 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14), con solo las zonas 3 y 4 teniendo una predominancia de estaciones climatológicas con una tendencia positiva. En todas las estaciones del año, predominan las zonas climatológicas con tendencia negativa. A nivel nacional, tanto los datos anuales como los datos estacionales muestran una tendencia negativa de la evaporación.

Referencias

Breña-Naranjo, J. A., Laverde-Barajas, M., & Pedrozo-Acuña, A. (2016). Changes in pan evaporation in Mexico from 1961 to 2010. *International Journal of Climatology, 37*(1), 163-174. https://doi.org/10.1002/joc.4698

Blanco-Macías, F., Valdez-Cepeda, R., & Magallanes-Quintana, R. (2011). Pan evaporation analysis in central Mexico: Trends, self-affinity and important frequencies. *International Journal of Physical Sciences, 6*, 540–549. https://doi.org/10.5897/IJPS10.586

Chacón-Torres, A., & Múzquiz-Iribe, E. (1996). Climatic trends, water balance and lake Patzcuaro, a tropical high-altitude lake. *Quaternary International, 43-44*, 25-32. https://doi.org/10.1016/S1040-6182(97)00019-0

Gilbert, R. O. (1987). *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. John Wiley & Sons.

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

López, P. M., Seoane, R. S., Fornero, L. A., Rodríguez, J. L., & Núñez, M. S. (2007). Análisis de tendencia en series auto correlacionadas. En *XXI Congreso Nacional del Agua*. Tucumán, Argentina. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=L%C3%B3pez%2C+P.+M.%2C+Seoane%2C+R.+S.%2C+Fornero%2C+L.+A.%2C+Rodr%C3%ADguez%2C+J.+L.%2C+%26+Nu%C3%B1ez%2C+M.+S.+%282007%29.+An%C3%A1lisis+de+tendencia+en+series+autocorrelacionadas.+In+XXI+Congreso+Nacional+del+Agua.+Tucum%C3%A1n%2C+Argentina.+&btnG=#d=gs_cit&t=1717811174142&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3AmkWCXK1YyiIJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D0%26hl%3Des

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), 102-121. https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.750

Mann, H. B. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica, 13*, 245-259.

Río, S., Penas, A., & Fraile, R. (2005). Analysis of recent climatic variations in Castile and Leon (Spain). *Atmospheric Research, 73*(1–2), 69–85. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2004.06.005

Sánchez-López, N., Garduño-López, R., Vidal-Zepeda, R., & Sánchez-Trejo, R. (2012). Cambio climático en el NE de México: Influencia en la Oscilación del Atlántico Norte. *Investigaciones Geográficas, 79*, 5-21.

Sánchez-Santillán, N., Garduño-López, R., Vidal-Zepeda, R., & Sánchez-Trejo, R. (2012). Climate change in NE Mexico: Influence of the North Atlantic Oscillation. *Investigaciones Geográficas, 79*, 25-38. https://doi.org/10.14350/RIG.32465

Yue, S., & Wang, C. Y. (2002). Regional streamflow trend detection with consideration of both temporal and spatial correlation. *International Journal of Climatology, 22*, 933–946. https://doi.org/10.1002/joc.781

GEOGRAFICIDAD DEL TERRITORIO. LA IMPORTANCIA DE LA COMPRENSIÓN DE LAS ZONAS ÁRIDAS DESDE LOS SABERES LOCALES PARA LA IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES Y ESTRATEGIAS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO: EL CASO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA MAPIMÍ.

Leslie Steffany Sánchez Escobar*

Doctorante en Estudios del Desarrollo Problemas y Perspectivas Latinoamericanas. Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora. Plaza Gómez Farías, Gómez Farías, San Juan, Benito Juárez, 03730 Ciudad de México, CDMX. *Autora de correspondencia: lsanchez@institutomora.edu.mx

Introducción

La Reserva de la Biosfera Mapimí enfrenta problemáticas ambientales diversas, entre ellas se encuentran la degradación de los suelos, como resultado de otros periodos en la historia - como la colonización - que acarreó un desgaste derivado del pastoreo intensivo y no regulado, o las exploraciones de metales preciosos en otras regiones del Bolsón de Mapimí. Uno de los riesgos actuales es el cambio climático, cuestión que ha permitido la diversificación productiva del lugar, orientando una parte de las actividades a las acciones orientadas a la conservación, ligadas con la recuperación de suelo y protección de animales, como la tortuga de bolsón (*Gopheros flavomarginatus*).

Esta reserva que forma parte del Desierto Chihuahuense, le hace uno de los lugares más importantes en el país por su riqueza biótica y sus paisajes. Lo anterior está estrechamente relacionado con el pasado geológico del lugar, que le brindaron particularidades al suelo, por lo que cuenta con una gran variedad de matorrales y pastizales endémicos. De acuerdo con el Plan de Manejo y Conservación de la reserva, se tiene el conocimiento de al menos 403 tipos de plantas de las cuales 31 son endémicas. En cuanto a Fauna, la CONANP (2006), mantiene un programa constante de monitoreo de fauna, debido a que muchas de ellas se encuentran bajo protección y en la lista de protección ambiental en especies nativas de México de acuerdo a la NOM – 059 – SEMARNAT.

La configuración de la Reserva de la Biosfera Mapimí es un entramado complejo de relaciones entre territorios, es decir, sus características espaciales le permiten configurar relaciones en diferentes escalas (Hasbaert, 2013) debido a su interacción con diferentes tipos de territorio (Mançano Fernandes, 2008) lo que vuelve compleja la administración del territorio y a su vez, la aplicación de políticas ambientales donde los saberes locales sean tomados en cuenta como un eje trasversal. El cambio climático, obliga a los organismos públicos y privados a dar soluciones frente a un problema que no parece retroceder. Entonces si pensamos en problemas globales, la comprensión de las problemáticas locales permiten tener otras interpretaciones sobre el territorio - desde quienes habitan en él - pueda ser un espacio en donde otro tipo de relaciones sean posibles y no supeditadas a relaciones de verticalidad desde las instituciones, donde las estrategias de desarrollo de las zonas áridas sean pensadas a su vez, en función del conocimiento socioecológico, integrando el conocimiento local (Abric, 2001) en la detección de frentes climáticos y en la generación de propuestas.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en un periodo de dos años, en el marco de la Maestría en Estudios Regionales con el título “Representaciones sociales de la naturaleza y el desierto, una aproximación a la Reserva de la Biosfera Mapimí. El caso de los ejidos La Flor y Laguna de Palomas (Estación Carrillo), 1979 – 2023”. El enfoque metodológico de la investigación es de corte cualitativo, incluye 6 unidades de análisis: fuentes hemerográficas, bibliográficas, datos oficiales como IPICYT, CONANP, CONAZA, RISZA e INECOL, entrevistas mediante la metodología de historia oral, análisis del espacio mediante paisajes sonoros para la comprensión del territorio, grupos focales a habitantes de Laguna de Palomas, Chihuahua y Ejido La Flor, Durango y con funcionarios de instituciones de conservación ambiental, cartografía participativa y su procesamiento en software de análisis cartográfico mediante QGIS (versión 3.16).

El trabajo de campo se realizó en cuatro etapas que comprenden los meses de abril, julio, octubre y diciembre del 2023, una parte fundamental fue el acercamiento con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y con autoridades ejidales, cada una en lo particular brindó una perspectiva y forma de ver el problema. Se realizó acompañamiento en 4 talleres dirigidos a las comunidades, promovidos por las instituciones: En el mes de abril del 2023, se llevó a cabo “Taller de educación ambiental en acciones de conservación “MAB – UNESCO” (CONANP), en el mes de julio la “Capacitación de Legislación en Materia de Vida Silvestre y Áreas Naturales Protegidas” impartido por PROFEPA a los habitantes de Granja Morelos (Zona de influencia) y el “Taller de Identificación de Aves Migratorias” (CONANP) por otra parte, en el mes de octubre se realizó el “Taller de educación ambiental y separación de residuos” en el marco de la “Feria del Desierto Chihuahuense” en Gómez Palacio, Durango.

También se realizaron 3 cartografías participativas: El 26 de octubre del 2023 Cartografía Participativa en La Flor, donde colaboraron 6 ejidatarios. Las cartografías restantes se realizaron los días 18 y 19 de diciembre: Cartografía participativa a Servidores Públicos, con la contribución de 8 servidores públicos de la las instituciones ambientales, y Cartografía Participativa en Laguna de Palomas, con la contribución de 12 miembros del ejido. Por último, se realizaron 3 recorridos sonoros con enfoque en ecología acústica, durante las fechas correspondientes a las cartografías participativas en ambos ejidos, que permitieron abonar a la construcción de los mapas colectivos. En el tratamiento de la información recopilada, se prestó especial atención a la interacción entre los saberes locales y las políticas de conservación promovidas por las instituciones.

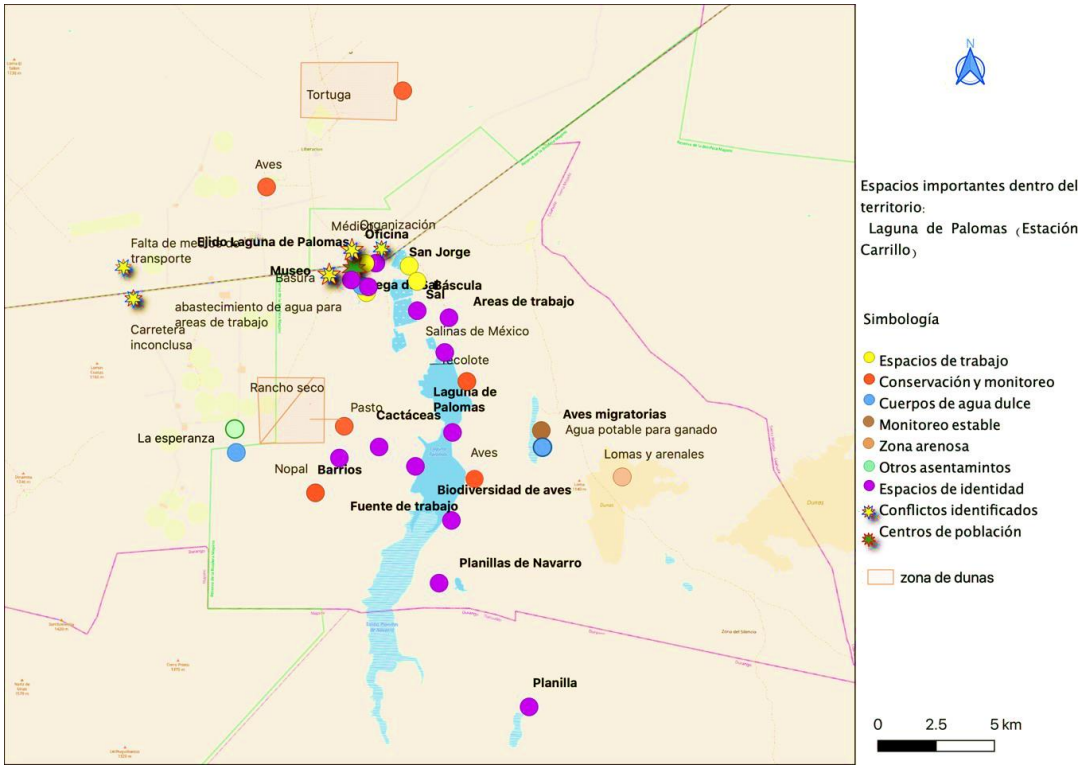
Actualmente, la realidad social del espacio ha permitido moldear una cultura ejidal que se entreteje en acontecimientos históricos y políticos que han perdurado en la memoria de la población rural. El territorio como categoría de análisis, tiene memoria y es en ese pasado histórico y ambiental en donde las representaciones sociales se hacen presentes entre quienes habitan el desierto. De manera consciente o no, forma parte de una cultura norteña, expresada a través de saberes, tradiciones, festividades, costumbres y usos de la naturaleza. Se usó el modelo de las representaciones sociales de Claude Abric (2001) para la comprensión de la realidad objetiva, en la medida en que se representa a si misma a través de la colectividad y de sus integrantes. Mediante roles, normas de comportamiento y formas organizativas orientadas desde las instituciones dentro del territorio y que se encuentran en constante retroalimentación entre sus integrantes. Lo anterior permite el planteamiento de que la conservación del patrimonio natural en este caso la Reserva de la Biosfera Mapimí, tiene que ser un proceso de socialización, tomando como base las herramientas comunitarias ya existentes como un mecanismo que subsane, abone a la aplicación de políticas ambientales transversales y tome en cuenta las visiones comunitarias para el cuidado del territorio y el ecosistema.

Resultados y discusión

Las representaciones sociales juegan un papel importante en la formación de las identidades de quienes habitan la RBM, pues en ellas se manifiestan diferentes percepciones acerca del entorno, su cultura, la naturaleza que les rodea, los usos y costumbres y que de alguna manera continúan socializándose como un proceso guiado por la identidad y la memoria (Halbwachs, 2004). La presencia de las instituciones ambientales como catalizadoras de nuevas identidades permiten nuevas prácticas sociales, ambientales y su manifestación cultural dentro del territorio. En los resultados de las entrevistas y en la cartografía participativa fue posible identificar una identidad institucional y el discurso de la conservación del entorno, que ha sido socializado a las comunidades a través de la educación ambiental.

De acuerdo con la cartografía que se realizó con los participantes de los programas de conservación en el ejido, se pudieron determinar sitios de múltiple interés, por ejemplo, en el ejido Laguna de Palomas (Estación Carrillo) destacan 13 lugares ligados a la identidad del ejido siendo las “Planillas de Navarro”, un espacio importante, relacionado con los recursos naturales locales, lo cual nos habla que su identidad está muy ligada a las actividades productivas relacionadas con la cosecha de salmuera, también se identificaron 7 lugares de monitoreo o espacios donde se realizan labores de conservación de flora y fauna y espacios en conflicto dada su naturaleza social como ambiental.

Figura1. Espacios importantes dentro del territorio. Laguna de Palomas (Estación Carrillo).



Fuente: Elaboración propia con información recopilada en la base de datos de INEGI y Open Street Map 2023. Reforzada con los resultados de las cartografías participativas, entrevistas a profundidad y recorridos con enfoque etnográfico con la participación de los ejidatarios de Laguna de Palomas (Estación Carrillo).Procesados mediante QGIS versión 3.16, 7 de abril, 2024.

La cartografía social participativa, como elemento didáctico brinda una oportunidad para crear nuevos relatos a partir de la memoria y de la creatividad de sus participantes, vislumbrando a un mapa fuera de cualquier representación ideológica y territorial que tenga la función de cuantificar al territorio (Iconoclasistas, 2013). Por el contrario, el ejercicio cartográfico a partir de la intervención de mapas oficiales, permite romper con la idea de territorio estático, delimitado geográficamente, y permite vislumbrar otros planos intangibles que son significativos para los habitantes de la Reserva de la Biosfera Mapimí.

Las prácticas de gestión de la naturaleza tanto de instituciones como de sus habitantes muestran la creación de nuevas formas de conocimiento sobre la naturaleza conocimientos donde las instituciones dedicadas a la investigación han jugado un papel importante en la construcción del mismo, pues ha contribuido a conformar estructuras organizativas que han reforzado a las existentes y a su vez, creando un tipo de conocimiento hibrido, resultado del diálogo del conocimiento local, con el conocimiento experto (científico) brindado por los investigadores que realizan estudios en la reserva o por los aplicadores de políticas ambientales que se apoyan en las comunidades al momento de realizar las labores de conservación o monitoreo. Esto permite comprender la forma en cómo se crearon una serie de conocimientos nuevos que han permitido crear un imaginario sobre el lugar desde las ciencias exactas y a su vez, cambiar el paradigma de las comunidades a una cultura de conservación de la naturaleza.

Conclusiones

La investigación subraya la compleja interrelación entre factores históricos, sociales y ambientales que han moldeado este significativo espacio natural del Desierto Chihuahuense. Desde la colonización española hasta las políticas neoliberales contemporáneas, la reserva ha experimentado cambios profundos en la organización comunitaria, el uso del suelo y la conservación de su biodiversidad. Estos procesos de apropiación del espacio y la valoración de los recursos naturales han sido influenciados tanto por dinámicas locales como por directrices institucionales y globales. La integración de conocimientos locales y científicos se destaca como un elemento crucial para desarrollar prácticas de gestión sostenible en las comunidades, que, derivado del conocimiento con el que cuentan actualmente, son capaces de enfrentar retos ante el cambio climático y la crisis ambiental.

Se propone el concepto de conocimiento bioetnolocal como una consideración final y aporte en esta investigación. Con ello me refiero a un tipo de conocimiento que está arraigado en un lugar específico y que se relaciona estrechamente con la biología, historia, la oralidad, la memoria geográfica de un territorio y sus manifestaciones culturales alrededor de la naturaleza. Es un tipo de conocimiento que ha sido transmitido a partir de la endoculturación de los miembros de la comunidad y que a su vez, el conocimiento científico se suma y potencia esa forma de saber local, mediante un proceso alterno de aculturación

Referencias

Abric, J. C. (2001). Prácticas sociales y representaciones. En las representaciones sociales: Aspectos teóricos. (Ed.) Ediciones Coyoacán.(pp. 18 - 213).

Aceves, J. (2013). La Historia Oral, plataforma para una práctica interdisciplinar: Una conversación frente al espejo. En K. Covarrubias, & M. Camarena, La Historia Oral y la Interdisciplinariedad. Retos y Perspectivas. (Ed.), Universidad de Colima (pp. 109).

Ahmed Zaough, M. E. (2016). El espacio desde el paisaje sonoro: Caso de la Plaza Grande de Quito [Tesis de Maestría, FLACSO Ecuador] https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/10212

Barral, H. L. (1992). Reseña del poblamiento y ganadería. En J. M. Delhoume, Actas del Seminario de Mapimí. (Ed.), Institut Francais de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopéraion (pp. 257 – 269) INECOL.

Batista da Costa, E., & Sodré Maluly, V. (2021). Geografía histórica y tiempo geográfico, concepto y superación de dicotomías. Revista de Geografía Norte Grande, No. 79, (pp. 253-277) https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8227287

Berkes, F. (1999). Traditional Ecological Knowledge and Resource Management. Organization & Environment 14, (pp. 377-380). https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/37990/

Berkes, F., & Turner, N. (2005). Conocimiento, aprendizaje y la flexibilidad de los sistemas socio ecológicos. Gaceta ecológica, No. 77, (pp. 5 -17) https://www.redalyc.org/pdf/539/53907701.pdf

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la biodiversidad (CONABIO) (28 de noviembre de 2023).¿Qué es una ecorregión? Obtenido de https://www.biodiversidad.gob.mx/region/quees

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED). (2013). Informe Técnico Final: Monitoreo de la tortuga de bolsón en la reserva de la biósfera de Mapimí. [Archivo PDF] https://www.conanp.gob.mx/programas/pdf/mon_14.pdf

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), (2006). Programa de Conservación y Manejo de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Editorial SEMARNAT - CONANP, https://www.conanp.gob.mx/datos_abiertos/DGCD/76.pdf.

Grünberger, O., & Liot, C. (2004). Las salinas de Carrillo: un ejido de producción de sal continental en el desierto chihuahuense. En O. Grünberger, V. Reyes - Gómez, & J. -L. Janeau, Las playas del desierto chihuahuense (parte mexicana) (Ed.), INECOL (pp. 362).

Halbwachs, M. (2004). La memoria colectiva. Memoria colectiva y memoria histórica,), (Ed.), Prensas Universitarias de Zaragoza, (pp. 53 – 84)

Iconoclasistas. (2013). Manual de mapeo colectivo. Recursos cartográficos críticos para procesos territoriales de creación colaborativa. (Ed.) Tinta y limón. https://iconoclasistas.net/4322-2/

Leff, E. (2014). La apuesta por la vida. Imaginación sociológica e imaginarios sociales en los territorios ambientales del sur (Ed.), Vozes editora. http://dx.doi.org/10.18601/16578651.n19.11

Mançano Fernández, B. (2008). Sobre la tipología de los territorios. Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq),(pp. 1 - 20) https://web.ua.es/es/giecryal/documentos/documentos839/docs/bernardo-tipologia-de-territorios-espanol.pdf

Quantum GIS (7 de abril de 2024). Open street map. https://download.qgis.org/qgisdata/QGIS-Documentation2.0/live/html/en/docs/user_manual/osm/openstreetmap.html

SOFTWARE PARA LA VISUALIZACIÓN DE LAS TENDENCIAS DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS ANUALES DE MÉXICO

Ramiro Chávez Mota[1*]

[1]Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Km. 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, México. * Autor de correspondencia: rchavezm@chapingo.mx.

Introducción

El software para la modelación del clima juega un papel muy importante en el cambio del clima en diferentes regiones. Dicho software usa ecuaciones matemáticas que representa la física conocida del sistema climático. Permitiendo a los investigadores el estudio de la dinámica, las interacciones, y las variaciones que ha sufrido este sistema en el presente y pasado. Además, se han usado métodos basados en el llamado “aprendizaje de computadoras”. Las cuales han proporcionado invaluable información que complementa a las herramientas estadísticas tradicionales en la comprensión del clima. Existen diferentes paquetes auxiliares en la comprensión del clima tales como ARCPATH, que según Shuting.et al (2020), ayuda en el entendimiento y predicción del cambio climático. También se tiene el software Clic-MD que permite el análisis de datos climáticos e identificación de tendencias del cambio climatico (Bautista et al, 2021). Además, el paquete ICC es una herramienta para el procesamiento y análisis de grandes conjuntos de datos climatológicos. Permite el cálculo de indices de cambio climático y proporciona funcionalidad para el proceso y visualización de dichos indices (Bautista et al, 2019). Se tiene, además, el software icclim es un paquete programado en lenguaje Python usado para calcular índices e indicadores del clima. Es una herramienta para investigadores del clima y demás usuarios que desean analizar datos de clima (Pagé et al, 2022). Carmona et al (2017) presenta un software llamado Pipistrello y Tina que permite el análisis de grandes cantidades de datos relacionados con el cambio climático. También Kalita et al (2016) describe el software MOVES, GREET para estudiar la reducción del impacto de los gases efecto invernadero en el cambio climático. Hablando de software más específico, Bandyopadhyay et al. (2011) menciona al Arc Trends, como una barra de herramientas de ArcGIS, que utiliza la prueba Mann-Kendall y la pendiente Sen para el análisis de tendencias de los datos climáticos, incluido el aumento de la temperatura, el aumento de la humedad, la disminución de la velocidad del viento y los patrones de lluvia variados. Como se puede apreciar, existen diversos paquetes computacionales para el estudio del de las variables climatológicas. El problema es la accesibilidad que tienen que van desde el precio, la amigabilidad con el usuario hasta el idioma en el que interactúan con el usuario. Por lo cual, se realizó este software que es amigable con el usuario, que esté disponible para consulta de cualquier persona interesada en este tema en forma gratuita y en idioma español.

Materiales y métodos

La detección de las tendencias en temperaturas máximas se hizo anteriormente y los resultados se presentaron en un congreso internacional. Se clasifican cada una de las estaciones climatológicas con tendencia positiva (incremento), negativa (decremento) o neutra (sin cambio) Todas las estaciones clasificadas se organizaron de forma adecuada en una base de datos relacional que incluye la diferente información con la que trabaja el software. Las diferentes relaciones se pusieron en diferentes tablas con formato de Excel y todas las rutinas de manejo de esta base de datos se hicieron en el lenguaje de programación de alto nivel Visual Basic para Aplicaciones (VBA). La razón es debido a que es de muy fácil manejo esta información en dicho formato.

Resultados y discusión

El resultado fue un sistema de cómputo para detectar las tendencias en de las temperaturas máximas en México. En la Figura 1 se observa que la primera pantalla del sistema de cómputo que se elaboró para la realización del presente estudio hay tres opciones en el cual en su primera opción <Todas> se puede apreciar un listado de las 3826 estaciones climatológicas.

En la parte derecha se pueden apreciar cuatro columnas. Las primeras dos columnas son año y temperatura promedio anual (del año que corresponda) del primer período comparado. La misma información se tiene en la tercera (año) y cuarta (temperatura promedio anuales) columna, pero para el segundo periodo comparado. Esta misma información se presenta en forma gráfica.

En la esquina inferior izquierda se presenta un cuadro en el cual se presentan algunas estadísticas por cada uno de los periodos y otro cuadro donde se presentan las estadísticas para hacer la comparación.



Figura 1. Primera pantalla del programa de cómputo elaborado para el presente estudio.

El programa también presenta la opción de analizar las temperaturas de las estaciones agrupadas por estado (Figura 2). En la opción <Por estado> se presenta un menú de la lista de estados que componen el país México del cual se puede seleccionar cualquiera de ellos. En el cuadro superior central, encontramos el número y porcentaje de estaciones que se calentaron, enfriaron y permanecieron igual, además de los totales. En la parte del centro de la pantalla, se encuentra la lista de las estaciones del estado seleccionado, de la cual se puede elegir una de ellas. Al elegir una estación se presenta la información descrita en la primera pantalla, para la estación seleccionada.

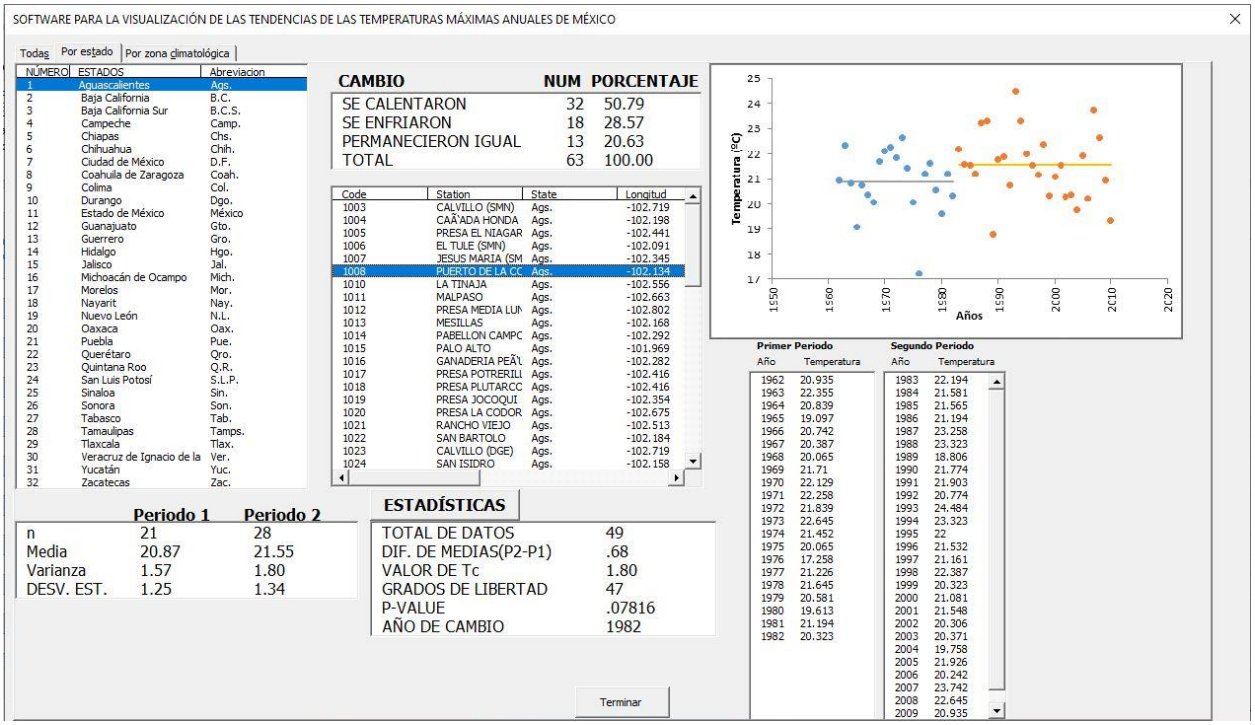


Figura 2. Segunda pantalla del programa de cómputo elaborado en el presente estudio.

Además, con la opción <Por zona climatológica> (Figura 3) se pueden analizar las temperaturas por cada una de una de las zonas climatológicas existentes en México. Al elegir una de las zonas se despliega la lista de estaciones climatológicas que pertenecen a la zona seleccionada. De la cual se puede seleccionar una de ellas para conocer la información que fue descrita al seleccionar una estación en la opción <Por estado> en los demás cuadros.

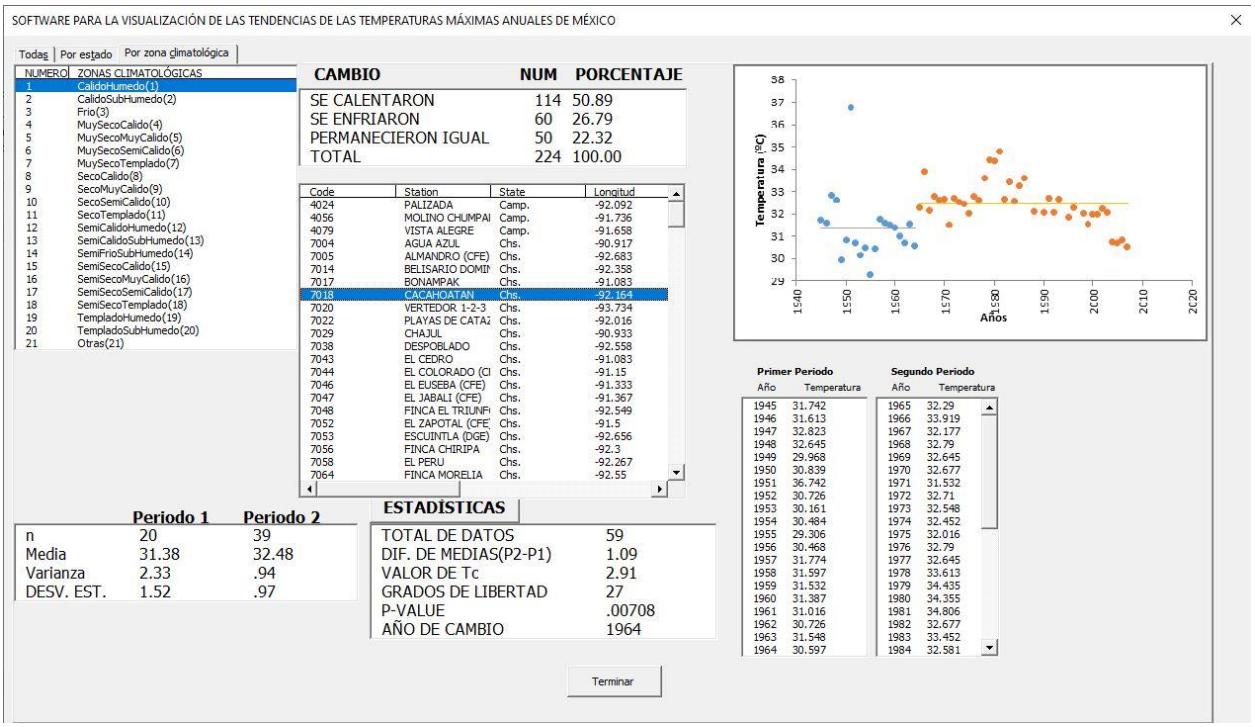


Figura 3. Tercera pantalla del programa de cómputo elaborado para el presente estudio.

Conclusiones

Se elaboró un sistema de cómputo usando el lenguaje de alto nivel Visual Basic para Aplicaciones (VBA) para la visualización de las tendencias de las temperaturas máximas anuales de México. Es un sistema amigable (de fácil uso) y didáctico (muestra las estadísticas con las cuales se detecta la tendencia). Es diferente a otros sistemas de cómputo porque muestra en forma gráfica las series de tiempo y las medias comparadas en cada estación. De esta manera se logra una más fácil y rápida comprensión de la información que se usa para detectar tendencia en cada estación climatológica.

Referencias

Bandyopadhyay, A., Pal, A., & Debnath, S. (2011). Development of an ArcGIS toolbar for trend analysis of climatic data. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*. https://doi.org/10.5281/zenodo.1055783

Bautista, F., Pacheco, A., & Bautista-Hernández, D. A. (2021). The Clic-MD software: A tool to analyze thousands of data in seconds - Trends of climate and agroclimatic indices. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 8(1), 1-10. https://doi.org/10.19136/era.a8n1.2637

Bautista, F., Pacheco, A., & Dubrovina, I. (2019). Climate change indicators software for computing climate change indices for agriculture. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 6(17), 23-34. https://doi.org/10.19136/era.a6n17.1770

Carmona Loaiza, J. M., Giuliani, G., & Fiameni, G. (2017). Big-Data in climate change models — A novel approach with Hadoop MapReduce. In 2017 International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS) (pp. 123-130). https://doi.org/10.1109/HPCS.2017.17

Kalita, N., Xu, Z., & Kumar, A. (2016). Application of software to study the impact of transportation sectors' greenhouse gas emissions reduction on climate change. Environmental Progress & Sustainable Energy, 35(4), 1012-1018. https://doi.org/10.1002/ep.12504

Pagé, C., Spinuso, A., Barring, L., Zimmermann, K., & Aoun, A. (2022). Access to analysis and climate indices tools for climate researchers and end users. ESSOAr. https://doi.org/10.1002/essoar.10510291.1

CALIDAD POSTCOSECHA EN VID RED GLOBE EN FUNCIÓN DEL SISTEMA DE ESPALDERA Y CUBIERTA DEL RACIMO.

Gilberto López Hernández[1*], Manuel Antonio Galindo-Reyes[2]; Gabriela Ruíz Hurtado[1]

[1]Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No.103. [2]INIFAP-Campo Experimental Pabellón. Email: gilbertolopez103@dgetaycm.sems.gob.mx

Introducción

La producción de uva para consumo en fresco en el norte del estado de Aguascalientes y el sur del estado de Zacatecas, tiene una importancia económica y social arraigada en cultivo de vid por pequeños y medianos productores en ambos estados, en 2021 entre Zacatecas y Aguascalientes se produjeron 61,768 toneladas, lo que representa el 17.2 % de la producción nacional de acuerdo con el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022). En Aguascalientes es difícil encontrar un productor de uva Red Globe que utilice en su viñedo el sistema de espaldera en pérgola, sistema que es muy común ver en el estado Sonora quién concentra el 80.2% de la producción nacional y son quienes más uva exporta. Aunque posición vertical de los brotes es un sistema popular en muchas áreas vitivinícolas debido a la facilidad de mecanización, también puede aumentar el potencial de daño por quemaduras solares. Las espalderas en forma de Y se han propuesto como alternativas adecuadas ya que mantienen los racimos bajo un régimen de luz difusa y disminuyen la radiación directa (Palliotti et al., 2014). Las quemaduras solares representan un grave defecto en las uvas de mesa, ya que el oscurecimiento disminuye fuertemente el valor de mercado del cultivo (Suehiro et al., 2014). La susceptibilidad a las quemaduras solares en las variedades de uva de mesa parece no estar relacionada con el color de la baya, con variedades como Calmeria (bayas verdes) y Red Globe (bayas rojas) que se clasifican como altamente susceptibles, mientras que Italia (bayas doradas) y Flame seedless (bayas rojas) tienen una susceptibilidad baja (Hannah et al., 2002). Se necesita investigación adicional sobre las quemaduras solares tanto en el vino como en las uvas de mesa (Gambetta, et al., 2021). Este trabajo busca examinar la relación que hay entre el sistema de espaldera (que interviene en la mayor o menor radiación solar al racimo), el uso de cubierta en el racimo y la conservación de la uva al ser almacenada en condiciones controladas, conocer lo anterior podría orientar el desarrollo del sector vitícola en el estado de Aguascalientes hacia nuevos enfoques de calidad, por esta razón nuestro objetivo es evaluar la calidad y rendimiento en cosecha y postcosecha de vid Red Globe, en función del uso de sistema de espaldera en pérgola y cubierta del racimo.

Materiales y métodos

Este estudio se realizó en el viñedo experimental del CBTA 103, ubicado en el municipio de Cosío en el estado de Aguascalientes. Se evaluaron dos factores con dos niveles cada uno; sistema de espaldera (espaldera tradicional y espaldera en pérgola) y cubierta del racimo con papel (con y sin cubierta). Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con seis repeticiones, en arreglo factorial (2X2) y en parcelas divididas; dónde, la parcela principal corresponde al sistema de espaldera y la parcela secundaria a la cubierta del racimo. La parcela experimental consistió en fracciones de línea de 30 m de longitud y la parcela útil de 15 m de longitud. Con relación al manejo agronómico, este viñedo se fertilizó siguiendo un programa diseñado en base a análisis de suelo y seguimiento nutricional con análisis foliar en floración y envero, tomando como referencia los requerimientos nutricionales para uva de mesa reportados por Palma en 2006, se hicieron aplicaciones fraccionadas de fertilizantes solubles comerciales de la casa comercial CompoExpert® de acuerdo con la etapa fenológica.

El riego se proporcionó en sistema por goteo de manera semanal en base a las tazas de evapotranspiración y requerimientos hídricos valorados. Finalmente, el viñedo recibió practicas agronómicas de acuerdo con el manejo comercial de la región como fue el control de maleza, de plagas y de enfermedades.

Los datos o variables de respuesta que se recolectarán en cada unidad experimental en este esta investigación se dividen en dos; a). Mediciones de campo y b). Mediciones postcosecha.

Resultados y discusión

Presentamos los resultados de las valoraciones realizadas de las mediciones de campo:
• Porcentaje de sombreo en frutales

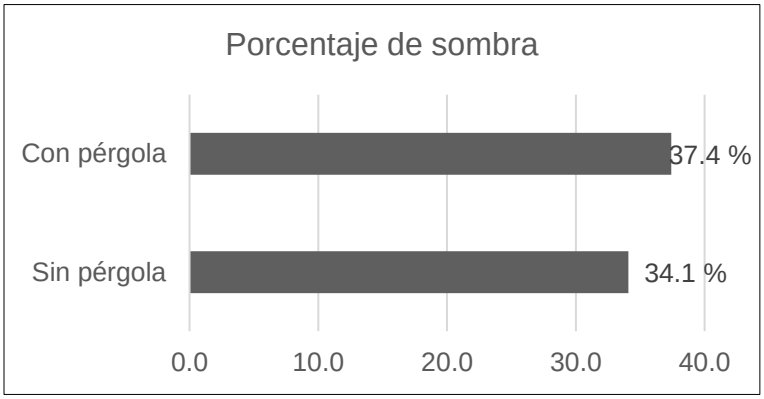


Figura 1. Porcentaje de sombra en evaluación de parcela principal.

En esta variable la sombra en la parcela con pérgolas es 2.7% mayor que la parcela sin pérgolas, con lo que el primer sistema logra aumentar la cobertura de sombra, aunque en una proporción mínima. Los sistemas de pérgolas para producción comercial de uva de mesa son instalados con mayor ángulo de inclinación al utilizado en este experimento, aunque para ello la distancia entre líneas debe ser mayor, el diseño del viñedo experimental desde su establecimiento al igual que los viñedos en la región se encuentran en esta situación limitante en caso de buscar alguna alternativa para la instalación de pérgolas.

• Radiación solar global con piranómetro

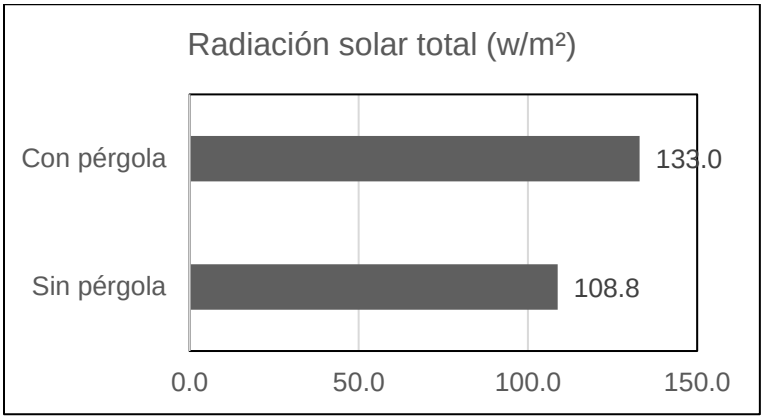


Figura 2. Radiación solar total en watts por metro cuadrado en evaluación de parcela principal.

Llama la atención que en la parcela con pérgola se presentó mayor intensidad de radiación solar, situación que podemos interpretar en base las observaciones de campo, ya que en la parcela sin pérgolas los sarmientos se enredan en el segundo hilo de conducción formando una cobertura compacta y densa que limita el paso de la luz a zonas inferiores del viñedo a diferencia de la parcela con pérgola al abrirse los sarmientos en sentidos opuestos a los brazos forman una cobertura dispersa que brinda mayor proporción de sombra pero también mayor cantidad de orificios para el paso de luz, esta luz también favoreció una coloración más uniforme del racimo en etapa cercana a la cosecha.

• Peso de tres racimos

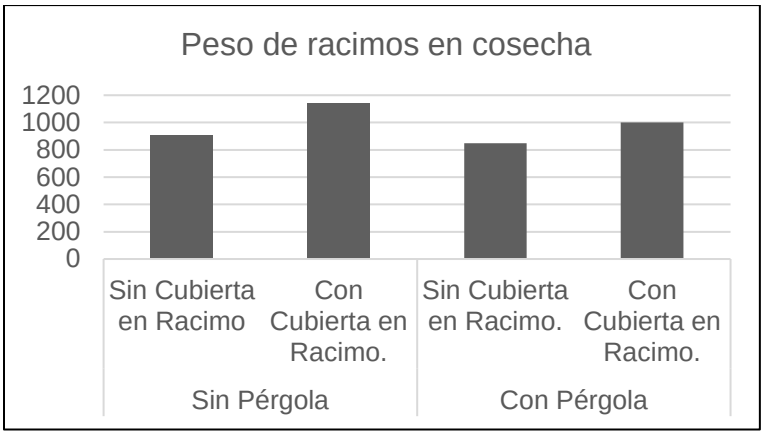


Figura 3. Peso de 3 racimos por repetición en cosecha.

Aproximado a los 150 gramos, es notable la diferencia en peso de racimos, entre la parcela secundaria referente a presencia o ausencia de una cubierta en el racimo. Una valoración que hacemos es que la cubierta del racimo lo protege de daños principalmente por aves de manera notable, aunque pudiera haber otros factores que favorezcan en el peso.

• Peso, calibre y grados brix de 10 bayas.

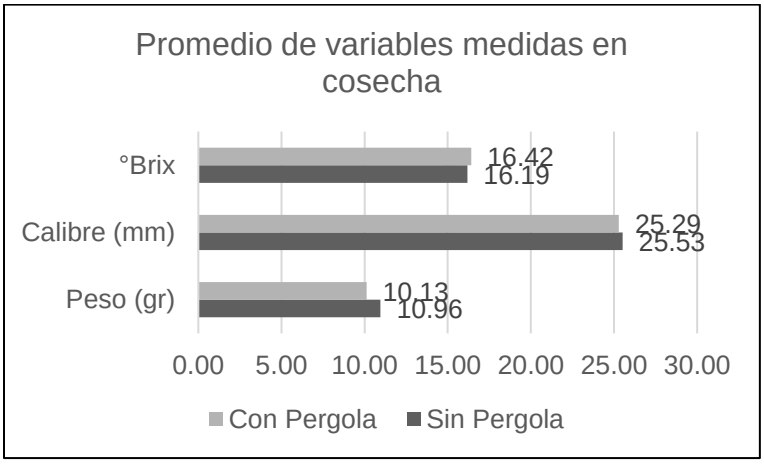


Figura 4. Valores promedio de tres variables de calidad en uva de mesa.

Estas variables no muestran diferencias notables en cuanto a la ausencia o presencia de pérgolas.

• Materia seca

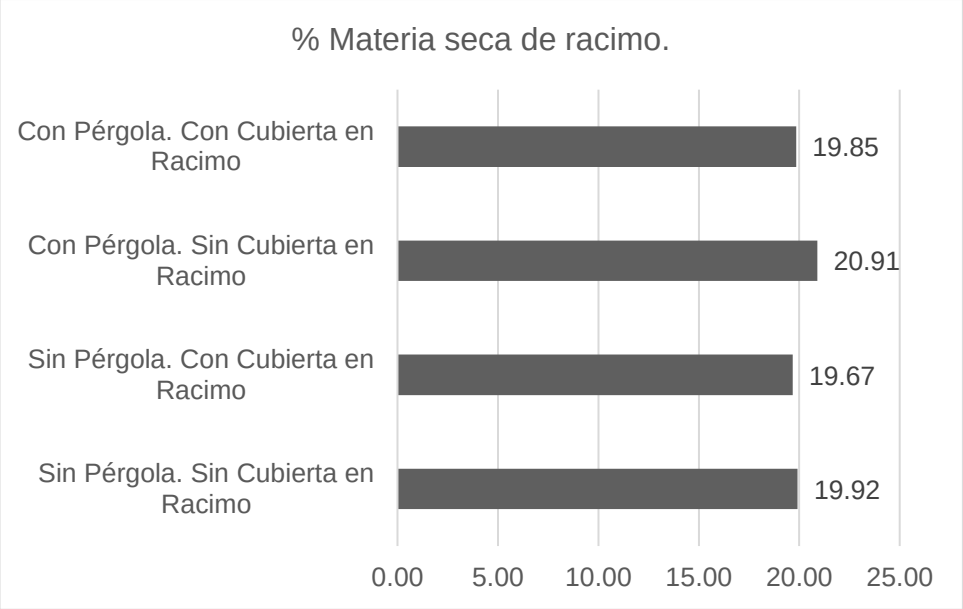


Figura 5. Porcentaje de materia seca en parcela principal y secundaria.

El porcentaje de materia seca también es muy semejante. En normas internacionales el porcentaje de materia seca óptimo para frutos es de 21.5% por lo que se está por debajo del valor optimo de calidad.

Conclusiones

En cuanto a las variables de tamaño, peso, concentración de azúcares y materia seca no se observan diferencias notables en calidad al contrastar la presencia o ausencia de pérgolas al igual que con la presencia o ausencia de cubierta en el racimo. Se esperaría que con una mayor captación de energía solar en el sistema con pérgolas se favorecería la elaboración de fotosintatos y por lo tanto mayor desarrollo de los frutos en todas sus variables de calidad. Sin embargo, el porcentaje de cobertura es mínimo ya que el viñedo se adaptó de un diseño definido desde su establecimiento y quizá es crítico que las pérgolas tengan mayor abertura y los sarmientos y follare tenga mayor distribución para poder observar cambios notables en la calidad de la fruta. Esta condición es generalizada en muchos viñedos de la región ya que el sistema de espaldera simple es el más utilizado para uva de mesa en la región y una mejora probablemente implique adoptar los sistemas de pérgolas inclinadas desde el establecimiento de un viñedo para este propósito. Es necesario realizar más investigación tomando como referencia un viñedo establecido con sistema de pérgolas inclinadas de origen y valorar su viabilidad costo/beneficio para los productores que aspiran a producir uva de mesa de mayor calidad y con mejores rendimientos. La presente información es preliminar y será complementada con las mediciones post-cosecha que aún se están llevando a cabo.

Agradecimientos

Se agradece a la Coordinación Sectorial de Fortalecimiento Académico (COSFAC) por el financiamiento para el desarrollo de este trabajo, al CBTA103 y al INIFAP-Campo Experimental Pabellón por todas las facilidades brindades para la ejecución de este proyecto.

Referencias

Gambetta J.M., Holzapfel B.P., Stoll M and Friedel M (2021). Sunburn in Grapes: A Review. Front. Plant Sci. 11:604691.

Hannah, R., Jaensch, D., and Moulds, G. (2002). Production guidelines for Australian table grape varieties.

Palliotti, A., Tombesi, S., Silvestroni, O., Lanari, V., Gatti, M., and Poni, S. (2014). Changes in vineyard establishment and canopy management urged by earlier climate-related grape ripening: a review. Sci. Hortic. 178, 43–54.

Palma, M.J.F. 2006. Fertiirrigación en Uva de Mesa. Serie Actas INIA No. 39.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP. (2022). Consultado el 27 de febrero de 2023 en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do

Suehiro, Y., Mochida, K., Itamura, H., and Esumi, T. (2014). Skin browning and expression of PPO, STS, and CHS genes in the grape berries of ‘Shine Muscat’. J. Jpn. Soc. Hortic. Sci. 83, 122–132.

INFESTACIÓN Y DAÑO DE *Eoreuma loftini* EN VARIEDADES DE *Sorghum bicolor* Y *Cenchrus americanus* EN EL SUR DE TAMAULIPAS

Guillermo Guzmán-Ochoa[1], Moisés Felipe-Victoriano[2], Jonathan R. Garay-Martínez[2], Jairo Jeu Quintanilla-Medina[1], Jesús Emanuel Ochoa-Lechuga[1], María Fernanda Martínez-Hernández[1], Santiago Joaquín-Cancino[1]

[1]Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Centro Universitario, Campus, C.P. 87149. Cd Victoria, Tamaulipas, México. [2]INIFAP, Campo Experimental Las Huastecas, Carretera Tampico-Mante km 55, C.P. 89610. Altamira, Tamaulipas, México. *Autor para correspondencia: sjoaquin@docentes.uat.edu.mx

Introducción

El barrenador mexicano del arroz (*E. loftini*) es considerado como una de las plagas más importantes dentro del complejo de barrenadores lepidópteros del tallo; es una polilla que se alimenta del arroz (*Oryza sativa*), maíz (*Zea mays*) y sorgo (*Sorghum bicolor*) (Beuzelin et al., 2016). Este insecto puede ser hospedero de algunas gramíneas silvestres que desarrollan tallos que les permita formar sus galerías como el pasto Jonhson (*Shorghum halepense* L.), pasto Vasey (*Paspalum urvillei*), avena loca (*Bromus* sp.) y Raigrás (*Lolium* sp.) (Beuzelin et al., 2013). Las larvas de esta plaga son de color blanco-cremoso con cuatro líneas paralelas rojo-violeta ubicadas en toda la longitud del dorso, en esta etapa perforan los tallos de las plantas hospederas causando daños significativos en los cultivos (Showler y Reagan, 2017). En caña de azúcar durante los primeros estadios, la larva se alimenta del tejido verde de las hojas y perfora las nervaduras centrales antes de perforar el tallo principal (Stout et al., 2024). Las características comunes son galerías en forma horizontal y vertical en los tallos de las plantas, los cuales, causan el acame, debilitamiento y amarillamiento de las plantas y, al mismo tiempo, la reducción en el rendimiento del cultivo. Su control se basa principalmente en el uso de genotipos resistentes, rotación de cultivos, control biológico con parasitoides o depredadores naturales, uso de trampas con feromonas y el uso de insecticidas como el clorantraniliprol (Villegas et al., 2021). El control biológico resulta poco efectivo debido a que las larvas bloquean sus galerías con excretas impidiendo la entrada de parasitoides o depredadores (Showler et al., 2012). Una de las estrategias más importante para el control y manejo de esta plaga, es la evaluación e implementación de los genotipos tolerantes, por tal motivo, el objetivo del presente estudio fue evaluar el daño causado por *E. loftini* en 12 genotipos de sorgo y mijo perla con la finalidad de detectar materiales tolerantes.

Materiales y Métodos

El presente estudio se realizó en el Sitio Experimental Aldama, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en las coordenadas geográficas 22° 51’ 47.38’’ N y 98° 14’ 14.20’’ O, a 98 msnm (INEGI, 2015). El clima es clasificado como semicálido subhúmedo con lluvias en verano, la precipitación media anual es de 657 mm y temperatura media anual de 23.4 °C (SMN, 2022). Se evaluaron ocho genotipos de sorgo procedentes del INIFAP y cinco procedentes de la empresa Anzú Genética Seeds®, además del mijo perla (*Cenchrus americanus*). Cada parcela experimental estuvo conformada por cuatro surcos de 10 m, a una distancia de 80 cm entre surcos y una densidad aproximada de 287,500 plantas ha^{-1}. La preparación del suelo fue mecanizada (un barbecho, dos pases de rastra cruzada y surcado), para el sistema de riego se utilizó cintilla 5/8” de la marca Aqua Traxx Toro®, con un distanciamiento de 20 cm entre emisores.

La fertilización se realizó a los 28 días después de la siembra (DDS) con una dosis de 90-40-00 kg ha^{-1} de NPK. Se realizó control de plagas cuando alcanzaron su umbral económico. Para el control de *Spodoptera frugiperda* se aplicó Spinetoram (200 mL ha^{-1}) y, 12 días después, Clorantraniliprol (100 mL ha^{-1}), mientras que, para el control de pulga saltona (*Chaetocnema pulicaria*) se aplicó Imidacloprid (350 mL ha^{-1}). Cuando el grano del sorgo alcanzó el estado masoso suave se realizó la evaluación de infestación y daño causado por *E. loftini*; en cada unidad experimental se seleccionaron de manera aleatoria 20 plantas por tratamiento, las plantas se cortaron a ras de suelo, posteriormente se retiraron las hojas y con una navaja se realizó un corte vertical en el tallo, donde se contabilizó el número de larvas y entrenudos sanos y dañados por *E. loftini*. El porcentaje de daño se obtuvo al dividir el número total de entrenudos dañados entre el número total de entrenudos de cada planta y se multiplico por 100.

El diseño experimental que se utilizó fue de bloques completos al azar (BCA), con 13 tratamientos y tres repeticiones; para comparar las medias se utilizó una prueba de Tukey (α=0.05) en el programa estadístico INFOSTAT (Infostat versión 2020).

Resultados y Discusión

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (p<0.0001). El daño causado por *E. loftini* en los entrenudos de la planta al momento del corte, fue mayor en los genotipos Procónsul y Gobernador con 54 y 41 %, respectivamente. Los genotipos Paloma, Fortuna, 195-2, 197-1, 197-1-1, Arcos, Williams y Mijo Perla mostraron mayor tolerancia con daño menor al 20 %.

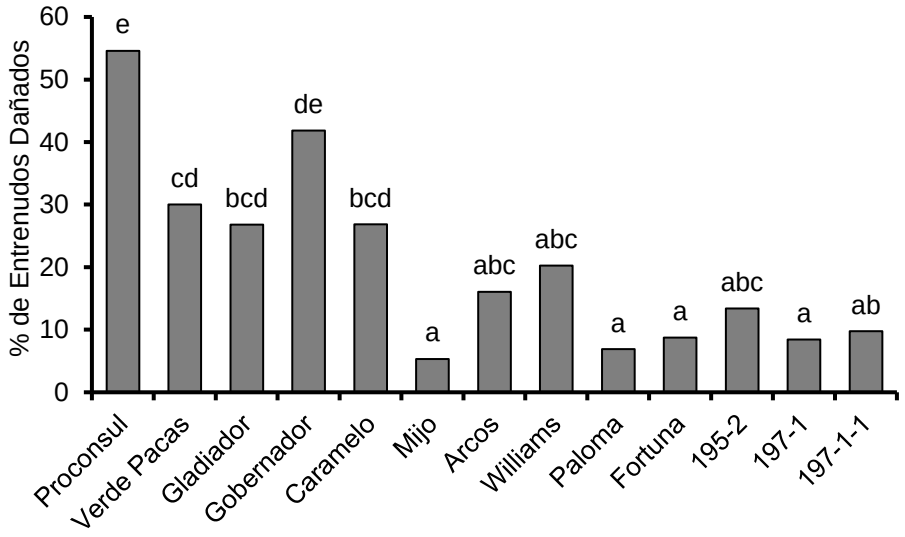


Figura 1. Daño causado por *E. loftini* en genotipos de sorgo forrajero y mijo perla (*Cenchus americanus*) al momento del corte en el Sur de Tamaulipas. Literales diferentes indican diferencias entre tratamientos.

Reyes-Hernández et al. (2024) mencionan que la intensidad de daño de *E. loftini* en variedades de caña respecto de la concentración de sacarosa, muestran una relación lineal negativa, donde, a mayor daño de barrenador, menor concentración de sacarosa, así mismo se menciona que por cada 1 % de daño por barrenador que se incrementé, el contenido de sacarosa disminuirá 0.20 %. Lo anterior pudo haber influido de igual manera en la preferencia de *E. loftini* en los genotipos de sorgo evaluados.

En cuanto al número de larvas por planta, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (p= 0.003). El genotipo que mostro mayor incidencia de larvas fue Procónsul y Gobernador con 1.25 y 1.23 larvas por planta, respectivamente. El genotipo que mostro menor incidencia de larvas fue el Mijo Perla, en donde, tres de cada 20 plantas presentaron una larva. La cantidad de larvas presentes en cada planta, aumentan el daño y tamaño de las lesiones, facilitando la entrada a nuevas infecciones causadas por otros patógenos y la muerte de los tallos (Showler et al., 2012).

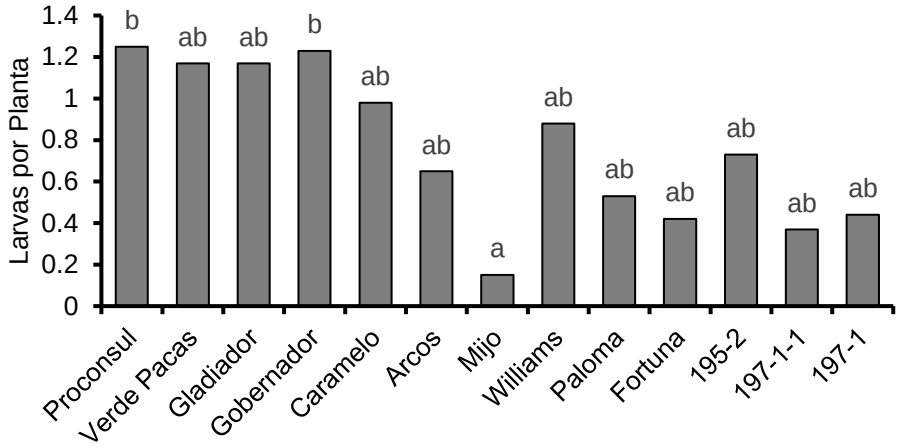


Figura 2. Número de larvas de *E. loftini* por planta en genotipos de sorgo forrajero y mijo perla (*Cenchrus americanus*) al momento del corte en el Sur de Tamaulipas. Literales diferentes indican diferencias entre tratamientos.

Conclusiones

Los genotipos más tolerantes a *E. loftini* fueron Paloma, Fortuna, 195-2, 197-1, 197-1-1, Arcos, Williams y Mijo Perla. Los resultados de este estudio podrían ser útiles para desarrollar un plan de manejo integrado para *E. loftini* en el que se incluya la tolerancia del hospedero.

Referencias

Beuzelin J. M., B. E. Wilson, M. T. VanWeelden, A. Mészáros, M. O. Way, M. J. Stout and T. E. Reagan. 2016. Biology and management of the Mexican rice borer (Lepidoptera: Crambidae) in rice in the United States. Journal of Integrated Pest Management 7:1.

Beuzelin J. M., T. Wilson, E. Showler, A. Mészáros, S. Wilson, M. O. Camino T. E. Reagan. 2013. Oviposition and larval development of a stem borer, *Eoreuma loftini*, on rice and non-crop grass hosts. Entomologia Experimentalis et Applicata 146:3 332-346.

Reyes-Hernández J., J. M. Coronado-Blanco, L. A. Rodríguez-del Bosque, A. Ivanovich K., B. Estrada-Drouaillet, R. I. Torres-Acosta y Z. Reséndiz-Ramírez. 2024. Efecto del estrés hídrico en el barrenador (*Eoreuma loftini* Dyar) y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Acta Agrícola y Pecuaria 10:1 1-7.

Showler A. T., B. E. Wilson, T. E. Reagan. 2012. Mexican rice borer (Lepidoptera: Crambidae) injury to corn greater than to sorghum and sugarcane under field conditions. Journal of Economic Entomology 105:5 1597-1602.

Showler A. T., T. E. Reagan. 2017. Mexican rice borer, *Eoreuma loftini* (Dyar) (Lepidoptera: Crambidae): Range expansion, biology, ecology, control tactics, and new resistance factors in United States Sugarcane. American Entomologist 63:1 36-51.

Stout M. J., K. M. Carter, J. M. Villegas, B. E. Wilson. 2024. Natural incidence of stem borer damage in U.S. rice varieties. Crop Protection. 177

Villegas J. M., B. E. Wilson, M. J. Stout. 2021. Integration of host plant resistance and cultural tactics for management of root and stem feeding insect pest in rice. Frontiers in Agronomy 3:754673.

RESPUESTA DE NOGAL PECANERO AL ZINC APLICADO EN RIEGO POR MICROASPERSION EN UN SUELO ALCALINO DEL NORTE DE MEXICO

Jesús G. Arreola-Ávila

Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Km. 40 Carr. Gómez Palacio Chihuahua Bermejillo, Durango, México C.P. 35230. Autor de correspondencia: jgarreola@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Actualmente la mayoría de las huertas comerciales de nogal establecidas en el norte de México, se encuentran en áreas distantes de los suelos aluviales y cercanos a los ríos o arroyos con abundante humedad, en los cuales se desarrolló esta especie. La naturaleza alcalina de los suelos en las regiones nogaleras del norte de México, presentan un reto para los productores dada la poca disponibilidad de zinc (Olivas et al. 2021). La deficiencia de zinc en nogal se caracteriza por un raquítico crecimiento del brote de la estación, con clorosis y ondulamiento de la hoja y cuando esta es severa, puede reducir la producción de flores y el rendimiento del árbol (Hu y Sparks, 1991). El zinc es uno de los micronutrimentos que mayor demanda el nogal (Heerema et al., 2017). Es a la vez, considerado como un cofactor enzimático, que tiene un rol importante en la función de la enzima carbono anhidraza, involucrada en el movimiento del CO_2 al sitio del ciclo Calvin, en el estroma del cloroplasto (Hu y Sparks, 1991). Por lo que su presencia es importante en la fotosíntesis (Heerema et al., 2017).

La fertilización foliar con zinc es una práctica generalizada que se realiza por los productores al inicio de la estación, para mantener el nivel de suficiencia en el árbol (Walworth et al., 2017) el cual debe ser mayor a 50 ppm (Reuters y Robinson, 1997). Sin embargo, su eficiencia se reduce por la acción del viento, lluvia o condición inadecuada del equipo de aspersión o retraso en la programación de aplicaciones (Walworth, et al., 2017), Además de que esta actividad, incrementar la compactación del suelo por el paso constante de maquinaria (Olivas et al., 2021). El uso de zinc quelatado aplicado al suelo, para mantener el nivel de suficiencia en las huertas, es una estrategia que ha venido tomando relevancia. Sin embargo, información sobre la respuesta del árbol es escasa, por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar algunas respuestas fisiológicas y productivas del árbol a la aplicación de Zinc a través del riego por micro aspersión.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en una huerta de nogal pecanero de 6 años de edad localizada en el Municipio de Matamoros, Coah, México. Los árboles se encuentran plantados bajo un diseño de marco real con distanciamiento de 10 x 10 m. Se desarrollan en un suelo arcillo limoso con un PH de 7.5 y son regados mediante riego por micro aspersión. Se aplicó sulfato zinc (Nutrazinc 35% Zn) como tratamiento foliar en dosis de 4 kg/1000 l de agua cada 10 días. Como tratamiento al suelo se utilizó Zn EDTA (Living Zinc 15%), a razón de 5 kg aplicado por en el sistema de riego. Se utilizó un testigo sin aplicación. Las aplicaciones foliares se efectuaron con aspersora de 500 litros de capacidad, cada 10 días, realizando la primera a las dos semanas después de iniciada la brotación, cuando el brote tenia longitud promedio de 5 cm. La primera aplicación edáfica (2.5 kg ha^{-1}) coincidió con la fecha de la primera aplicación foliar y la segunda en la misma cantidad, se efectuó 40 días después.

Las aplicaciones de ambos tratamientos se efectuaron en un área de 0.25 has. Cinco arboles de tamaño similar por tratamiento fueron seleccionados al azar, las variables respuesta (concentración de Zn foliar, fotosíntesis, SPAD, longitud de brote, numero de frutos por racimo y producción por árbol) fueron analizadas utilizando un diseño completamente al azar con 5 repeticiones, utilizando un árbol como unidad experimental. Se utilizó el programa estadístico InfoStat, versión 2020. La comparación de medias entre tratamientos, se efectuó mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Las aplicaciones de zinc al follaje y al suelo incrementaron la tasa fotosintética en hojas del brote estacional (Cuadro 1). El incremento en los arboles tratados con zinc edáfico y zinc foliar fue de 19 y 13% respecto al testigo. La mayor tasa fotosintética en los arboles tratados con zinc al suelo concuerda con los resultados obtenidos por Heerema et al. (2017).

El contenido de clorofila referido a unidades SPAD fue mayor en las hojas de los arboles tratados con zinc en las dos formas, al suelo y foliar (Cuadro 1). Este incremento fue superior en 9% en comparación con el testigo.

La longitud del brote de la estación fue significativamente incrementada por los tratamientos con zinc (Cuadro 1). La longitud del brote en los arboles tratados con zinc edáfico supero en un 11% a los arboles testigo, mientras que en los arboles asperjados con zinc el incremento fue del 6% respecto con los arboles sin tratar. La mejor respuesta del tamaño del brote se observó en los arboles tratados con zinc edáfico, el cual fue superior en 5% al de los arboles tratados con aplicaciones foliares. Esta respuesta fue similar a la obtenida por Olivas et al., (2021). Aunque los valores de longitud fueron mayores en el presente estudio, debido a la menor edad de los árboles.

Las aplicaciones de zinc foliares o edáficas incrementaron significativamente el número de frutos por racimo en relación al testigo (Cuadro 1). Este incremento fue del 11% para los arboles foliados y de 13% para los arboles tratados con zinc edáfico. El número de nueces por racimo en nogal está relacionado con la longitud del brote, y es mayor a medida que el tamaño del brote incrementa (Malstrom y Mc Means, 1982). Los resultados aquí encontrados confirman esta indicación, al encontrar más amarre de frutos en brotes con mayor longitud inducida por los tratamientos con zinc.

La producción de nuez por árbol incrementó en los tratamientos con zinc aplicados en forma foliar o edáfica (Cuadro 1). La fertilización foliar y edáfica incrementó el rendimiento en un 10 y 14% respectivamente en comparación con el testigo. El mayor rendimiento se observó en los arboles tratados con Zn EDTA aplicado al suelo y fue superior en un 4% respecto al tratamiento foliar. El mayor rendimiento observado en los arboles tratados, puede estar relacionado con el tamaño del brote como ha sido señalado por Malstrom y Mc Means (1982) en nogal 'Moneymarker'.

Cuadro 1. Tasa fotosintética, clorofila, longitud de brote, numero de nueces por racimo y producción de nuez por árbol, en nogal bajo tres tratamientos de fertilización con zinc.

tratamiento	Fotosíntesis M(μMolm^{-2}s^{-1})	Unidades SPAD	Longitud de brote (cm)	Nueces por racimo	Producción por árbol (kg)
Testigo	13 b[z]	40 b	27.0 b	3.5 b	2.15 b
Zinc foliar	15 a	43 a	28.8 ab	3.7 ab	2.40 a
Zinc al suelo	16 a	44 a	30.5 a	3.9 a	2.51 a

[z] Medias con letras desiguales son estadísticamente diferentes, Tukey ($P \leq 0.05$).

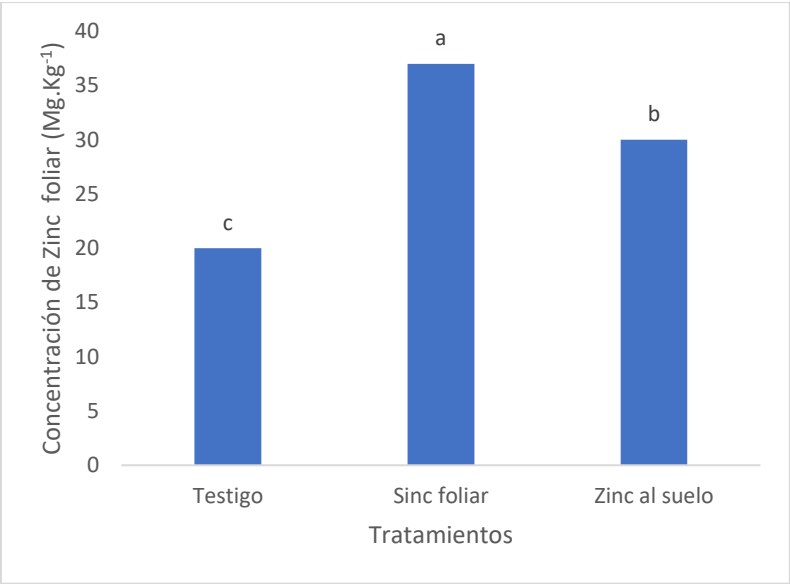


Figura 1. Concentración de zinc en la hoja de nogales bajo tres tratamientos de fertilización con zinc. Medias con letras desiguales son estadísticamente diferentes, Tukey (P ≤ 0.05).

La mayor concentración de zinc en la hoja se observó en los arboles tratados con aspersión foliar (Figura 1). En estos árboles la concentración de zinc foliar fue de 37 $mg.Kg^{-1}$, la observada en los arboles tratados con zinc al suelo fue de 30, mientras que en los arboles testigo fue de 20 ppm. El contenido de zinc en la hoja en este estudio es inferior a 40 $mg.Kg^{1}$ indicado por Reuters y Robinson (1997) como el valor mínimo de suficiencia para esta especie. Walworth et al. (2017) observaron concentraciones de 35 $\mu g.g^{-1}$en la hoja de nogales ´Western´ tratados con zinc EDTA al suelo, mientras que Heerema et al., (2017) encontraron 31 ppm en nogales ´Wichita, ´sin observarse síntomas de deficiencia en ambos casos. Por lo tanto, el contenido de zinc en la hoja encontrado en el presente estudio puede considerarse como adecuado.

Conclusiones

La fertilización con zinc al suelo, al igual que la aplicación foliar, incrementó la fotosíntesis, la clorofila referida a unidades SPAD así como la concentración de zinc en la hoja. También aumentó la longitud de brote, amarre de fruto y rendimiento de nuez por árbol. Por lo tanto, se concluye que la fertilización de Zinc quelatado al suelo tiene efecto similar al aplicado en el follaje.

Referencias

Heerema, R. J., VanLeeuwen, D., Thompson, M. Y., Sherman, J. D., Comeau, M. J., & Walworth, J. L. (2017). Soil-application of Zinc-EDTA increases leaf photosynthesis of immature 'Wichita'pecan trees. Journal of the American Society for Horticultural Science, 142(1), 27-35. doi: 10.21273/JASHS03938-16

Hu, H., & Sparks, D. (1991). Zinc deficiency inhibits chlorophyll synthesis and gas exchange in'Stuart'pecan. HortScience 26:267–268.

Malstrom, H., y McMeans, J, 1982. Shoot length and previous fruiting affect subsequent growth and nut production of 'Moneymarker' pecan. HortScience. 17(6):970-972.

Olivas. T. Ma. L. T., Tarango, R. H. S., Avila, Q. G. D. 2021. Mejoramiento de la producción de nogal pecanero por zinc en riego por goteo en suelos calcáreos. Terra Latinoamericana. Vol 39. e992:1-12.

Walworth. J., White, S. y Comeau, N., 2017. Soil-appliedZn.EDTA: vegetative growth, nnut production, and nutrient acquisition of inmature pecan tres grwn in an alkaline, calcareous soil, HortScience 52(2):301-305.

FORRAJE DE NOPAL FERMENTADO: UNA SUPLEMENTACION ALTERNATIVA PARA RUMIANTES

Gerardo G. Juárez-García[1*], E. Javier García-Herrera[1], Alejandro Amante-Orozco[1], Santiago de J. Méndez-Gallegos[1], Francisco J. Macías-Rodríguez[2]

[1]Postgrado de Innovación en Manejo de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Iturbide 73, C.P. 78600. Salinas de Hidalgo, SLP, México [2]Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Unidad Centro Norte (CRUCEN) Km. 20.5 Carretera Zacatecas-Fresnillo, C.P. 98100. Calera, Zacatecas, México. *Autor de correspondencia: juarez.gerardo@colpos.mx

Introducción

La industria ganadera es una actividad cada vez más sobresaliente que debe hacer frente a la creciente demanda de productos ganaderos (Morshedy et al., 2020). Por lo que una actividad económica significativa en el norte de México es la producción de ganado bovino, siendo una de las principales fuentes de ingreso para las familias rurales de zonas áridas y semiáridas, caracterizadas por tener periodos de lluvias reducidos, favoreciendo la escasez de forrajes en ciertas épocas del año (Maldonado-Quiñones et al., 2022). El nopal ha sido utilizado como fuente de alimento para la alimentación del ganado desde periodos coloniales, principalmente en zonas áridas y semiáridas del norte de México (Anaya-Pérez y Bautista-Zane, 2008), debido a que es una planta altamente eficiente al convertir agua en biomasa, y al presentar un buen contenido de energía digestible (Gutiérrez et al., 2009), además por su tasa de crecimiento y bajos insumos productivos lo convierten en un candidato excelente para la alimentación o el reemplazo de forrajes en regiones semiáridas (Mayer y Cushman, 2019). Sin embargo, por su bajo valor proteico (4-6 %) limita su uso (Flores et al., 2019). Una opción para mejorar las cualidades nutritivas (contenido proteico) de este cultivo es a través de su fermentación semisólida, en la que esta se realiza sobre un sustrato de una penca picada añadiendo una mezcla mineral para aumentar el contenido proteico (Flores-Hernández et al., 2021). El contenido de proteína en el alimento es un factor clave para la digestión de rumiantes, por lo que es necesario encontrar formas de enriquecer el alimento en proteína de calidad (Ramírez, 2017). Así, el objetivo del presente trabajo fue evaluar dos variedades de nopal (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) y tipos de picado, en mezclas con un microrganismo fermentador, dos fuentes de nitrógeno, melaza y aguamiel de Agave sp. en un proceso fermentativo con el fin de aumentar el valor nutrimental para alimentación de rumiantes.

Materiales y métodos

Se evaluaron las variedades de Nopal (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) Rojo pelón y Cristalino. La primera fue procedente de una colección de germoplasma (23° 11’ y 22° 27’ N, y 101° 22’ y 101° 57’ O) a una altitud 2075 m, mientras que la variedad Cristalino se obtuvo de La Victoria en Pinos, Zacatecas, México (22° 15´ 27´´ N y 101º 37´ 48´´ O) a una altitud de 2,308 m. Se recolectaron cladodios (pencas) fisiológicamente maduros de aproximadamente 12 meses de edad. La muestra fue de 12 kg de cladodio de cada variedad en el mes de febrero del 2024. De esta forma se evaluaron mezclas de nopal de las variedades Rojo Pelón y Cristalino, se compararon dos formas de corte de nopal; picado en piezas de 1 cm^2 y molido, para lo cual se usaron cladodios (pencas) fisiológicamente maduros.

Los cladodios picados y molidos se fermentaron por 6, 8, 10 y 12 h con agitación continua, en vasos de precipitado de vidrio de 600 mL a temperatura ambiente. A los tratamientos se les adicionó, de acuerdo con Flores et al. (2019), Urea (1%), Sulfato de amonio (0.1%), Levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) (1%), agregando además de lo recomendado por estos autores, Aguamiel (2%) y Melaza (0.25%). En un diseño factorial con 24 tratamientos y cuatro repeticiones. Al tomar muestras en los cuatro tiempos de fermentación, se midió la temperatura ambiente, la temperatura de la mezcla y el pH. Para después tomar muestras de 30 g, en tubos de centrifuga de 50 mL, adicionándole dos gotas de ácido fosfórico (ácido ortofosfórico) y congelándose a -5 °C a fin de detener la fermentación (Díaz-Plascencia et al., 2012), para el posterior análisis de proteína.

Para la determinación de proteína se pusieron a descongelar las muestras a temperatura ambiente, para después ponerlas a secar a una temperatura de 60 °C durante 48 h en un horno de secado (Díaz-Plascencia et al., 2012), por lo que una vez listas las muestras se determinó la proteína cruda (PC) a partir del método de combustión DUMAS, regulado por AOAC y AACC.

Se aplicó un diseño experimental completamente al azar con un diseño de tratamientos factorial de 2*2*3*2, donde los factores fueron variedades de nopal (Rojo pelón y Cristalino), formas de picado (molido y picado), fuentes de nitrógeno (urea, sulfato de amonio y urea + sulfato de amonio), e inóculos (levadura y levadura + aguamiel). La prueba de medias se realizó con la prueba de Tukey con α = 0.05.

Resultados y discusión

La Figura 1 muestra que los porcentajes de proteína cruda (PC) obtenidos a partir de la fermentación del nopal con tres fuentes de nitrógeno a los cuatro tiempos de fermentación, fueron diferentes significativamente. En todos los tiempos de fermentación, los porcentajes de PC resultaron mayores cuando se agregó a la mezcla urea + sulfato de amonio, con porcentajes promedio de 42.01, 41.64, 42.94 y 42.85 % a las 6, 8, 10 y 12 h, respectivamente. Por otra parte, los menores porcentajes de PC se obtuvieron cuando se adicionó sulfato de amonio.

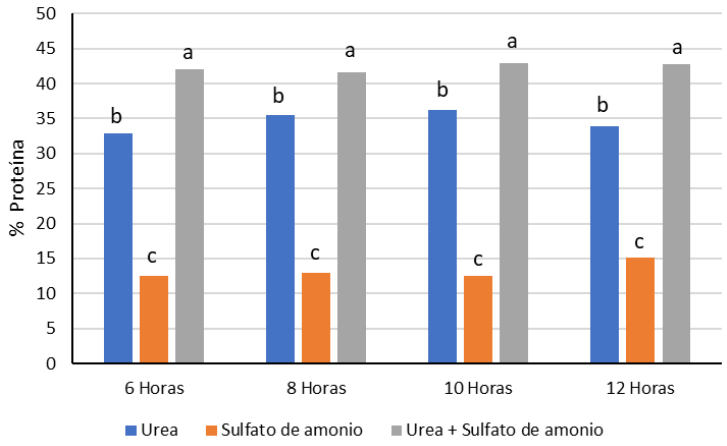


Figura 1. Proteína cruda obtenida con la aplicación de diferentes fuentes de nitrógeno comercial a diferentes tiempos de fermentación.

Como segundo caso, en la Figura 2 se muestran los resultados obtenidos a partir de la comparación de los contenidos de PC para dos formas de preparación (molido y picado) del nopal, donde se muestra que los porcentajes de PC fueron significativamente mayores cuando el nopal fue molido, con valores promedio de 33.96, 33.47, 32.64 y 32.69 % a las 6, 8, 10 y 12 h, respectivamente.

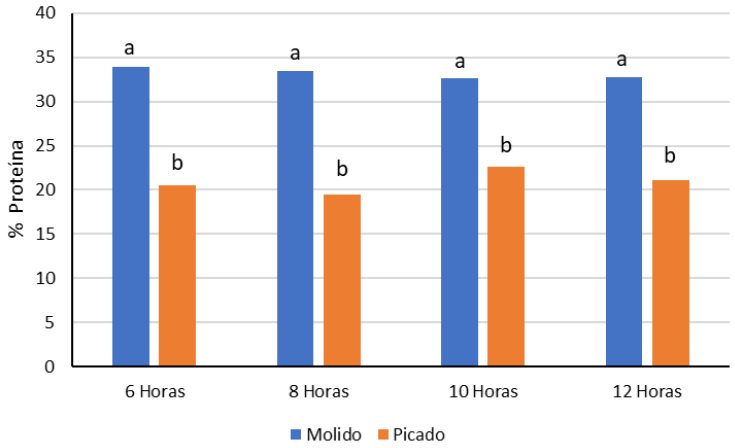


Figura 2: Proteína cruda obtenida con dos formas de preparación del nopal a diferentes tiempos de fermentación.

En cuanto al efecto de las variedades de nopal (Rojo pelón y Cristalino), y los inóculos (levadura y levadura + aguamiel), estos factores no presentaron diferencias significativas en relación con el contenido de PC en cualquiera de los tiempos de fermentación.

Díaz-Plascencia et al. (2012) mencionan haber utilizado inóculo de levadura *Kluyveromyces lactis* a partir de un proceso de fermentación, logrando aumentar significativamente su valor de PC de 9.35 a 19.36 % en 12 horas de fermentación. Por su parte, Flores-Hernández et al. (2017) a partir de su proceso de enriquecimiento proteico de nopal obtuvieron un valor de PC de 22.38 %. De igual manera, Flores-Hernández et al. (2021) aumentaron la producción media diaria de leche por vacas Holstein a partir de 26,08 ± 4,8 L a 30,07 ± 5,3 L, cuando las vacas fueron alimentadas con la dieta de nopal fermentado con valores de PC de 36.55 %. Los porcentajes de PC encontrados en este estudio son superiores a los que reportan Flores-Hernández et al. (2017), Flores-Hernández et al. (2021) y Díaz-Plascencia et al. (2012).

Además, al comparar el producto de nopal fermentado con la soya entera cruda, presenta mayor contenido de proteína el nopal fermentado con 42.94 % de PC para el mejor tratamiento en este estudio, a comparación de 39.98 % de PC que presenta la soya entera cruda. Por lo que de esta manera el nopal fermentado presenta porcentajes similares de proteína cruda con respecto a los que presenta la soya.

Por otra parte, Flores-Hernández et al. (2017) realizaron estudios en relación de la ganancia del peso de cabras criollas estabuladas, las cuales fueron alimentadas con heno de alfalfa, nopal seco natural y nopal enriquecido. Destacando el nopal enriquecido con una ganancia de peso en Kg de 3.43±1.72 a partir de nueve semanas, seguido el heno de alfalfa (2.73±0.64) y finalmente el nopal seco natural (1.33±0.76). presentando valores de PC en base fresca de 29.80% y 20.56% para fase seca. Tales valores de PC son inferiores a los que se presentan en esta investigación.

Conclusión

Al comparar las dos formas de preparación de los cladodios, resultó mayor el contenido de proteína cruda cuando estos fueron molidos, presentando un porcentaje promedio de 33.19. En la comparación de la adición de las tres fuentes de nitrógeno, presenta un mayor contenido de PC cuando se le adiciona urea + sulfato de amonio, con un valor promedio de 42.36 %, por lo que al compararse el producto de nopal fermentado con productos comerciales como la soya, se logra observar que presentan valores similares de (PC), de esta manera se destaca el uso de nopal fermentado como un excelente alimento para el ganado a partir de la reducción de costos de producción en relación a la alimentación tradicional.

Referencias

Anaya-Pérez, M. A., & Bautista-Zane, R. (2008). El nopal forrajero en México: del siglo XVI al siglo XX. Agricultura, Sociedad y Desarrollo, 5(2), 167-183.

Díaz-Plascencia, D., Rodríguez-Muela, C., Mancillas-Flores, P., Mena-Mungía, S., & Salvador-Torres, F. (2012). Fermentación in vitro de nopal forrajero con un inóculo de levadura Kluyveromyces lactis obtenida a partir de manzana de desecho—In vitro fermentation of forage prickly pear cactus with yeast inoculum of Kluyveromyces lactis from apple waste.

Flores-Hernández, A., Araújo-Filho, J. T., Gomes da Silva, F., Ramírez-Ordoñez, S., Murillo-Amador, B., Flores-Hernández, A., Araújo-Filho, J. T., Gomes da Silva, F., Ramírez-Ordoñez, S., & Murillo-Amador, B. (2017). Dietas a base de forraje tradicional y nopal (Opuntia spp.) enriquecido con proteínas para alimentar cabras. Nova scientia, 9(18), 149-166. https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.828

Flores Hernández, A., Macías Rodríguez, F. J., Meza Herrera, C., García Herrera, G., Esquivel Arriaga, O., Ortiz Salazar, J., & Hernández Bautista, C. (2019). Fermentación semisólida del nopal (Opuntiaspp) para su uso como complemento proteico animal. Revista De Geografía Agrícola, (63), 87–100. https://doi.org/10.5154/r.rga.2019.63.04.

Flores-Hernández, A., Macías-Rodríguez, F. J., Meza-Herrera, C., García-Herrera, G., Esquivel-Arriaga, O., Hernández-Bautista, C., & Murillo-Amador, B. (2021). Aerobic semi-solid fermentation of Opuntia megacantha as feed supplement and its effect on dairy cows (Holstein). Journal of the Professional Association for Cactus Development, 23, 12-25. https://doi.org/10.56890/jpacd.v23i.351.

Gutierrez, E., Elias, A., Santos, A., Facundo, A., Morales Treviño, H., & Bernal Barragan, H. (2009). Uso del nopal nativo y cultivado en la alimentación de rumiantes. https://www.researchgate.net/profile/Erasmo-Gutierrez/publication/260319606_Uso_del_nopal_nativo_y_cultivado_en_la_alimentacion_de_rumiantes/links/5453121e0cf26d5090a385ec/uso-del-nopal-nativo-y-cultivado-en-la-alimentacion-de-rumiantes.pdf

Maldonado-Quiñones, H. de J., Barraza-Govea, J. M., Carrete-Carreón, F. O., Murillo-Ortiz, M., Häubi-Segura, C. U., Flores-Hernández, A., Pámanes-Carrasco, G. A., & Rosales, E. E. A. (2022). Calidad nutritiva y densidad microbiana de nopal duraznillo (Opuntia leucotricha) fermentado en estado sólido. Acta Universitaria, 32, 1-15. https://doi.org/10.15174/au.2022.3559.

Mayer, J. A., & Cushman, J. C. (2019). Nutritional and mineral content of prickly pear cactus: A highly water-use efficient forage, fodder and food species. Journal of Agronomy and Crop Science, 205(6), 625-634. https://doi.org/10.1111/jac.12353.

Morshedy, S. A., Mohsen, A. E. A., Basyony, M. M., Almeer, R., Abdel-Daim, M. M., & El-Gindy, Y. M. (2020). Effect of Prickly Pear Cactus Peel Supplementation on Milk Production, Nutrient Digestibility and Rumen Fermentation of Sheep and the Maternal Effects on Growth and Physiological Performance of Suckling Offspring. Animals, 10(9), 1476. https://doi.org/10.3390/ani10091476.

Ramírez Lozano, R. G. (2017). Principios De Nutrición De Rumiantes. Palibrio. https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=Vv0sDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT12&dq=necesidades+nutricionales+del+rumiantes&ots=8QwWBzmpmB&sig=pDbyGiijr3LjH0fy3yNxxb6n_X4&redir_esc=y#v=onepage&q=necesidades%20nutricionales%20del%20rumiantes&f=false.

IMPACTO DEL NÚMERO DE PARTO DE LA MADRE SOBRE INMUNIDAD PASIVA, CARGA PARASITARIA Y DESARROLLO POSTNATAL

Andrea García-Mendoza[1*], Milagros González-Hernández[1], Delia X. Vega-Manríquez[1], Érika J. Félix-Santiago[1], María. del Refugio-Pérez[2], César A. Rosales-Nieto[1*]

[1]Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí 78321, México. [2]Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí 78210, México.[1a]Present address: Department of Agricultural Sciences, Texas State University, San Marcos 78666, U.S.A. *Autor de correspondencia: andygam95@hotmail.com

Introducción

Dentro del ámbito ganadero lechero, los productores aún se encuentran con una variedad de retos a cumplir dentro de su establo como es la alta mortalidad neonatal (Lombard et al., 2020). Por eso es importante dar un valor real a la crianza de becerras ya que ahí se encuentra el futuro de la granja lechera. Si se cuenta con un mal sistema de crianza, se tendrán pérdidas económicas muy grandes, por ello se tiene que disminuir la mortandad y obtener una mayor cantidad de hembras de reemplazo con las mejores características. Para esto, hay que enfocarnos en proporcionar a la cría bovina recién nacida un calostro de excelente calidad, que si se proporciona de forma correcta, puede garantizar una correcta inmunidad en la cría al contener inmunoglobulinas y nutrientes esenciales para el neonato. Sin embargo debemos considerar que existen diversos factores ya comprobados que afectan la calidad de éste, como el número de parto de la madre, ya que conforme aumenta la edad materna, va mejorando la calidad del calostro producido en cada lactancia (García et al., 2022); si se proporciona un calostro de vacas jóvenes, podría resultar en una cría más vulnerable a infecciones potenciales, con enfermedades tales como neumonías y diarreas, siendo esta última, la principal causa de muerte neonatal bovina que puede ser causada por agentes infecciosos como bacterias, virus y protozoarios como las coccidias (*Eimeria* spp). Además, el desarrollo del neonato puede verse comprometido al depender de las inmunoglobulinas maternas, por lo que es necesario el suministro oportuno de calostro de alta calidad en cantidad suficiente para una alta tasa de absorción intestinal durante las primeras 24 horas después del nacimiento. Un volumen de calostro apropiado para la primera alimentación afecta positivamente el metabolismo del neonato (Blum y Hammon 2000; Fischer-Tlusos et al., 2021) y puede influir en su desempeño como vaca lechera adulta al reducir la edad al primer parto (Faber et al., 2005). El objetivo de esta investigación es determinar el impacto del número de parto de la madre sobre la transferencia de inmunidad, carga parasitaria y desarrollo al destete de las crías hembras.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el establo “Rancho El Rincón del Paraíso”, ubicado en San Felipe, Guanajuato, México. Se incluyeron 90 animales bovinos (madres y crías) hembras de raza Holstein al parto de primera (n=15+15), segunda (n=15+15) y tercera paridad (n=15+15). Después del nacimiento se registró el peso al nacimiento, y el contenido de inmunoglobulinas en el calostro producido fue determinado mediante calostrometría y refractometría en campo. Se administró el calostro producido de la madre a la cría en la primera toma con un 10 % de su peso vivo. Este calostro se analizó en el laboratorio de alimentos de la Planta Piloto de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) para obtener su composición química considerando la densidad, sólidos no grasos, grasa y proteína utilizando un analizador lácteo (Ekomilk, Milkana KAM 98-2A, Satara, Maharashtra).

Durante el periodo de lactancia se tomaron 3 muestras de heces de las crías para determinar la presencia del parasito *Eimeria* spp. (30,60 días y al destete), para relacionarse con la transferencia de inmunidad mediante la técnica de Mc Master en el Laboratorio de Parasitología Veterinaria de la UASLP. Se registró el peso de las crías al destete para obtener la ganancia de peso durante el periodo del estudio, esto para relacionarse con el desarrollo postnatal. Se realizó una evaluación del impacto económico invertido en tratamientos clínicos a las crías durante el periodo de lactancia hasta el destete.

Resultados y discusión

Contenido de Inmunoglobulinas. Nuestros resultados indican que no existe diferencia significativa entre los métodos de medición en campo de la calidad de calostro (P>.05) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Refractometría y Calostrometría

	Contenido de Inmunoglobulinas		
	Refractometro		Calostrometro
Paridad	Grados Brix	Contenido de IgG	
1	27.533	92.240	86.324
2	25.267	88.080	76.136
3	27.733	81.267	91.418
P valor	0.1225	0.1836	0.2769

El calostrómetro permite estimar la calidad de calostro con base en la relación lineal entre la concentración de inmunoglobulinas y su densidad siendo la lectura realizada en 3 clasificaciones en la concentración aproximada de inmunoglobulinas: buena (>50 mg/ml), regular (21-50 mg/ml) y baja calidad (<20 mg/ml) (Remehue, 2015). Mientras que el refractómetro tiene como principio cuantificar el haz de luz que se refracta al traspasar una muestra de líquido. Mientras mayor sea la concentración de IgG en el calostro, mayor va a ser la refracción de la trayectoria de la luz (Tools, 2012). Una posible explicación a que no se encontraron diferencias en estas mediciones entre tratamientos es debido a la escala de medición del calostrometro tiende a sobreestimar la calidad de calostro y a clasificar 2 de 3 calostros como aceptables, adicionalmente el alto contenido de grasa puede afectar la lectura del refractómetro por lo que ambas metodologías no muestran la cantidad de inmunoglobulinas exacta (Dairy Australia, 2012).

Composición química del Calostro. El calostro proveniente de vacas de tercer parto presentó un mayor contenido de proteína (P<.05; Cuadro 2), siendo diferente entre las vacas de primer paridad y las vacas de tercer paridad. Por el contrario, el calostro obtenido de vacas de primer parto presentó un mayor contenido de grasa (P<.05; Cuadro 2), siendo diferente entre las vacas de segunda y tercer paridad. Respecto a la densidad del calostro y el contenido de sólidos no grasos (SNG) no se encontró diferencia entre los tratamientos (P>.05; Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición química del calostro.

Paridad	Composición Química de Calostro			
	Proteína	Grasa	Densidad	SNG
1	4.85	5.705	48.583	13.758
2	5.4193	3.429	52.694	22.261
3	6.8460	2.893	53.731	22.261
P valor	0.0223	0.03	0.7579	0.2354

La diferencia en el contenido de proteínas puede deberse a que a medida que las vacas envejecen, quedan expuestas a más patógenos específicos del establo, lo que potencialmente aumenta la concentración de IgG en el calostro (Godden, 2008), es por eso, que desechar el calosto de las vaquillas al primer parto es una práctica común (Tyler et al., 1999). Nuestros resultados muestran que el número de parto de la vaca influye en la calidad de calostro y en la concentración de inmunoglobulinas coincidiendo con otros trabajos recientes (ej. Garcia et al., 2022). Además, el desarrollo de la glándula mamaria puede desempeñar un papel importante ya que las vacas más jóvenes pueden no estar completamente desarrolladas y el transporte de la IgG a la glándula mamaria puede estar reducido (Devery-Pocius y Larson, 1983).

Las vacas de primer parto produjeron un calostro con una concentración de grasa más alta y diferente significativamente a las vacas de segunda y tercer paridad, esto es posiblemente debido al efecto de dilución. Además, durante las primeras semanas cercanas al parto se movilizan hasta 40 kg de grasa corporal en vacas altamente productoras, lo que da como resultado una mayor proporción de ácidos grasos preformados en la leche (Bell, 1995; Gross et al., 2011; Daniel et al., 2018), por lo que también se debe considerar las diferencias entre vacas primíparas y multíparas, que tienen diferentes necesidades energéticas.

Peso al Nacimiento y Desarrollo Postnatal. Respecto al peso al nacimiento de las crías obtuvimos una diferencia altamente significativa entre los tres tratamientos (P<.001), al igual que en la altura al destete (P<.001), ganancia de peso y altura al destete (P<.05). Siendo las crías de vacas de primer paridad más ligeras al nacimiento, esto es debido a que las vaquillas deben de dividirse los nutrientes entre su propio crecimiento y el crecimiento intrauterino de la descendencia (Berry et al., 2008; Brickell et al., 2009; Funston y Summers, 2013).

Cuadro 3. Peso al nacimiento, ganancia de peso y altura al destete

Paridad	Peso (kg) y altura (cm)			
	Al nacimiento	Al destete	Ganancia al deste	Altura al destete
1	30.8	71.20	40.40	87.867
2	38.533	85.667	47.133	91.533
3	41.267	95.667	54.400	96.467
P valor	<.001	<.001	.0023	.0003

Por lo tanto, el crecimiento de las crías se ve comprometido con el peso al nacimiento, nuestros resultados difirieron entre tratamientos (P<.05) con respecto a la ganancia de peso y altura al destete. Siendo las crías del primer tratamiento de menor tamaño y peso al destete, esto influye negativamente en la edad al primer parto y en la capacidad de permanecer en el hato. El aumento de peso corporal se asocia positivamente con el peso al nacer, cuanto mayor es el peso al nacer, mayor es el peso a los 6, 9 y 15 meses de edad (Swali y Wates, 2006). Brickell y cols. (2007) informaron que las vacas con un mayor peso corporal a los 6 meses de edad tenían una edad al primer parto inferior a los 23 meses en comparación con animales con un menor peso corporal. A pesar de que las crías de primer parto tuvieron una ganancia de peso al destete menor (P<.05), el objetivo de duplicar el peso al destete (Soberon, et al., 2012) a las 8 semanas, se cumplió en todos los grupos (Cuadro 3).

Prevalencia y conteo de ooquistes de Eimeria spp. Respecto a la prevalencia de coccidia *Eimeria* spp. presente en las crías durante los tres distintos periodos (30, 60 días y al destete) no se observó diferencia significativa (P>.05), sin embargo, las crías del tercer tratamiento no presentaron infección por este parásito a los 30 días de vida (Cuadro 4). A pesar de que la coccidiosis afecta principalmente a animales jóvenes, la presencia de *Eimeria* spp. es independiente a la calidad de calostro que recibieron durante las primeras horas de vida, probablemente las inmunoglobulinas presentes en el calostro bovino no son el mecanismo principal de inmunidad contra las coccidias; se ha reportado en aves que las funciones defensivas de las células epiteliales del intestino, además de ser responsables de mantener la integridad de la barrera intestinal, son importantes reguladoras de la inmunidad innata y adaptativa, produciendo factores pro-inflamatorios y citoquinas así como expresando moléculas de histocompatibilidad para la presentación de antígenos, por lo que la distribución de éstas células inmunes es responsable de los mecanismos de inmunidad contra la coccidiosis (Yun et al., 2000).

Cuadro 4. Prevalencia de coccidiosis a los 30, 60 días y al destete.

Paridad	Coccidiosis (Ooquistes de *Eimeria spp.*)		
	30 días	60 días	Al Destete
1	180	33.30	26.7
2	73.3	270.0	183.3
3	0	336.7	10.7
P valor	.2956	.5110	.3476

Conclusiones

Concluimos que el número de parto de la vaca afectó la calidad del calostro producido. De forma similar, el peso al nacimiento, ganancia de peso y altura al destete están relacionados con el número de paridad de la madre. Respecto a la prevalencia de *Eimeria* spp., se deben realizar más estudios para relacionar la distribución de las células inmunes del intestino con la presencia del parásito.

Referencias

Bell, A. W. 1995. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. J. Anim. Sci. 73:2804–2819. https://doi.org/10.2527/1995.7392804x.

Berry, D. P., P. Lonergan, S. T. Butler, A. R. Cromie, T. Fair, F. Mossa, and A. C. O. Evans. 2008. Negative influence of high maternal milk production before and after conception on offspring survival and milk production in dairy cattle. J. Dairy Sci. 91:329–337. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2007-0438.

Brickell, J. S., N. Bourne, Z. Cheng, and D. C. Wathes. 2007. Influence of plasma IGF-I concentrations and body weight at 6 months on age at first calving in dairy heifers on commercial farms. Reprod. Domest. Anim. 42:118–119 (Abstract).

Brickell, J.S.N. Bourne, M. M. McGowan, and D.C. Wathes. 2009. Effect of growth and development during the rearing period on the subsequent fertility of nulliparous Holste-in Friesian heifers. The riogenology 72:408–416. http://dx.doi.org/1.1016/j.theriogenology. 2009.03.015.

Blum, J. W., and H. Hammon. 2000. Colostrum effects on the gastrointestinal tract, and on nutritional, endocrine and metabolic parameters in neonatal calves. Livest. Prod. Sci. 66:151–159. https: //doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00222-0

Daniel, J. B., N. C. Friggens, H. van Laar, K. L. Ingvartsen, and D. Sauvant. 2018. Modeling homeorhetic trajectories of milk com- ponent yields, body composition Dairy Australia. Tools to determine colostrum quality. 2012; 2p.

Devery-Pocius, J. E., and B. L. Larson. 1983. Age and previous lactations as factors in the amount of bovine colostral immunoglobulins. J. Dairy Sci. 66:221–226.

Faber, S.N., Faber, N.E., McCauley, T.C., Ax, R.L., 2005. Case study: effects of colostrum ingestion on lactational performance. The Professional Animal Scientist 21, 420-425.

Funston, R. N., and A. F. Summers. 2013. Effect of prenatal programming on heifer development. Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract. 29:517–536. http://dx.doi.org/10.1016/j.cvfa.2013.07.001.

García A., Navarro F., Vega D. X., Vazquez J.M., Hernández L., Rivas J., Villa Real D.M., Rosales C.A., 2022 Calidad de calostro e inmunidad pasiva en neonatos incrementa con el número de partos de la madre.

Gross, J., H. A. van Dorland, R. M. Bruckmaier, and F. J. Schwarz. 2011. Milk fatty acid profile related to energy balance in dairy cows. J. Dairy Res. 78:479–488. https://doi.org/10.1017/ S0022029911000550.

Godden, S. 2008. Colostrum management for dairy calves. Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract. 24:19–39. https://doi.org/10.1016/ j.cvfa.2007.10.005.

Lombard, J., N. Urie, F. Garry, S. Godden, J. Quigley, T. Earley- wine, S. McGuirk, D. Moore, M. Branan, M. Chamorro, G. Smith, C. Shivley, D. Catherman, D. Haines, A. J. Heinrichs, R. James, J. Maas, and K. Sterner. 2020. Consensus recommendations on calf- and herd-level passive immunity in dairy calves in the United States. J. Dairy Sci. 103:7611–7624. https://doi.org/10.3168/jds .2019-17955.

Remehue., M. C. 2015. ¿Cómo evaluar la calidad del calostro y la inmunidad de las terneras? Fonte: Engormix

Soberon, F., E. Raffrenato, R. W. Everett, and M. E. Van Amburgh. 2012. Preweaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. J. Dairy Sci. 95:783–793. https://doi .org/10.3168/jds.2011-4391.

Swali, A., and D. C. Wathes. 2006. Influence of the dam and sire on size at birth and subsequent growth, milk production and fertility in dairy heifers. Theriogenology 66:1173-1184. https://doi.org/10 .1016/j.theriogenology.2006.03.028.

Tools to determine colostrum quality. 2012. Fonte: Dairy Australia Limited: file:///Users/macbook/Downloads/tools%20to%20determine%20colostrum%20quality.pdf

Tyler, J. W., B. J. Steevens, D. E. Hostetler, J. M. Holle, and J. L. Denbigh. 1999. Colostral immunoglobulin concentrations in Hol- stein and Guernsey cows. Am. J. Vet. Res. 60:1136–1139.

Yun CH, Lillehoj HS, Lillehoj EP. 2000. Intestinal immune response to coccidiosis. Develop & Comp Immunol 24: 303-324.

RELACIÓN DE LA MICROBIOTA VAGINAL Y LA EFICIENCIA REPRODUCTIVA EN VACAS LECHERAS

Erika J. Félix-Santiago[1*], Milagros González-Hernández[1], Jorge Flores-Sánchez[2], Carlos A. Eslava-Campos[3], Ulises Hernández-Chiñas[3], Andrea García-Mendoza[1], Delia X. Vega-Manríquez[1], César A. Rosales-Nieto[1, a]

[1] Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí 78321, México. [2] Laboratorio de Especialidades Médicas, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, 78210, México. [3] Laboratorio de Patogenicidad Bacteriana de la Unidad de Investigación Básica y Clínica en Enfermedades Infecciosas. Facultad de Medicina. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuauhtémoc, 06720 CDMX. [a] Present address. Department of Agricultural Sciences. Texas State University, San Marcos, Tx 78666, USA.
*Autor de correspondencia: Erika J. Félix-Santiago (erika.fesa@gmail.com).

Introducción

La producción en un establo lechero está en función de la genética y la población de hembras productoras, ambos factores son afectados por la eficiencia reproductiva del rebaño (Fricket y Wiltbank, 2022), la cual se encuentra sujeta a variaciones por causas infecciosas, nutricionales y de manejo, atribuibles al hombre o al medio ambiente (López et al., 2003). Dentro de las causas infecciosas, las vacas son propensas a enfermedades clínicas en las dos primeras semanas después del parto (Golf y Horst, 1999; Schmitt et al., 2023). Esto es debido a que en el comienzo del parto se encuentran comprometidas las barreras físicas del cérvix, vagina y vulva, permitiendo que las bacterias ambientales asciendan dentro del lumen uterino (Bicalho, 2012), presentando alteraciones en el microbioma vaginal, y con esto inflamación endometrial en respuesta a una infección (Miranda-CasoLuengo et al., 2019). Durante esta etapa las vacas también suelen presentar bajas concentraciones séricas de glucosa, debido a un balance negativo de nutrientes (Bisinotto et al., 2018), que es ocasionado por un bajo consumo de energía y la alta producción lechera, provocando disfunción reproductiva y subfertilidad (Rosales et al., 2017), y aumentando la incidencia del síndrome de la vaca repetidora (SVR). El SVR es cuando las vacas muestran signos de estro en intervalos aparentemente normales, pero repetidamente no logran quedar gestantes después de, al menos, tres inseminaciones (Pérez y Quintela, 2023). Dicho síndrome puede ser causado por múltiples factores, entre ellos desbalances hormonales (Jaureguiberry y Sota, 2015), los cuales pueden causar una elevación en los niveles de progesterona, y a su vez, una dinámica folicular anormal, retraso en la ovulación, y menor calidad de los ovocitos (Pérez y Quintela, 2023). Las concentraciones de hormonas sexuales como la progesterona son un factor importante y pueden ser responsables de la dinámica de la microbiota vaginal a través del ciclo estral (Quereda et al., 2020). Es por ello que el objetivo de la presente investigación es relacionar los microorganismos que conforman la microbiota vaginal con la concentración de progesterona circulante, glucosa y el índice de fertilidad en vacas lecheras repetidoras y no repetidoras, bajo la hipótesis de que los microorganismos que conforman la microbiota vaginal son diferentes entre las vacas repetidoras y no repetidoras.

Materiales y Métodos

Ética animal. Los procedimientos con animales fueron revisados y aprobados por el Comité Interno para el Uso Ético de Animales en Experimentos de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, con el folio CICUAE/2023/01, de acuerdo a las normas y estándares que son requeridos por el gobierno mexicano (NOM-062-ZOO-1995).

Lugar de estudio. La toma de muestras se llevó a cabo en el establo lechero "Rincón del paraíso", ubicado en San Felipe, Guanajuato, se utilizaron 30 vacas Holstein de condición corporal y paridad similar (4ª).

Tratamientos. Los tratamientos fueron asignados conforme si las vacas presentaban síndrome de vaca repetidora (SVR), siendo las vacas que tuvieron 5 o más inseminaciones post parto (n=14) y vacas sin síndrome o control (CTL) con 4 inseminaciones o menos post parto (n=16).

Muestra vaginal. Al momento de la inseminación se obtuvo una muestra de la mucosa vaginal de cada vaca con un hisopo vaginal desechable y estéril (MINITUBE®). Las muestras se introdujeron en un medio de transporte adecuado para preservar la muestra y fueron sembradas posteriormente en agar sangre y Mc Conkey, incubándose durante 24 y 48 horas a 37°C en condiciones de aerobiosis y microaerobiosis. Las colonias aisladas fueron identificadas mediante tinción de Gram y pruebas bioquímicas específicas para determinar el género y la especie de las bacterias.

Muestras sanguíneas. Las muestras de sangre fueron obtenidas el día de la inseminación, al día 5 y posteriormente cada dos días durante 14 días de la vena coccígea de cada vaca con tubos vacutainer de 7 ml. Posteriormente se centrifugaron para separar el suero a 3500 rpm durante 10 minutos y se almacenaron a -80 °C para luego medir las concentraciones de glucosa mediante el método turbidimétrico y progesterona mediante quimioluminiscencia.

Análisis Estadístico. Se utilizó estadística descriptiva para analizar los resultados de las cepas bacterianas encontradas. Se realizaron análisis de medidas repetidas Proc Mixed (SAS, 2010) para medir las concentraciones de P4 y Glucosa. La fertilidad (gestantes *vs* no gestantes) se analizó mediante Proc GLIMMIX con una distribución binomial (SAS, 2010). Las bacterias encontradas se agregaron en el análisis como co-variables. En ambos análisis, el efecto fijo fue tratamiento.

Resultados y discusión

Eficiencia Reproductiva. La tasa de fertilidad fue estadísticamente diferente entre tratamientos ($P < 0.05$), quedando gestantes 14 de las 16 vacas del tratamiento CTL comparadas con 8 gestantes de 14 para el tratamiento SVR. El número de intentos para quedar gestantes también fue diferente entre los tratamientos siendo un promedio de 6.7 para las vacas SVR vs 2.5 para las vacas CTL ($P < 0.01$).

Microbiota Vaginal. Se obtuvieron diferencias entre microbiota presente en vacas SVR y vacas CTL, mostrando una mayor prevalencia de *Staphylococcus hyicus* en el grupo SVR, por el contrario, se obtuvo mayor prevalencia de *Escherichia coli* en el grupo CTL (ambas con diferencia significativa $P < 0.05$). Los géneros bacterianos más aislados fueron *E. coli* (56.7% SVR, 42.8% CTL) *Bacillus* (28.5% SVR, 37.8% CTL) y *Staphylococcus* coagulasa positiva (28.5% SVR, 31.5% CTL). Los géneros *Klebsiella* y *Shigella* estuvieron presentes solamente en las vacas SVR, sin embargo, la diferencia no fue estadísticamente significativa ($P > 0.05$; Fig. 1).

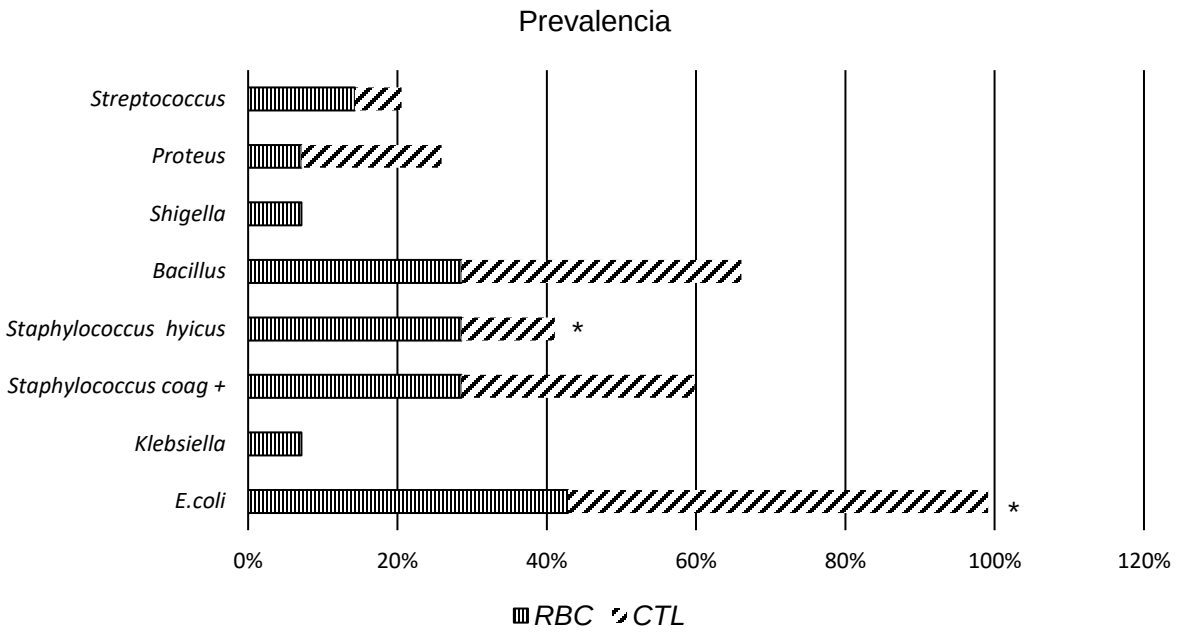


Figura 1. Comparación de la prevalencia de bacterias que presentaron síndrome de vaca repetidora SVR y las que no lo presentaron CTL.

Progesterona. La progesterona circulante no difirió entre tratamientos SVR Y CTL (P > 0.05). Como se muestra en el cuadro 1, los resultados fueron muy similares, con un promedio mínimo al día de la inseminación de 0.35 ng/mL para el tratamiento SVR y 0.25 ng/mL para el tratamiento CTL y mantuvieron un ascenso constante conforme pasaron los días post inseminación, alcanzando un promedio máximo de 5.25 y 4.98 ng/mL al día 14 para el tratamiento SVR y CTL respectivamente.

Glucosa. La glucosa circulante promedio fue de 66.11 y 66.91 mg/dL para los tratamientos SVR y CTL respectivamente, con un valor promedio mínimo de 60.71 y máximo de 69.35 mg/dL para el tratamiento SVR y un valor promedio mínimo 64.29 y máximo de 70.29 mg/dL para el tratamiento CTL. Se observó una ligera disminución para el tratamiento SVR al día 9 post inseminación, sin embargo, las concentraciones no difirieron estadísticamente entre tratamientos SVR y CTL (P > 0.05; Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentraciones de Progesterona y Glucosa en las vacas estudiadas.

	SVR	CTL	Std. Error	Valor P
Progesterona (ng/mL)	3.24	3.18	0.57	>0.05
Glucosa (ng/mL)	66.11	66.91	0.03	>0.05

Se muestra los valores mínimos, máximos y el promedio de las concentraciones entre los 2 tratamientos SVR y CTL.

Los géneros bacterianos encontrados coinciden con el trabajo de Moore y colaboradores (2023) quienes encontraron mayor abundancia de *Escherichia coli* en vacas sanas, comparadas con vacas multíparas que presentaban descarga vaginal purulenta asociada a enfermedades inflamatorias post parto. *E. coli* es considerada comensal de la microbiota intestinal sin embargo, es una bacteria muy versátil, lo que permite que existan cepas que debido a mecanismos de intercambio de material genético han adquirido la capacidad de ocasionar infecciones (Vega et al., 2022).

En el caso de *Staphylococcus hyicus* fue aislada por Boscán y colaboradores (2010) en vacas criollo limonero, sin embargo, a diferencia de esta investigación encontraron mayor prevalencia de esta especie en vacas sanas. Se puede proponer que este género bacteriano se encuentra en vagina de vacas con patología y sanas, aunque no es todavía muy claro su papel. Los géneros encontrados con mayor frecuencia en esta investigación coinciden con lo encontrado por Ballas y col (2021) quienes también describen a *Bacillus y Staphylococcus* como los géneros con mayor prevalencia al momento de la inseminación en vacas Holstein con descarga vaginal purulenta, asociada a enfermedades posparto y vacas sanas.

La ligera disminución de la glucosa al día 9 post inseminación puede deberse a que el equilibrio negativo de nutrientes reduce la función de los folículos preovulatorios en la producción de estradiol, lo que a su vez suprime la secreción pulsátil de LH y reduce la respuesta ovárica a la estimulación de LH, lo que resulta en una interferencia de la ovulación, según lo observado por Widayati y colaboradores (2018) y una consecuente repetición de celo.

En cuanto a la similitud en las concentraciones de P4 en ambos tratamientos coincide con los resultados de la investigación realizada por Ault y colaboradores (2019). Lo que indica que en esta investigación la diversidad bacteriana, así como que presenten SVR o no, puede estar mediado por otros factores como el manejo o la alimentación (Pérez y Quintela, 2023) sin embargo, no se puede afirmar que la P4 tenga ninguna relación con la dinámica de la microbiota vaginal, ya que hay estudios que confirman el cambio a través del ciclo estral, probablemente debido a la influencia de hormonas sexuales, (Otero 1999 et al., 199; Quereda et al., 2020).

En este estudio, se midió solamente P4, sería interesante observar en un futuro concentraciones de otras hormonas sexuales y ver si existe alguna correlación con las bacterias que se han encontrado presentes en vacas repetidoras

Conclusiones

Se concluye que *Escherichia coli* tuvo mayor incidencia en vacas CTL y las vacas SVR tuvieron mayor incidencia de *Staphylococcus hyicus.* Este estudio sugiere que la microbiota vaginal en vacas lecheras puede cambiar de acuerdo a si son repetidoras o no repetidoras sin embargo, se necesitan más investigaciones para confirmar si la misma variación se encuentra presente en vacas con diferente paridad y estados reproductivos, además de abrir la puerta a investigaciones sobre el papel de comensalismo o patogenicidad de especies como *Escherichia coli.*

Agradecimientos

Agradecemos al CONAHCYT por la beca nacional brindada para el estudio de posgrado, así como el valioso apoyo de los Laboratorios de Especialidades Médicas de la Facultad de Medicina, UASLP y el Laboratorio de Patogenicidad Bacteriana ubicado en la Unidad de Hemato-Oncología e Investigación del Hospital Infantil de México Federico Gómez en convenio con la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México. Así mismo reconocemos al establo “Rincón del Paraíso” por permitirnos llevar a cabo el muestreo para esta investigación.

Referencias

Ault T., Clemmons B., Reese S., Dantas F., Franco G., Smith T., Edwards J., Myer P. y Pohler K. (2019). *Journal of Animal Science*, 4298-4304. doi:10.1093/jas/skz210.

Ballas, P., Reinländer, U., Schlegl, R., Ehling-Schulz, M., Drillich, M., & Wagener, K. (2021). Characterization of intrauterine cultivable aerobic microbiota at the time of insemination in dairy cows with and without mild endometritis. Theriogenology, 159, 28-34.

Bicalho, R. (2012). La microbiota uterina al posparto. *XL Jornadas Uruguayas de Buiatría*. 106-114.

Bisinotto, R. S., Greco, L. F., Ribeiro, E. S., Martinez, N., Lima, F. S., Staples, C. R., ... & Santos, J. E. P. (2018). Influences of nutrition and metabolism on fertility of dairy cows. Animal Reproduction (AR), 9(3), 260-272.

Boscán Ocando, J., Zambrano Nava, S., Nava, J., & Portillo Martínez, G. (2010). Perfil de la flora bacteriana vaginal: Un riesgo potencial para la reproducción de vacas criollo limonero. Revista Científica, 20(3), 227-234.

Fricket, P. M., & Wiltbank, M. C. (2022). Symposium review: the implications of spontaneous versus synchronized ovulations on the reproductive performance of lactating dairy cows. *Journal of Dary Science. 105(*5). https://doi.org/10.3168/jds.2021-21431.

Jaureguiberry, M., Madoz, L. V., & Sota, R. L. D. L. (2015). Actualización en el síndrome de vaca repetidora. *Taurus*.

López, O., Lamela, L., & Sánchez, T. (2003). Diagnóstico de la eficiencia reproductiva de los rebaños lecheros y factores que la afectan. *Pastos y Forrajes. 26*(1).

Miranda-CasoLuengo, R., Lu, J., Williams, E. J., Miranda-CasoLuengo, A. A., Carrington, S. D., Evans, A. C., & Meijer, W. G. (2019). Delayed differentiation of vaginal and uterine microbiomes in dairy cows developing postpartum endometritis. *PLoS ONE. 14(1).* Artículo e0200974. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200974.

Moore, S. G., Feehily, C., Doyle, R. C., Buckley, F., Lonergan, P., Cotter, P. D., & Butler, S. T. (2023). Associations between the postpartum uterine and vaginal microbiota and the subsequent development of purulent vaginal discharge vary with dairy cow breed and parity. Journal of Dairy Science, 106(11), 8133-8151.

Pérez-Marín, C. C., y Quintela, L. A. (2023). Current insights in the repeat breeder cow syndrome. Animals, 13(13), 2187. https://doi.org/10.3390/ani13132187

Quereda, J. J., Barba, M., Mocé, M. L., Gomis, J., Jiménez-Trigos, E., García-Muñoz, Á., Gómez-Martín, Á., González-Torres, P., Carbonetto, B., & García-Roselló, E. (2020). Vaginal microbiota changes during estrous cycle in dairy heifers. *Frontiers in Veterinary Science. 7:*371. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00371.

Rosales, C., Chamba-Ochoa, H., Chávez, R., Pesántez, M., & Benítez, E. (2017). Niveles de insulina y glucosa como indicadores de eficiencia reproductiva y productiva en vacas posparto. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, *18*(3), 1-10.

Schmitt, R., Pieper, L., Borchardt, S., Swinkels, J., Gelfert, C., & Staufenbiel, R. (2023). Effects to a single transdermal administration of flunixin meglumine in early postpartum Holstein Friesian dairy cows: part 2. Milk yield, culling risk, and reproductive performance. *Journal of Dairy Science. 106(*1). https://doi.org/10.3168/jds.2022-21995.

Vega, M., X., Hernández, F., O., Pinos, R., J. M., Martínez, B., C., Hernández, C., U., & Eslava, C., C. (2022). Estudio de la biota de ratas de bioterio: caracterización de Escherichia coli comensal. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, *33*(2).

Widayati, D. T., Bintara, S., Natawihardja, I., & Maharani, D. (2018). Blood Biochemical Profile in Fertile and Repeat Breeder Ongole Cross Breed Cows. Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS, 21(4), 166-170. https://doi.org/10.3923/pjbs.2018.166.170.

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL KALANCHOE (*Bryophyllium daigremontiana*) PARA SU USO COMO ADITIVO NUTRICIONAL PARA CABRAS

Miguel A. Medina-Tenorio[1*], Luisa E.S. Hernández-Arteaga[1], Hiram J. Ojeda-Galván[3], Gregorio Álvarez-Fuentes[4], Samuel López-Aguirre[5], César A. Rosales-Nieto[1,a]

[1]Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Autónoma San Luis Potosí, San Luis Potosí 78321, México. [2]Centro de Investigación en Ciencias de la Salud y Biomedicina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, San Luis Potosí 78210, México. [3]Instituto de Investigación en Zonas Desérticas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, San Luis Potosí 78210, México. [4]Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana, Veracruz, Veracruz, 91710, México. [a]Present address. Department of Agricultural Sciences. Texas State University, San Marcos, Tx 78666, USA. *Correspondencia: Miguel A. Medina-Tenorio (miguel230195@gmail.com)

Introducción

Según el Sistema de información Agroalimentario y Pesquero (2024), desde el año 2023 México contaba con una producción de carne de caprino de 41 mil 34 toneladas y una producción de 163 mil 648 litros de leche desde el año 2020. La producción se da mayormente en regiones áridas y semiáridas y se asocia en su mayoría al sector de la población rural con menores ingresos económicos. Sin embargo, la producción registrada en las estadísticas mostradas no alcanza a cubrir la demanda nacional e internacional. Esto es debido a que los ecosistemas en donde se desarrollan las cabras se caracterizan por tener una vegetación con valor nutritivo variable a lo largo del año (Mellado et al., 2020; 2022; García-Monjaras et al., 2021), lo que reduce los parámetros productivos (Mellado et al., 2020). De tal manera que es de vital importancia encontrar formas de lograr un mayor rendimiento, sin necesidad de generar una elevación de los costos de producción y logrando un mayor aprovechamiento de los recursos disponibles.

Bryophyllium daigremontiana, o conocida como espinazo del diablo, mala madre, o madre de miles, es una planta de tipo vascular originaria de Madagascar del género kalanchoe y es catalogada como especie invasiva en zonas desérticas en distintos países. (Puertas et al., 2014). México no es la excepción en el crecimiento y distribución de la planta sobre todo en regiones semidesérticas con un crecimiento generalmente abundante. Estudios in vitro en esta planta evidencian sus propiedades antihelmínticas y antibacterianas (Rivero et al., 2022). Estudios realizados en ratas concluyeron que tiene propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Quintero et al., 2021) siendo además una planta prometedora para prevenir el daño hepático (Madariaga et al., 2021). Posteriormente Torres (2020) demostró el uso de la planta como aditivo en pollos de engorda para promover el crecimiento. Sin embargo, se ha reportado que la planta puede ser considerada toxica debido a que contiene glucósidos cardiacos principalmente Lanceotoxina A (Smith, 2004; Patel, 2016). Se ha reportado que las flores son las que contienen mayor concentración de toxinas (Bonil, 2016). En bovinos se ha reportado que causa cotiledonitis (retención de placenta posparto) y en pequeños rumiantes afección al sistema nervioso y muscular (Martínez & Martínez, 2018). De tal manera que urge la necesidad de determinar si la planta puede ser utilizada como un suplemento alimenticio para las zonas áridas y semiáridas de México y el mundo e incorporarla en la alimentación animal para incrementar la eficiencia productiva y reproductiva.

El ganado caprino es predominante en las zonas áridas y semiáridas del mundo por su fácil capacidad de adaptación y San Luis Potosí no es la excepción. El clima de San Luis Potosí es ideal para promover el crecimiento de esta planta debido a su capacidad de cambiar las condiciones del suelo (Herrera et al., 2011) y por el sobreapacentamiento de algunas regiones que genera cierta erosión en el suelo (Negrete et al., 2016).

Esto genera el interés de evaluarla como aditivo para la alimentación en cabras, ya que son el tipo de ganado del cual se puede obtener un buen aprovechamiento en la zona, además de analizar la concentración en la cual se debe agregar la planta a la alimentación y los efectos que pudiera tener en condiciones extensivas.

Sin embargo, no hay información al respecto sobre la composición química completa de esta planta, por lo cual se desconoce la totalidad de los compuestos tóxicos. Es necesario realizar las evaluaciones antes de su utilización en la alimentación animal. El propósito de este trabajo es determinar las caracterización fisicoquímica de la planta en la región potosina implementando nuevas tecnologías como lo son la espectroscopia de Raman que favorece la obtención de resultados con mayor rapidez, ya que comprende el uso de los efectos de absorción, emisión o dispersión de radiación electromagnética por un material con el objetivo de estudiar cualitativa o cuantitativamente la materia (Gutierrez & Otero 2014), generando análisis con mucha mayor rapidez que con otras técnicas (Cialla et al., 2022), así como su análisis bromatológico para valorar su cualidades nutrimentales y así poder explorar su potencial uso como como aditivo de la dieta en diferentes etapas de crecimiento y desarrollo en ganado caprino.

Materiales y métodos

Legislación. En cuanto al marco legal se tomará como referencia el Convenio sobre Diversidad Biológica, CDB, firmado en 1992 durante la Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo, base legal para la distribución de beneficios que resulten del uso de la diversidad biológica y de su conocimiento asociado.

Lugar de estudio. La investigación se realizó en la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. El clima que predomina en la zona es el seco y semiseco, la temperatura media anual es de 21°C y la temperatura mínima promedio es de 8.4°C.

Método empleado en la presente investigación. El método empleado fue el método empírico ya que se utilizan métodos, procedimientos y técnicas de recolección de datos, en este caso en específico, la obtención de valores en cuanto a sus características bromatológicas.

Muestras y procesamiento. La muestra utilizada para los análisis proviene de tallos y hojas de *Kalanchoe daigremontiana* obtenidos y procesados con ayuda del Instituto de investigación de Zonas desérticas, una vez colectada la planta fue pesada, para después ser sometida a desecadas a 60°C durante 48 h en estufa de ventilación natural realizando una incisión longitudinal a cada tallo para facilitar la perdida de humedad. Antes y al término del proceso de secado las muestras fueron pesadas y registrado el valor obtenido, con lo cual se pudo determinar la humedad de la planta, una vez realizado este proceso, se molieron finamente en un molino, proceso que facilita su manejo (Díaz, 2017).

Estudio bromatológico. Se realizó en base a muestra seca, el cual se llevó a cabo en la facultad de ciencias químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. El estudio determino el contenido de proteína bruta (PB), cenizas (Ce) extracto etéreo (EE), carbohidratos (C) con los métodos descritos por la AOAC (2019), fibras, según Van Soest et al. (1991). El equipo utilizado fue la estufa de aire, Mufla, Balanza Analítica, y microkjendahal.

Raman. Adicionalmente se realizó un estudio de espectroscopía de RAMAN para obtener la composición de las muestras analizadas (Gutiérrez et al., 2015). Además de las ventajas de diferenciar estructuras químicas, permitir las variaciones en la cantidad de la muestra a analizar sin verse afectado el resultado, y al ser las bandas Raman resultados directo de las vibraciones moleculares es muy sensible a cambios diminutos en la estructura de la muestra, además, las muestras pueden ser soluciones acuosas y, a excepción de los metales puros, cualquier material puede ser caracterizado bajo este tipo de espectroscopía (Saucedo, 2018).

Resultados

Estudio bromatológico. El cuadro 1 muestra el estudio bromatológico de *Kalanchoe daigremontiana*. El porcentaje de extracto etéreo en términos de energía tiene relevancia debido a que esto nos indica la cantidad de lípidos disponibles dentro de *Kalanchoe daigremontiana*.

Cuadro 1. Nutrientes obtenidos a través del estudio bromatológico

Nutrientes	% obtenido en la planta
Humedad	82.86
Cenizas	16.36
Carbohidratos	18.87
Proteína	6.58
Fibra	22.9
Extracto Etéreo	1.97

Espectroscopia de Raman. En la Figura 1 se muestra el resultado obtenido de la muestra al utilizar la espectroscopia Raman en la cual se nos muestra una señal emitida por la planta con concordancia a la señal que emite la celulosa, además de esta señal se obtuvieron algunas más las cuales cuentan con similitudes con señales de carotenos, sin mostrar alguna señal que concordara con un compuesto toxico, tomando esta consideración, se puede abogar por la seguridad de la planta, pero aun así es necesario continuar con más estudios.

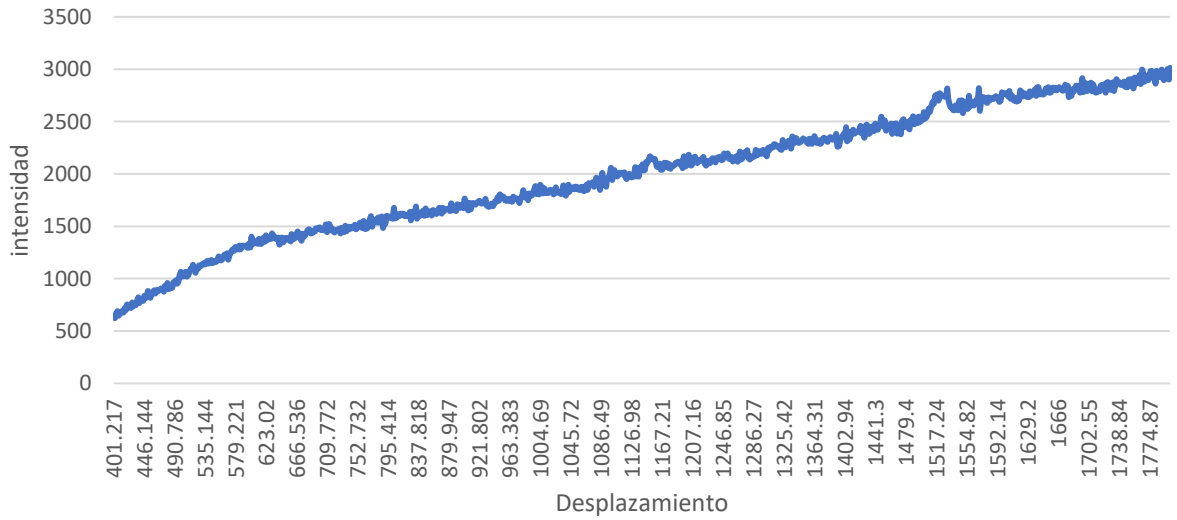


Figura1. Primera señal detectable a través de espectroscopia de Raman concordante con la señal emitida por la celulosa.

Discusión

En este estudio piloto, se determinó las propiedades bromatológicas de *Kalanchoe daigremontiana*. En base a los resultados podemos indicar que el aporte nutricional de carbohidratos está dentro de niveles de 18.87%, similar al aporte ofrecido por el silo de sorgo que es de 18.3% y mayor a la contenida en rastrojos de 7.7% aunque menor al silo de maíz que cuenta con un 27.8% (Nuñez et al., 2014). De igual manera, la proteína se encuentra en niveles de 6.58%, los cuales son superiores a los ofrecidos por rastrojos, los cuales suelen tener 5.2% aunque menores a los silos de maíz y sorgo que cuentan con 10.5 y 8.1% respectivamente, situación similar a la fibra la cual se encontró en un 22.9%, mientras que en forrajes como la alfalfa en paca cuenta con un 25.39%, al igual que el extracto etéreo que se valoró en un 1.97% cuando en la alfalfa en heno con un 16% de proteína el extracto etéreo solo alcanzo el 1.33% (Nuñez et al., 2014, Anrique et al., 2014), corroborando esta información que *K. daigremontiana* tiene valores nutricionales aceptables en comparación con algunos forrajes.

Podemos especular que la planta tiene un aporte nutricional aceptable que puede utilizarse en etapas precisas como son la concepción y gestación. Sin embargo, su verdadero impacto radicaría en los compuestos secundarios que generan su acción antibacteriana y antihelmíntica (Rivero et al., 2022), así como los efectos sobre el funcionamiento hepático (Madariaga et al., 2021) generando un mejor aprovechamiento de la ración ofrecida. Sin embargo, toda esta información no ha sido generada y se necesita más investigación al respecto.

En la realización de este estudio se enfrentaron diversos retos, debido a que el equipo necesita que el material analizado tenga reacción con el haz de luz que se centra en el mismo, para poder generar información a través de la luz dispersada (Gutiérrez & Otero 2014), pero al realizar esta operación con la muestra seca pulverizada el espectroscopio no genero información, al igual que la muestra en solvente, el cual fue acetona. La única muestra que genero una señal detectable fue la muestra fresca cortada en pequeños cubos para evitar el movimiento por desecación, tanto de tallos y hojas, colocados sobre un portaobjetos sin ningún medio de sujeción, dando como resultado la presencia de una señal similar a la celulosa, que es un azúcar estructural, y posteriormente señales que presentan similitudes con carotenoides, información que no genera indicios de compuestos que presenten peligro para su incorporación en la alimentación, considerando aun asi la realización de más estudios para complementar la información obtenida.. La información sobre esta planta en estudio es limitada y con consideraciones reducidas con respecto a compuestos secundarios y propiedades bromatológicas de la misma (Costa et al 2008; Kolodziejczyk et al., 2018). Por lo tanto, el presente es de suma relevancia ya que no ha revelado la presencia de algún metabolito tóxicos y genera información aprovechable a futuro al mencionarnos sus capacidades nutrimentales.

Conclusiones

Se concluye que *k. daigremontiana* tiene propiedades bromatológicas considerables mientras que con respecto a sus cualidades químicas, no se encontró alguno compuesto toxico que tenga relevancia, considerando aun así, que se necesita más información para elucidar si la incorporación de esta planta en la dieta de los animales no causa toxicidad, por lo cual un objetivo a futuro es ampliar la búsqueda mediante espectroscopia de Raman de los compuestos que tienen efectos tóxicos, asimismo lograr encontrar las dosis que puedan generar dicho efecto toxico, cuidando la seguridad del ganado, asimismo como la realización de un estudio de cromatografía de Gases-Masas, para ampliar la información obtenida.

Este trabajo abre la puerta a un acercamiento en la caracterización de metabolitos de *k. daigremontiana* aplicables a la nutrición animal en general, pero también dirige el trabajo a estudios que demuestren sus aportes para un mejor aprovechamiento de los recursos nativos en explotaciones rurales, principalmente en el aspecto económico así como la incorporación de nuevas tecnologías como lo son la espectroscopia de Raman, para poder expandir el abanico de opciones a la hora de elegir métodos que nos puedan ofrecer resultados rápidos y confiables.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los estudiantes de la Facultad de Agronomía y Veterinaria por su contribución en la obtención de datos durante el desarrollo experimental.

Referencias

Alarcón-Lavín, R.R. (2011). La Biopiratería De Los Recursos De La Medicina Indígena Tradicional En El Estado Chiapas, México—El Caso Icbg-Maya—. Revista Pueblos y fronteras digital.

Andrade-Montemayor H. M. (2017). Producción De Caprino En México. Viii Foro Nacional Del Caprino.

Anrique-G., R., Molina-S., X., Alfaro, M., Saldaña-P., R. (2014). Composición de Alimentos para Ganado Bovino. Consorcio Lechero, La cadena Láctea de Chile.

Cardozo-Pinzón, J.S., Gómez-Barrera, M. (2018). Contribución al estudio fitoquímico del extracto etanólico de las hojas de *Kalanchoe daigremontiana* Raym. -Hamet & H. Perrier. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas.

García-Monjaras, S., Santos-Díaz, R.E., Flores-Najera, M.J., Cuevas-Reyes, V., Meza-Herrera, C.A., Mellado, M., Chay-Canul, A.J., Rosales-Nieto, C.A. (2021). Diet selected by goats on xerophytic shrubland with different milk yield potential. Journal of Arid Environments 186, 104429.

Herrera, I., Chacón, N., Flores, S., Benzo, D., Martínez, J., García, B., Hernández-Rosas, J.I. (2011). La Planta Exótica *Kalanchoe Daigremontiana* Incrementa El Reservorio Y Flujo De Carbono En El Suelo. Revista interciencia.

Kolodziejczyk-Czepas, J., Pasiński, B., Ponczek, M.B., Moniuszko-Szajwaj, B., Kowalczyk, M., Pecio, L., Nowak, P., Stochmal, A. (2018). Bufadienolides from *Kalanchoe daigremontiana* modulate the enzymatic activity of plasmin - In vitro and in silico analyses. International Journal of Biological Macromolecules. Editorial Elsevier.

Madariaga-Navarrete, A., Aquino-Torres, E., Cariño-Cortés, R., Villagómez-Ibarra, R., Ocampo-López, J., Sharma, A., Hernández-Fuentes, A.D. (2021). *Kalanchoe daigremontiana*: Propiedades Funcionales Y Efectos Histopatológicos En Ratas Wistar Bajo Dieta Inductora De Hiperglucemia. Revista india de educación e investigación farmacéutica.

Mellado, M., Rodríguez, I.J., Alvarado-Espino, A., Véliz, F.G., Mellado, J., García, J.E. (2020). Short communication: reproductive response to concentrate supplementation of mixed-breed goats on rangeland. Tropical Animal Health and Production 52, 2737-2741.

Mellado, M., Véliz, F.G., Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., García, J.E., Rosales-Nieto, C.A. (2022). Effect of breed and management practices on reproductive and milking performance of rangeland goats. Tropical Animal Health and Production 54, 193.

Negrete-Sánchez, L.O., Aguirre-Rivera, Pinos-Rodríguez, J.M., Reyes-Hernández, H. (2016). Beneficio De La Parcelación De Los Agostaderos Comunales Del Ejido “El Castañón”, Municipio Catorce, San Luis Potosí: 1993-2013. Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia 50: 511-532.

Núñez-Hernández, G., Rodríguez-Hernández, K., Granados-Niño, J.A., Anaya-Salgado, A., y Figueroa-Viramontes, U. (2014). Calidad Nutricional Y Utilización De Forrajes En Explotaciones Lecheras En La Región Lagunera. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Ojito-Ramos, K., Portal, O. (2017). Metabolitos Secundarios de las Plantas. Editorial Académica Española.

Puertas-Mejía, M.A., Tobón-Gallego, J., Arango, V. (2014). *Kalanchoe daigremontiana* Raym.-Hamet. & H. y su potencial uso como fuente de antioxidantes y colorantes naturales. Revista Cubana de Plantas Medicinales

Quintero, E.J., Guerrero de León, E., Morán-Pinzón, J., Mero, A., León, E., Patiño-Cano, L. (2021). Evaluación de los Extractos de Hojas de Kalanchoe Pinnatan y *Kalanchoe Daigremontiana* Química, Actividad Antioxidante y Antiinflamatoria. Revista Europea de Plantas Medicinales.

Rivero-Pérez, N., Prieto-Méndez, J., Hernández-Fuentes, A., Zaragoza-Bastida, A., Madariaga-Navarrete, A. (2021). Efecto antihelmíntico y antibacteriano in vitro del extracto hidroalcohólico de hojas y tallos de *Kalanchoe daigremontiana*. Abanico Veterinario.

Saucedo-Orozco, B. (2018). Fundamentos De La Espectroscopía Raman Heterodina. Centro de Investigaciones en Óptica, A.C.

Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (nube.siap.gob.mx/avance_pecuario/)

Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (Diciembre__cabrito__2018_.pdf (www.gob.mx))/ Boletín de exportaciones Carne de cabrito.

EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON PROPIONATO DE SODIO (PrNa) EN OVEJAS GESTANTES DORPER Y SU IMPACTO EN EL DESARROLLO RUMINAL EN CORDEROS

Luis F. Pérez-Segura [1*], Héctor A. Lee-Rangel [1], Gregorio Álvarez-Fuentes [2], José A. Roque-Jiménez [3]

[1] Facultad de Agronomía y Veterinaria UASLP, San Luis Potosí, México. [2] Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, UASLP, San Luis Potosí, México. [3] Instituto de Ciencias Agrícolas, UABC, Baja California México *Autor de correspondencia: lpsyc95@hotmail.com

Introducción

En la actualidad los sistemas ganaderos altamente productivos, enfocándonos en el engorde de corderos es más frecuente hoy en día, dichos sistemas de producción requieren dietas de alta densidad energética las cuales se obtienen a través de grandes cantidades de granos de cereales. Es bien sabido la importancia de una nutrición adecuada durante el periodo de vida de los rumiantes sin embargo voltear la vista a la nutrición materna, resulta también un panorama interesante de explorar ya que es un determinante del subsiguiente crecimiento y desarrollo fetal, provocando que cualquier cambio en el régimen de alimentación temprana y nutrición puedan influir en el desarrollo del rumen, y a su vez, conducir a efectos duraderos posteriores en crecimiento, salud y rendimiento de producción, de esta manera contemplar otras fuentes de alimentos para potenciar el consumo de energía resulta cada vez más primordial, dichas razones han llevado al uso de precursores de glucosa como opciones alternativas en las que destaca productos como el glicerol, el propilenglicol o el propionato de calcio y sodio alzándose para reemplazar parcialmente el grano (Huntington, 1997; Galyean, Perino y Duff, 1999; Lawrence et al ., 2008; FAO, 2019; Diao, Zhang y Fu, 2019; Wang et al., 2020; Gubbels et al., 2021). El objetivo de este estudio fue analizar el efecto de la suplementación materna con PrNa en el primer tercio de gestación en ovejas gestantes sobre el desarrollo ruminal, de la progenie e identificar mecanismos del por qué el PrNa Influye en el desarrollo ruminal.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en granja de producción ovina comercial ubicada en el municipio de Rioverde, San Luis Potosí, México. Se utilizó un diseño completamente al azar. Con cuatro grupos (n=8), tres de tratamiento, gestación (G), creep feeding (CF), gestación- creep feeding (G-CF) y un control (C) los tres grupos de tratamiento contenían 10% de PrNa en 300 gr de concentrado. Se tomaron variable de peso de los corderos al nacimiento y al destete, así como también se evaluó la ganancia diaria de peso y peso de la canal. Posteriormente a los dos meses de edad los corderos fueron sacrificados y se tomaron muestras de tejido ruminal las cuales se hicieron análisis morfométricos e histomorfométricos para medir las variables de longitud de las papilas (LP), el ancho de las papilas (AP). Finalmente, los datos obtenidos fueron analizados mediante el programa estadístico minitab 19, utilizando la prueba ANOVA de un solo factor, donde se determinó la existencia de diferencias significativas entre medias de los grupos con valor menor a 0.05, para cada una de las variables analizadas.

Resultados y discusión

Parámetros productivos de corderos

Cuadro 1. Medias de los pesos de los corderos en los distintos grupos analizados, peso de la canal y ganancia diaria de peso. Error estándar de la media y significancia entre grupos.

	Control	G	CF	G-CF	EE
Peso al nacimiento (kg)	3.05714^{c}	3.58571^{a}	3.2625^{b}	3.56667^{ab}	0.0508
Peso al destete (kg)	10.5714^{b}	13.5286^{ab}	11.625^{b}	15.35^{a}	0.512
Ganancia diaria de peso (g)	124.571^{b}	165.476^{ab}	139.375^{b}	196.389^{a}	8.04
Peso canal (kg)	4.66^{a}	6.1^{a}	4.1^{a}	6.6^{a}	0.524

El comportamiento en corderos post-destete se muestra en el cuadro 1, se detectaron diferencias en peso. Los corderos del tratamiento G y G-CF tuvieron pesos mayores al nacer ($P \leq 0.05$) que los de otros tratamientos. Por otro lado, los corderos del C y CF fueron más livianos ($P \leq 0.05$) al destete que los otros grupos, observándose corderos de mayor peso en los grupos G y G-CF. Respecto a la GDP se observó la misma tendencia obteniendo mejores resultados de los corderos del grupo G-CF que los otros grupos siendo el grupo control el de menores resultados. Dentro de la variable peso de la canal no se observaron diferencias significativas, sin embargo, los pesos mayores correspondieron a los grupos G y G-CF ($P \leq 0.05$) y el de menor peso para el grupo CF.

Hablando específicamente de corderos, varios estudios han evaluado los diferentes efectos de la inclusión del propionato en la dieta tanto en el rendimiento de crecimiento, así como también lo que concierne a parámetros de fermentación ruminal abarcando incluso dosis entre otros factores. Diferentes estudios donde se investigan efectos del propionato sobre las variables productivas han reportado que no existen diferencias significativas en peso, GDP y peso de la canal, sin embargo, si se han observado cambios en la calidad y composición de la carne difiriendo con lo encontrado en este trabajo (Zhang et al., 2015; Cifuentes-López et al., 2018; Cifuentes-López et al., 2021; Pérez-Segura et al., 2023).

Por otra parte, existen trabajos en los cuales los resultados concuerdan con lo encontrado en este trabajo, reportando diferencia significativa en variables productivas como GDP, peso canal y los pesos al destete. A pesar de tener resultados contrastantes el uso de propionato en las dietas resulta una opción viable e interesante para los productores ya que puede traer beneficios no solo en rendimiento si no también en calidad de los productos finales (Larson et al., 2009; Paradis et al., 2017; Brochine et al., 2022)

Desarrollo de papilas ruminales de corderos

Cuadro 2. Medias del largo y ancho de papilas ruminales de los corderos en los distintos grupos analizados. Error estándar de la media y significancia entre grupos

	Control	G	CF	G-CF	EE
LP (um)	795.83^{c}	1121.21^{b}	833.8^{bc}	1461.69^{a}	47.4
AP (um)	361.033^{ab}	359.485^{ab}	411.433^{a}	353.719^{b}	7.45

En cuanto al desarrollo de las papilas, en el cuadro 2 podemos observar medias más altas en los grupos suplementados con respecto al grupo control para LP, el grupo que obtuvo mayor desarrollo fue el de G-CF, y el más bajo fue el grupo control. por otro lado, respecto al AP se observó una tendencia diferente obteniendo mayor media el grupo CF y menor media grupo G-CF incluso por debajo del grupo control, en ambas variables se observó significancia menor a 0.05. Diversos autores han reportado que la suplementación con propionato y sal de butirato promueven el crecimiento del epitelio del rumen posterior al nacimiento. De acuerdo a lo reportado se han obtenido resultados positivos en cuanto al largo de las papilas concordando con lo obtenido en nuestro trabajo sin embargo la mayoría de los estudios publicados se centran en el desarrollo de los órganos del rumen, los parámetros de fermentación del rumen, todo posterior al nacimiento dejando de lado la etapa de gestación poco estudiada, dando hincapié a la ventana para evaluar los posibles efectos de estos aditivos a su vez asociándolo al potencial efecto epigenético que puede generar al sistema digestivo de la progenie(Zhang et al., 2015; Zhang et al., 2018).

No es desconocido que el ambiente en el que se desarrolla el feto y después del nacimiento afectan su desempeño tanto productivo como el desarrollo en la etapa adulta. Lo mencionado anteriormente se sugiere a partir de la investigación de diferentes factores posnatales, que impactan en el rendimiento del crecimiento y otros aspectos productivos a lo largo de la vida de los corderos. Hasta donde sabemos, las investigaciones y datos que existen sobre cómo la suplementación con Propionato afecta a los rumiantes durante la gestación haciendo sinergia e impactando en el desarrollo del feto es limitada (Diao, Zhang y Fu, 2019).

Conclusiones

Con respecto a la producción en corderos, se concluye que, si hay un efecto notable suplementando con propionato durante la gestación sobre el peso de los corderos tanto para peso al nacimiento como para el peso final, así como en la ganancia diaria de peso.

La suplementación con propionato de sodio en hembras gestantes tiene un importante impacto positivo en el desarrollo de las papilas ruminales de los corderos sin embargo es necesario darle seguimiento a la nutrición materna para determinar con mayor exactitud los efectos de los precursores gluconeogénicos sobre la madre y los efectos a nivel genético que puede desencadenar para la futura descendencia.

Referencias

Brochine L, Dos Santos F, Moreira FM, do Valle de Zoppa AL, Leme PR, Tedeschi LO, et al. (2022) The impact of fetal programming in ewe nutrition with chromium propionate or calcium salts of palm oil on the meat quality and bone of the progeny. Biol Trace Elem Res. 1–10. pmid:35761112

Cifuentes-Lopez, O.; Lee-Rangel, H.A.; Mendoza, G.D.; Delgado-Sánchez, P.; Guerrero-González, L.; Chay-Canul, A.; Pinos-Rodríguez, J.M.; Flores-Ramírez, R.; Roque-Jiménez, J.A.; Relling, (2021). A.E. Effects of Dietary Calcium Propionate Supplementation on Hypothalamic Neuropeptide Messenger RNA Expression and Growth Performance in Finishing Rambouillet Lambs. *Life*. *11*, 566. https://doi.org/10.3390/life11060566

Diao Q, Zhang R, Fu T. (2019). Review of Strategies to Promote Rumen Development in Calves. Animals (Basel). 26;9(8):490. doi: 10.3390/ani9080490. PMID: 31357433; PMCID: PMC6720602.

E. Gubbels, J. Block, R. Salverson, A. Harty, W. Rusche, c. Wright, C. Cammack, Z. Smith, K. Grubbs, K. Underwood, J. Legako, K. Olson y A. Blair (2021) «Influence of Maternal Carbohydrate Source (Concentrate-Based vs. Forage-Based) on Growth Performance, Carcass Characteristics, and Meat Quality of Progeny,» Foods, vol. 10, nº 9, p. 2056..

FAO, (2019) «Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.,». [En línea]. Available: http://www.fao.org/animal-production/es/.

Galyean, M.L.; Perino, L.J.; Duff, G.C. (1999). Interaction of cattle health/immunity and nutrition. *J. Anim. Sci. 77*, 1120–1134.

Huntington, G.B. (1997). Starch utilization by ruminants: From basics to the bunk. *J. Anim. Sci. 75*, 852–867

Larson DM, Martin JL, Adams DC, Funston RN. (2009). Winter grazing system and supplementation during late gestation influence performance of beef cows and steer progeny. J Anim Sci. 87(3):1147–55. pmid:18997078

Lawrence, J.D.; Mintert, J.R.; Anderson, J.D.; Anderson, D.P. (2008). Feed grains and livestock: Impacts on meat supplies and prices. *Choices*. *23*, 11–15.

Paradis F, Wood KM, Swanson KC, Miller SP, McBride BW, Fitzsimmons C. (2017). Maternal nutrient restriction in mid-to-late gestation influences fetal mRNA expression in muscle tissues in beef cattle. BMC genomics. 18(1):1–14.

Pérez Segura LF, Ramírez RF, Relling AE, Roque-Jiménez JA, Zhang N, Vargas-Bello-Pérez E, Lee-Rangel HA (2023) Effects of maternal calcium propionate supplementation on offspring productivity and meat metabolomic profile in sheep. PLoS ONE 18(12): e0294627.

Wang, Y.; Wang, Q.; Dai, C.; Li, J.; Huang, P.; Li, Y.; Ding, X.; Huang, J.; Hussain, T.; Yang, H. (2020). Effects of dietary energy on growth performance, carcass characteristics, serum biochemical index, and meat quality of female Hu lambs. *Anim. Nutr. 6*, 499–506.

Zhang, X., Meng, Q., Lu, L., Cui, Z., & Ren, L. (2015). The effect of calcium propionate supplementation on performance, meat quality, and mRNA expression of finishing steers fed a high-concentrate diet. Journal of Animal and Feed Sciences, 100–106.

Zhang, X., Chen, W., Wu, X., Zhang, Y., Jiang, Y., Meng, Q., & Zhou, Z. (2018). Calcium propionate supplementation improves development of rumen epithelium in calves via stimulating G protein-coupled receptors. Animal, 284–2291.

BIOESTIMULACIÓN PRECONCEPCIONAL REDUCE LA DURACIÓN DEL EMPADRE EN CABRAS

Carlos G. Ávila-Tenorio[1], Luisa E.S. Hernández-Arteaga[1], Juan M. Vázquez-García[1], Manuel J. Flores-Najera[2], Venancio Cuevas-Reyes[3], Reagan Sims[4], Brian Bruner[4], Jaime M. Cavazos-Galindo[5]; Cesar A. Rosales-Nieto[1,a*]

[1]Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Autónoma San Luis Potosí, San Luis Potosí 78321, México. [2]Campo Experimental La Laguna. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Matamoros 27440, Coahuila, México. [3]Campo Experimental Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Texcoco 56250, CDMX, México. [4]Department of Agricultural Sciences. Texas State University, San Marcos, Tx 78666, USA. [5]Centro de Fomento Ganadero Vallecillo. Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León 65415, México. [a]Present address. Department of Agricultural Sciences. Texas State University, San Marcos, Tx 78666, USA. *Autor de correspondencia: César A. Rosales-Nieto (cesar.rosales@txstate.edu)

Introducción

La demanda por productos de origen animal, impulsada por una población humana en constante aumento, deja claro que es necesario mejorar la eficiencia de la producción. Es necesario desarrollar estrategias simples de bajo costo que permita a los criadores de cabras incrementar la eficiencia reproductiva de sus animales y reducir costos de operación. La eficiencia reproductiva es un factor importante para la productividad y retorno económico de las unidades de producción animal. Una alternativa que contribuye a incrementar la eficiencia reproductiva es el uso de feromonas a través de la bioestimulación sexual o efecto macho. La bioestimulación sexual puede ser utilizada en ambos sexos y ocurre por medio de la activación de señales sensoriales percibidas por la hembra o el macho a través del órgano vemoeronasal (Tirindelli et al., 2009). El órgano vemoeronasal activa las neuronas GnRH en el hipotálamo lo que desencadena la producción de gonadotropinas (FSH-LH) y consecuentemente la activación sexual (Murata et al., 2014; Fabre-Nys et al., 2017).

Por décadas se ha utilizado la bioestimulación sexual o efecto macho para incrementar la eficiencia en diferentes especies (Landaeta-Hernández et al., 2023). En ovejas, el uso de la bioestimulación sexual puede acelerar el inicio de la pubertad ocasionando que las hembras puedan ser empadradas a una edad temprana (Kenyon et al., 2012; Ungerfeld, 2016). Recientemente demostramos en ovejas que es posible obtener mayores beneficios si se utiliza la bioestimulación sexual antes del periodo de empadre al inducir la ovulación y sincronizar los ciclos reproductivos, aumentando así el porcentaje de ovejas gestantes en los primeros 17 días del período de apareamiento (Rosales-Nieto et al., 2024). Dando como resultado un período de parto condensado que ofrece oportunidades para mejorar el manejo de la supervivencia neonatal, la nutrición posnatal y la comercialización postdestete.

La respuesta puede variar entre genotipos o experiencia al momento del empadre. En ovejas, se ha demostrado que las hembras cruzadas responden mejor que las hembras puras (Thompson et al., 1990). Adicionalmente, es posible que la experiencia al momento del empadre afecte la respuesta a la bioestimulación sexual; ya que hembras con más experiencia responden mejor (Gelez et al., 2006). Sin embargo, esta información no ha sido probada en cabras adultas o jóvenes. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar si la bioestimulación sexual antes del empadre acelera los días a la concepción y se incrementa la proporción de hembras gestantes en el primer ciclo reproductivo y si el efecto es independiente al genotipo o experiencia de la hembra.

Materiales y métodos

Ética animal. Todos los procedimientos en este estudio son consistentes con la guía del Consejo Nacional de Investigación para el Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio y cumplen con las normas de ARRIVE para informar sobre investigaciones con animales (Kilkenny et al., 2010).

Lugar de estudio. El estudio se realizó en la unidad caprina de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (100° 51' 40.49'' O y 22° 13' 56.63'' N).

Animales y diseño experimental. En un análisis retrospectivo, se analizaron 415 registros reproductivos de hembras caprinas de dos razas (Alpina y Saanen; Cuadro 1) y con o sin experiencia reproductiva de la Unidad Caprina de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UASLP. La experiencia fue considerada en base a hembras jóvenes empadradas por primera vez a los 9 meses de edad o hembras con experiencia teniendo al menos un periodo de empadre o un parto. Previo al empadre, las hembras fueron estimuladas (n = 292) o no (n = 123) con machos vasectomizados por 21 días. Posteriormente, las hembras fueron empadradas de manera natural con machos enteros y el periodo tuvo una duración de 42 días. El diseño experimental fue completamente al azar con dos tratamientos con arreglo factorial. El primer factor corresponde a la raza de la hembra (Alpina *vs* Saanen). El segundo factor corresponde a la experiencia al empadre de la hembra (experimentada *vs* joven). El tercer factor corresponde a la bioestimulación sexual previo al empadre (Con *vs* Sin).

Previo al empadre las hembras del grupo de bioestimulación sexual fueron expuestas a machos vasectomizados, durante un periodo de 21 días, posteriormente se utilizaron machos enteros para el empadre, durante un periodo de 42 días. Las hembras no bioestimuladas fueron expuestas a machos enteros por 42 días. Las hembras se pesaron al inicio del empadre con una báscula digital (TORREY®) con una sensibilidad de 0.01 kg. La dieta estuvo a base de heno de avena, alfalfa y ensilado de maíz para cubrir los requerimientos nutricionales (NRC, 2007).

Cuadro 1. Peso al inicio del empadre de hembras con o sin experiencia de dos genotipos de la Unidad Caprina de la Facultad de Agronomía de la UASLP (media±SEM).

Raza	Experiencia	n	Mean (kg)
Alpina	Experimentada	217	46.4±0.6
	Joven	63	22.4±0.4
Saanen	Experimentada	97	48.3±1.1
	Joven	38	25.0±1.3

Días a la concepción y ciclo de concepción. Se determinó los días a la concepción y el ciclo reproductivo en el cual la hembra quedaba gestante. Dicha información fue calculada mediante la fórmula de fecha al parto – fecha al inicio del periodo de empadre. La duración de la gestación se consideró de 150 días.

Análisis estadísticos. La información se analizó con el paquete estadístico SAS versión 9.3 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA). La información sobre los días a la concepción se analizó mediante modelos mixtos y técnica de estimación de máxima verosimilitud restringida (PROC MIXED). La información sobre el ciclo de concepción se analizó mediante modelos lineares generalizados mixtos con distribución binomial y enlace logic (PROC GLIMMIX). Raza y experiencia fueron utilizados como efectos fijos. El peso al inicio del empadre se incluyó como co-variables.

Resultados

Días a la concepción. Los días a la concepción posterior al inicio del empadre fue menor en las hembras sin bioestimulación (promedio 10 días) que en las hembras bioestimuladas (promedio 16 días; Cuadro 2; P < 0.001).

El peso al inicio del empadre influyo los días a la concepción (P < 0.001). Sin embargo, esta relación fue negativa; al incrementar el peso al inicio del empadre incrementaba los días a la concepción.

De igual manera, la experiencia sexual de la hembra influyo los días a la concepción (Experimentada: 13 días vs joven: 9 días; P < 0.001); pero el efecto no fue evidente cuando se agregó el peso al inicio de empadre (P > 0.05). La raza no influyo los días a la concepción (P > 0.05).

Cuadro 2. Días a la concepción (DAC) posterior al inicio del empadre con machos enteros de hembras con o sin experiencia de dos genotipos de la Unidad Caprina de la Facultad de Agronomía de la UASLP (media±SEM).

Raza	Edad	n	DAC (Media±SEM)
Alpina	Experimentada	204	13±0.7
	Joven	43	10±1.4
Saanen	Experimentada	90	15±1.2
	Joven	25	9±1.7
P > f			< 0.001

Ciclo de Concepción. El 51% de las hembras bioestimuladas quedaron gestantes en su primer ciclo reproductivo y 17% en el segundo ciclo reproductivo (Cuadro 3). El 31% de las hembras no bioestimuladas quedaron gestantes en su primer ciclo reproductivo y 5% en el segundo ciclo reproductivo. El ciclo de concepción fue significativo (Cuadro 3; P < 0.001). El peso al inicio del empadre, la raza o experiencia no influyo el ciclo de concepción (P > 0.05).

Cuadro 3. Ciclo de concepción posterior al inicio del empadre con machos enteros de hembras con o sin experiencia de dos genotipos de la Unidad Caprina de la Facultad de Agronomía de la UASLP (media±SEM).

Ciclo	Bioestimulación	
	No (%)	Si (%)
Primero	31	51
Segundo	1	17
P > f	< 0.001	

Discusión

El objetivo del presente trabajo fue determinar el impacto de la bioestimulación sexual antes del periodo de empadre sobre los días a la concepción y el ciclo de concepción de hembras caprinas Alpinas y Saanen con o sin experiencia sexual. Los resultados son interesantes dado que demuestran que, mediante el uso de métodos naturales, como la bioestimulación sexual puede incrementar la proporción de hembras gestantes en el primer ciclo reproductivo. Adicionalmente, este método no requiere gran inversión económica; lo cual puede contribuir a la estabilidad social y económica de las familias de los caprinocultores en México y en el mundo.

Nuestros resultados demuestran que las hembras que no recibieron bioestimulación quedaron gestantes más rápido que las hembras que recibieron bioestimulación sexual antes del inicio del empadre. Podemos discutir que el peso al inicio del empadre influyo positivamente los días a la concepción; en donde al incrementar el peso incrementaban los días a la concepción. Observamos que la experiencia sexual de la hembra influyo de manera positiva los días a la concepción; en donde las hembras jóvenes quedaron gestantes más rápido que las hembras con experiencia. Sin embargo, esta relación ya no fue significativa una vez que se incluía el peso al inicio del empadre como covariable. Esto nos lleva a concluir que, al incrementar la edad o experiencia de la hembra, incrementa su peso corporal lo cual está relacionado positivamente con variables reproductivas (Rosales-Nieto et al., 2021). De manera similar, hubiéramos esperado diferencia significativa al comparar los genotipos; dado que las hembras Saanen tienen un desarrollo más precoz (McManus et al., 2008); sin embargo, en nuestras hembras al incluir hembras multíparas el peso corporal se balanceo contribuyendo a que no hubiera diferencia significativa. De manera contraria a nuestros resultados, Rosales-Nieto et al. (2024) observaron en ovejas que la bioestimulación sexual antes del empadre acelera los días a la concepción. Los resultados son interesantes y requieren de mayor exploración para determinar los factores que activaron la pronta respuesta a la concepción de las hembras no bioestimuladas sexualmente. Adicionalmente se esperaba que el peso al inicio del empadre tuviera una relación negativa con los dias a la concepción.

Nuestros resultados demuestran que una mayor proporción de hembras que fueron bioestimuladas sexualmente antes del empadre quedaron gestantes en el primer ciclo reproductivo en comparación con las hembras que no fueron bioestimuladas sexualmente. Adicionalmente nuestros resultados demuestran que el efecto fue independiente del genotipo y experiencia sexual de la hembra. La importancia de estos resultados radica en que se puede concentrar la época de nacimiento de las crías para proveer mejores condiciones e incrementar la sobrevivencia perinatal.

Conclusiones

Se concluye que se induce una bioestimulación sexual usando machos vasectomizados antes del periodo de empadre, incrementando con esto el porcentaje de hembras gestantes en el primer ciclo reproductivo, independientemente a la raza o experiencia sexual. Las hembras sin bioestimulación sexual antes del empadre quedaron gestantes más rápido que las hembras con bioestimulación. Se requiere continuar el estudio para determinar si las variables reproductivas son afectadas por la bioestimulación sexual antes del empadre.

Dedicatoria

Nuestro trabajo es dedicado a nuestro compañero y amigo, Dr. Manuel de Jesús Flores Nájera (1968 - 2024). Gracias Dr. Flores por tantos años de apoyo y amistad. Descansa en paz.

Referencias

Fabre-Nys, C., Cognié, J., Dufourny, L., Ghenim, M., Martinet, S., Lasserre, O., Lomet, D., Millar, R.P., Ohkura, S., Suetomi, Y., 2017. The Two Populations of Kisspeptin Neurons Are Involved in the Ram-Induced LH Pulsatile Secretion and LH Surge in Anestrous Ewes. Endocrinology 158, 3914-3928.

Gelez, H., Fabre-Nys, C., 2006. Role of the olfactory systems and importance of learning in the ewes' response to rams or their odors. Reprod. Nutr. Dev. 46, 401-415

Kenyon, P.R., Viñoles, C., Morris, S.T., 2012. Effect of teasing by the ram on the onset of puberty in Romney ewe lambs. New Zealand Journal of Agricultural Research 55, 283-291.

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, e1000412.

Landaeta-Hernández, A.J., Ungerfeld, R., Chenoweth, P.J., 2023. Biostimulation and pheromones in livestock: A review. Animal Reproduction Science 248, 107154.

McManus, C., Soares Filho G., Louvandini, H., Talarico Dias, L., de Almeida Teixeira, R., Sayori Murata, L. 2008. Growth of Saanen, Alpine and Toggenburg goats in the federal district, Brazil: genetic and environmental factors. Ciencia Animal Brasileira 9, 68-75.

Murata, K., Tamogami, S., Itou, M., Ohkubo, Y., Wakabayashi, Y., Watanabe, H., Okamura, H., Takeuchi, Y., Mori, Y., 2014. Identification of an Olfactory Signal Molecule that Activates the Central Regulator of Reproduction in Goats. Current Biology 24, 681-686.

NRC. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids (1st Edition). National Academy Press, Washington, DC. 2007.

Rosales-Nieto, C.A., Ehrhardt, R., Mantey, A., Makela, B., Byrem, Veiga-Lopez, A., 2021. Preconceptional diet manipulation and fetus number can influence placenta endocrine function in sheep. Domestic Animal Endocrinology 74, 106577.

Rosales-Nieto, C.A., Thompson, A.N., Cuevas-Reyes, V., Hérnandez-Arteaga, L.E.S., Greeff, J.C., Ehrhardt, R., Veiga-Lopez, A., Martin, G.B., 2024. Utilising male stimulus to improve the reproductive efficiency of 8-month-old nulliparous ewes and adult parous ewes. Theriogenology 217, 143-150.

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.

Thompson, L.H., Stookey, J.M., Giles, J.R., Thomas, D.L., 1990. Reproductive response of mature ewes of different breeds to teasing prior to mating. Small Ruminant Research 3, 373-381.

Ungerfeld, R., 2016. Reproductive response of mature and nulliparous yearling ewes to the ram effect during the non-breeding season. Small Ruminant Research 140, 37-39.

EFECTO DE LA BIOESTIMULACIÓN PRECONCEPCIONAL SOBRE VARIABLES REPRODUCTIVAS EN CABRAS

Francisco Reyna-Vargas[1], Juan M. Vázquez-García[1], Luisa E.S. Hernández-Arteaga[1], Venancio Cuevas-Reyes[3], Manuel J. Flores-Najera[2], Reagan Sims[4], Brian Bruner[4], Jaime M. Cavazos-Galindo[5], Cesar A. Rosales-Nieto[1,a*]

[1]Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Autónoma San Luis Potosí, San Luis Potosí 78321, México. [2]Campo Experimental Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Texcoco 56250, CDMX, México. [3]Campo Experimental La Laguna. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Matamoros 27440, Coahuila, México. [4]Department of Agricultural Sciences. Texas State University, San Marcos, Tx 78666, USA. [5]Centro de Fomento Ganadero Vallecillo. Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León 65415, México. [a]Present address. Department of Agricultural Sciences. Texas State University, San Marcos, Tx 78666, USA. *Autor de correspondencia: César A. Rosales-Nieto (cesar.rosales@txstate.edu)

Introducción

La creciente demanda de productos de origen animal, impulsada por el aumento continuo de la población, resalta la necesidad de mejorar la eficiencia en la producción. Para lograr esto, es crucial desarrollar estrategias simples y de bajo costo que permitan a los criadores de cabras optimizar la eficiencia reproductiva de sus animales y reducir los costos operativos. La eficiencia reproductiva es fundamental para la productividad y el retorno económico de las unidades de producción animal. Una alternativa eficaz para mejorar esta eficiencia es el uso de feromonas mediante técnicas de bioestimulación sexual, como el efecto macho. La bioestimulación sexual puede aplicarse tanto a hembras como a machos, y se basa en señales sensoriales percibidas por el órgano vomeronasal (Tirindelli et al., 2009). Este órgano activa las neuronas GnRH en el hipotálamo, lo que a su vez desencadena la producción de gonadotropinas y, en consecuencia, la activación sexual (Murata et al., 2014; Fabre-Nys et al., 2017).

El efecto macho ha sido utilizado por décadas y su eficiencia se ha demostrado en caprinos, ovinos, vacas y cerdos (Landaeta-Hernández et al., 2023). En animales prepuberales, se ha demostrado que el efecto macho puede tener una estimulación directa en la secreción de GnRH y acelerar el inicio de la pubertad permitiendo que las hembras puedan ser empadradas con un alto grado de eficiencia (Kenyon et al., 2012; Ungerfeld, 2016). Adicionalmente se ha demostrado que el efecto macho puede estimular la ovulación y sincronizar el estro, incrementando así el porcentaje de hembras que quedan gestantes en su primer ciclo reproductivo posterior a la introducción del macho (Kenyon et al., 2005). Dando como resultado que la época de pariciones sea reducida en tiempo, contribuyendo a la disminución de la mano de obra en las unidades de producción, mayor homogenidad en las crías, lo que facilita su comercialización.

Sin embargo, no es claro si la bioestimulacion sexual, a través de las feromonas, puede incrementar el porcentaje de hembras gestantes o el número de fetos en útero. La tasa ovulatoria y, consecuentemente, el número de crías en útero es un factor genético (Notter, 2008; Juengel et al., 2021); pero, puede ser manipulado por señales metabólicas (Viñoles et al., 2010; Scaramuzzi et al., 2011). Se ha observado que incrementar el consumo de energía durante el periodo de preconcepción incrementa la prolificidad y el tamaño de camada en ovejas (Rosales-Nieto et al., 2021).

Recientemente, Rosales-Nieto et al. (2024) demostraron en ovejas que la bioestimulación sexual antes del inicio del periodo de empadre puede incrementar la tasa de fertilidad y reproductiva, indicando que el efecto fue más acentuado en hembras jóvenes. Sin embargo, esta información no ha sido probada en cabras adultas o jóvenes. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar si la bioestimulación sexual antes del empadre incrementa la tasa de fertilidad y la tasa reproductiva en hembras caprinas y si el efecto es independiente al genotipo o experiencia de la hembra.

Materiales y métodos

Ética animal. Todos los procedimientos de este estudio son consistentes con la Guía para el cuidado y uso de animales de laboratorio del Consejo de Investigación Internacional (FASS, 2010) y Nacional [NAM, 2010].

Lugar de estudio. El estudio se realizó en la unidad caprina de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (100° 51’ 40.49’’ O y 22° 13’ 56.63’’ N).

Animales y diseño experimental. Se llevó a cabo un análisis retrospectivo de 415 registros reproductivos de hembras caprinas pertenecientes a dos razas, Alpina y Saanen, provenientes de la Unidad Caprina de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UASLP. Se consideraron dos categorías de hembras: las jóvenes (primíparas) que fueron empadradas por primera vez a los 9 meses de edad, y las hembras experimentadas, que habían tenido al menos un ciclo de empadre o un parto previo. Antes del empadre, se realizó una bioestimulación sexual en 292 hembras mediante la exposición a machos vasectomizados durante 21 días, mientras que las 123 hembras restantes no recibieron esta estimulación. Posteriormente, todas las hembras fueron empadradas de manera natural con machos enteros durante un periodo de 42 días. El diseño experimental fue completamente al azar y se estructuró en un arreglo multifactorial con tres factores: *Raza de la hembra* (Alpina vs. Saanen), *Experiencia reproductiva de la hembra* (Joven [primípara] vs. Experimentada [con al menos un ciclo de empadre o parto previo]) y *Bioestimulación sexual previa al empadre* (Con estimulación vs. Sin estimulación).

Antes del empadre, las hembras del grupo sometido a bioestimulación sexual fueron expuestas a machos vasectomizados durante 21 días. Posteriormente, se realizó el empadre utilizando machos enteros durante un periodo de 42 días. Por otro lado, las hembras que no recibieron bioestimulación fueron empadradas directamente con machos enteros durante el mismo periodo de 42 días. Las hembras fueron pesadas al inicio del empadre utilizando una báscula digital (TORREY®) con una precisión de 0.01 kg. La dieta proporcionada a las hembras consistió en heno de avena, alfalfa y ensilado de maíz, asegurando así que se cubrieran adecuadamente todos sus requerimientos nutricionales (NRC, 2007). El peso de las fue hembras Alpinas experimentadas (n = 217; 46.4±0.6), Alpinas jóvenes (n = 63; 22.4±0.4), Saanen experimentadas (n = 97; 48.3±1.1) y Saanen jóvenes (n = 38; 25.0±1.3).

Fertilidad y tasa reproductiva. Se registró la fecha de parto y el peso al nacimiento de la progenie. Se consideró que la fecha de concepción ocurrió 150 días antes de la fecha de nacimiento. Estos datos ayudaron a calcular la fertilidad (porcentaje de hembras gestantes por cada 100 hembras empadradas) y la tasa de reproducción (número de fetos por cada 100 hembras expuestas a machos fértiles).

Análisis estadísticos. La información se analizó con el paquete estadístico SAS versión 9.3 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA). La tasa de fertilidad se analizó mediante modelos lineares generalizados mixtos con distribución binomial y enlace logic (PROC GLIMMIX). La tasa reproductiva se analizó mediante modelos lineares generalizados mixtos con distribución multinomial y enlace logic (PROC GLIMMIX). Los efectos fijos fueron raza (Alpina *vs* Saanen), experiencia (Experimentada *vs* Joven) y bioestimulación sexual (Con *vs* Sin). El peso al inicio del empadre se agregó como co-variables.

Resultados

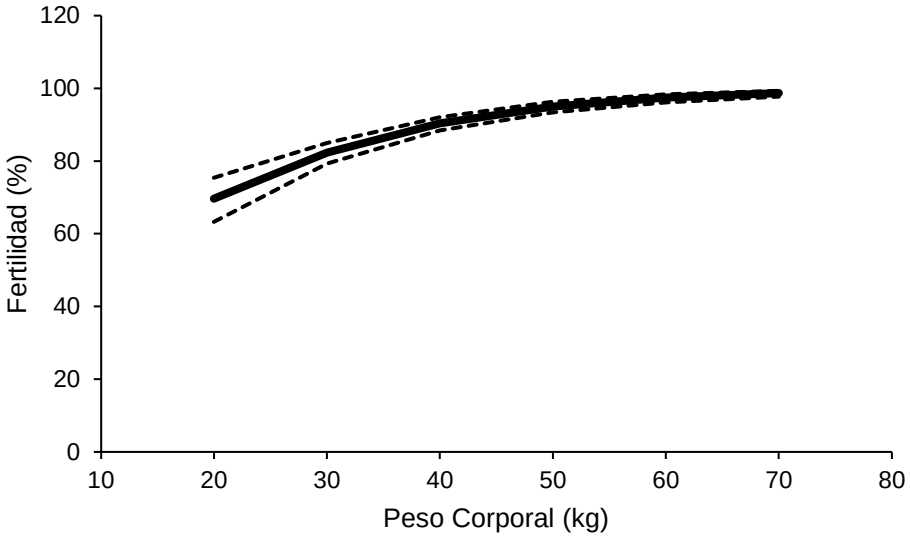


Figura 1. Relación entre el peso corporal al inicio del periodo de empadre y la tasa de fertilidad de hembras caprinas. Los datos combinan la información de razas y experiencia.

Tasa Reproductiva. La bioestimulación sexual antes del empadre incremento la tasa reproductiva (Cuadro 1; $P < 0.05$). El peso al inicio del empadre influyo positivamente la tasa reproductiva ($P < 0.001$). La experiencia influyo la tasa reproductiva (Cuadro 2; $P < 0.001$). La interacción entre bioestimulación sexual o experiencia y peso al momento del empadre no fueron significativas ($P > 0.05$). La raza no influyo la tasa reproductiva ($P > 0.05$).

Cuadro 1. Relación entre la bioestimulación sexual antes del periodo de empadre con machos vasectomizados y la tasa reproductiva de hembras Alpinas o Saanen con o sin experiencia sexual.

Numero de crías en vientre	Bioestimulación	
	No (%)	Si (%)
0	1.7	10.6
1	10.4	29.2
2	16.6	29.7
3	1.0	1.0
P > f	< 0.05	

Cuadro 2. Relación entre la experiencia sexual y la tasa reproductiva de hembras Alpinas o Saanen con o sin bioestimulo sexual prior al momento de empadre.

Numero de crías en vientre	Experiencia	
	Experimentada (%)	Joven (%)
0	4.3	8.0
1	26.0	13.5
2	43.4	2.9
3	1.9	0.0
P > f	< 0.001	

Discusión

El objetivo del presente trabajo fue determinar el impacto de la bioestimulación sexual antes del periodo de empadre sobre la tasa de fertilidad y tasa reproductiva de hembras caprinas Alpinas y Saanen con o sin experiencia sexual. Los resultados son interesantes dado que demuestran que, mediante el uso de métodos naturales, como la bioestimulación sexual o efecto macho, puede incrementar el número de hembras gestantes con más fetos en vientre. Adicionalmente, este método no requiere gran inversión económica; lo cual puede contribuir a la estabilidad social y económica de las familias de los caprinocultores en México y en el mundo.

Nuestros resultados demuestran que la tasa de fertilidad fue influenciada positivamente por la experiencia sexual de la hembra antes del empadre y por el peso corporal al momento del empadre. Estos resultados indican que, al incrementar la edad crónica de la hembra, se incrementa el peso corporal lo que da como resultado una mejor respuesta reproductiva (Kenyon et al., 2014). De tal forma que las hembras más pesadas al momento del empadre son más fértiles y prolíficas, independientemente de la edad al empadre (Rosales-Nieto et al., 2015; 2021; Thompson et al., 2021). La bioestimulación sexual antes del periodo de empadre y la raza no influenciaron la tasa de fertilidad. Estos resultados son interesantes dado que recientemente Rosales-Nieto et al. (2024) reportaron que el efecto macho antes del empadre incremento la tasa de fertilidad en ovejas jóvenes y adultas.

Nuestros resultados demuestran que la tasa reproductiva fue influenciada por la bioestimulación sexualmente antes del empadre, la experiencia sexual de la hembra y el peso al momento del empadre. El efecto de estas variables reproductivas sobre la tasa reproductiva fue independientes al peso al momento del empadre. Se ha demostrado que hembras jóvenes tienden a concebir solo un feto y que, al incrementar la experiencia sexual de las hembras, se incrementa la prolificidad (Haldar et al., 2014; Pan et al., 2015). Interesante es el efecto de la bioestimulación sexual antes del empadre sobre la tasa reproductiva y que el efecto fue independientemente al peso corporal. Sin embargo, no podemos descartar el efecto de las señales metabólicas y los diferentes tejidos que pudieran influir la respuesta reproductiva (Rosales-Nieto et al., 2019: Juengel et al., 2021).

Conclusiones

Se concluye que hembras mas pesadas al momento del empadre son más fértiles y prolíficas. La bioestimulación sexual antes del empadre incrementa la tasa reproductiva en hembras Alpinas y Saanen con o sin experiencia sexual. Mas investigación al respecto se necesita para elucidar el efecto de la bioestimulación sexual antes del empadre con la tasa reproductiva.

Dedicatoria

Nuestro trabajo es dedicado a nuestro compañero y amigo, Dr. Manuel de Jesús Flores Nájera (1968 - 2024). Gracias Dr. Flores por tantos años de apoyo y amistad. Descansa en paz.

Referencias

Fabre-Nys, C., Cognié, J., Dufourny, L., Ghenim, M., Martinet, S., Lasserre, O., Lomet, D., Millar, R.P., Ohkura, S., Suetomi, Y., 2017. The Two Populations of Kisspeptin Neurons Are Involved in the Ram-Induced LH Pulsatile Secretion and LH Surge in Anestrous Ewes. Endocrinology 158, 3914-3928.

FASS. Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Agricultural Research and Teaching, 3rd ed.; Federation Animal Science Society: Champaing, IL, USA, 2010; p. 177

Gelez, H., Fabre-Nys, C., 2006. Role of the olfactory systems and importance of learning in the ewes' response to rams or their odors. Reprod. Nutr. Dev. 46, 401-415

Haldar, A., Pal, P., Datta, M., Paul, R., Pal, S.K., Majumdar, D., Biswas, C.K., and Pan, S., 2014. Prolificacy and its relationship with age, body weight, parity, previous litter size and body linear type traits in meat-type goats. Asian-Australasian Journal of Animal Science 27, 628-634.

Juengel, J.L., Cushman, R.A., Dupont, J., Fabre, S., Lea, R.G., Martin, G.B., Mossa, F., Pitman, J.L., Price, C.A., Smith, P., 2021. The ovarian follicle of ruminants: the path from conceptus to adult. Reproduction, Fertility and Development 33, 621-642.

Kenyon PR, Morel PCH, Morris ST, West DM. The effect of individual liveweight and use of teaser rams prior to mating on the reproductive performance of ewe hoggets. New Zealand Vet J 2005; 53:340-3

Kenyon, P.R., Viñoles, C., Morris, S.T., 2012. Effect of teasing by the ram on the onset of puberty in Romney ewe lambs. New Zealand Journal of Agricultural Research 55, 283-291.

Kenyon, P.R., Thompson, A.N., Morris, S.T., 2014. Breeding ewe lambs successfully to improve lifetime performance. Small Ruminant Research 118, 2-15

Landaeta-Hernández, A.J., Ungerfeld, R., Chenoweth, P.J., 2023. Biostimulation and pheromones in livestock: A review. Animal Reproduction Science 248, 107154.

Murata, K., Tamogami, S., Itou, M., Ohkubo, Y., Wakabayashi, Y., Watanabe, H., Okamura, H., Takeuchi, Y., Mori, Y., 2014. Identification of an Olfactory Signal Molecule that Activates the Central Regulator of Reproduction in Goats. Current Biology 24, 681-686.

NAM-National Academy of Medicine. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. Co-Produced by the National Academy of Medicine–Mexico and the Association for Assessment and Accreditation of Laboratory Animal Care International, 1st ed.; Harlan: Mexico City, Mexico, 2010.

Notter, D., 2008. Genetic Aspects of Reproduction in Sheep. Reproduction in Domestic Animals 43, 122-128.

NRC. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids (1st Edition). National Academy Press, Washington, DC. 2007.

Pan, S., Biswas, C.K., Majumdar, D., Sengupta, D., Patra, A., Ghosh, S., Haldar, A., 2015. Influence of age, body weight, parity and morphometric traits on litter size in prolific Black Bengal goats. Journal of Applied Animal Research 43, 104-111.

Rosales Nieto, C.A., Ferguson, M.B., Thompson, H., Briegel, J.R., Macleay, C.A., Martin, G.B., Thompson, A.N., 2015. Relationships among Puberty, Muscle and Fat, and Liveweight Gain during Mating in Young Female Sheep. Reproduction in Domestic Animals 50, 637-642.

Rosales Nieto, C.A., Ferguson, M.B., Briegel, J.R., Hedger, M.P., Martin, G.B., Thompson, A.N., 2019. Pre-pubertal growth, muscle and fat accumulation in male and female sheep—Relationships with metabolic

hormone concentrations, timing of puberty and reproductive outcomes. Reproduction in Domestic Animals 54, 1596-1603.

Rosales-Nieto, C.A., Ehrhardt, R., Mantey, A., Makela, B., Byrem, Veiga-Lopez, A., 2021. Preconceptional diet manipulation and fetus number can influence placenta endocrine function in sheep. Domestic Animal Endocrinology 74, 106577.

Rosales-Nieto, C.A., Thompson, A.N., Cuevas-Reyes, V., Hérnandez-Arteaga, L.E.S., Greeff, J.C., Ehrhardt, R., Veiga-Lopez, A., Martin, G.B., 2024. Utilising male stimulus to improve the reproductive efficiency of 8-month-old nulliparous ewes and adult parous ewes. Theriogenology 217, 143-150.

Scaramuzzi, R.J., Baird, D.T., Campbell, B.K., Driancourt, M.-A., Dupont, J., Fortune, J.E., Gilchrist, R.B., Martin, G.B., McNatty, K.P., McNeilly, A.S., Monget, P., Monniaux, D., Viñoles, C., Webb, R., 2011. Regulation of folliculogenesis and the determination of ovulation rate in ruminants. Reproduction, Fertility and Development 23, 444-467

Tirindelli, R., Dibattista, M., Pifferi, S., Menini, A., 2009. From Pheromones to Behavior. Physiological Reviews 89, 921-956.

Thompson, A.N., Bowen, E., Keiller, J., Pegler, D., Kearney, G., Rosales-Nieto, C.A., 2021. The Number of Offspring Weaned from Ewe Lambs Is Affected Differently by Liveweight and Age at Breeding. Animals 11, 2733

Ungerfeld, R., 2016. Reproductive response of mature and nulliparous yearling ewes to the ram effect during the non-breeding season. Small Ruminant Research 140, 37-39.

Viñoles, C., Paganoni, B., Glover, K.M.M., Milton, J.T.B., Blache, D., Blackberry, M.A., Martin, G.B., 2010. The use of a ‘first-wave’ model to study the effect of nutrition on ovarian follicular dynamics and ovulation rate in the sheep. Reproduction 140, 865-874.

XX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS

"Innovación y acción para un medio ambiente sostenible"

Simposios

VERMICULITA EN EL CRECIMIENTO DE FRUTOS DE CHILE JALAPEÑO

Víctor Manuel Ordaz-Chaparro[1]; Sara Monzerrat Ramírez-Olvera[1]*;
Miriam Alejandra Flores-Buendía[2]

[1]Posgrado de Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. [2]División de Ingeniería Química, Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán, Chimalhuacán, Estado de México, México. * Autora para correspondencia: ramirez.sara@colpos.mx

Introducción

Los fertilizantes de síntesis química son fundamentales en la producción actual de cultivos (Aziz et al., 2015). El enriquecer el suelo con fertilizantes permite obtener la máxima calidad y rendimiento de los cultivos. Sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes comerciales genera grave contaminación ambiental, que reduce la fertilidad del suelo e impacta en la salud humana (Rahman et al., 2021). Por lo que es fundamental el estudio de otras fuentes de fertilización que permitan la producción sostenible de cultivos.

La vermiculita es un mineral de estructura laminar, constituido por silicato de aluminio, magnesio y hierro (Feng et al., 2020); con propiedades físicas y químicas de importancia en la producción agrícola, construcción, e industria farmacéutica (Li et al., 2021).

La alta tasa de expansión en volumen de la vermiculita, así como, la capacidad de intercambio catiónico, y sus características hidrofílicas, son favorables para el crecimiento de plantas (Kremenetskaya et al., 2020). Se ha reportado que la incorporación de vermiculita al suelo, mejora la fertilidad, y es una alternativa en la producción sostenible de huertos intensificados de plantas de castaño (*Castanea sativa*) (Chatzistathis et al., 2021).

Así mismo, la capacidad de retención de agua, la alta capacidad de intercambio catiónico, y la densidad de la vermiculita, son características deseables en su uso como sustrato para la producción de cultivos hidropónicos, aunado a la resistencia química de la vermiculita a las soluciones nutritivas (Kremenetskaya et al., 2020).

La producción de cultivos hidropónicos, permite eficientizar el uso de insumos, y es fundamental en zonas donde los recursos agua y suelo son limitados (Fussy y Papenbrock, 2022). Por lo que la incorporación de minerales al sustrato permitirá mejorar sus características, y promover el crecimiento y rendimiento de cultivos de importancia mundial.

El chile (*Capsicum annum*) es uno de los cultivos de mayor demanda a nivel mundial, debido a su uso importancia como alimento, condimento, en la elaboración de colorantes naturales, y en la industria farmacéutica. Además de ser fuente de vitaminas, minerales, flavonoides, carotenoides y capsaicinoides de importancia en la salud humana (Hernández-Pérez et al., 2020). El objetivo de esta investigación fue evaluar la incorporación de vermiculita al sustrato, y su efecto en el crecimiento y rendimiento de frutos de chile jalapeño.

Materiales y métodos

Plántulas de chile jalapeño (*Capsicum annuum*) de 30 días de edad, se colocaron dentro de macetas de polietileno negro de 10 L de capacidad, en cuyo interior contenían sustrato, y los tratamientos vermiculita evaluados.

El sustrato se elaboró con la mezcla de tezontle y espuma de polifenol en relación 1:1 (v/v). El tamaño de partícula del tezontle fue superior a 1 cm, y los fragmentos de espuma de polifenol mayores a 2 cm. Posterior a la mezcla de los materiales, se incorporó vermiculita de la marca comercial Radical® a concentraciones de 0.0, 1.5 y 2.5% (v/v).

Las plántulas de chile se regaron con solución nutritiva Steiner, a concentraciones crecientes en función de la edad fenológica de las plantas. A los 110 días después del trasplante, se realizó el primer corte de frutos maduros, y se realizaron tres cortes posteriores en periodos de 7 d. En cada corte se registró el número de frutos, el peso fresco de fruto, así como el largo y ancho de frutos. Con los datos obtenido en cada corte se determinó el número acumulado de frutos.
Finalmente, con los datos obtenidos en cada variable se realizó el análisis de varianza (ANOVA), y la prueba de comparación de medias Tukey, con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS, Institute, 2009, Cary, NC, USA).

Resultados y discusión

La adición de vermiculita al sustrato a concentración del 2.5% incrementó significativamente el número de frutos por planta, en relación a las plantas no suministradas con vermiculita (Figura 1A). Mientras que su aplicación disminuyó el peso fresco de fruto, sin mostrar efectos a la concentración 1.5% (Figura 1B). Lo cual puede deberse a la influencia de la vermiculita en el transporte y acumulación de agua en los frutos. Al respecto se ha informado que el suministro de vermiculita en relación 80:20 al suelo, reduce la conductancia estomática, e interfiere con el transporte de potasio en plantas de chile cv. Bounty F1-Lenor (Chatzistathis et al., 2022).

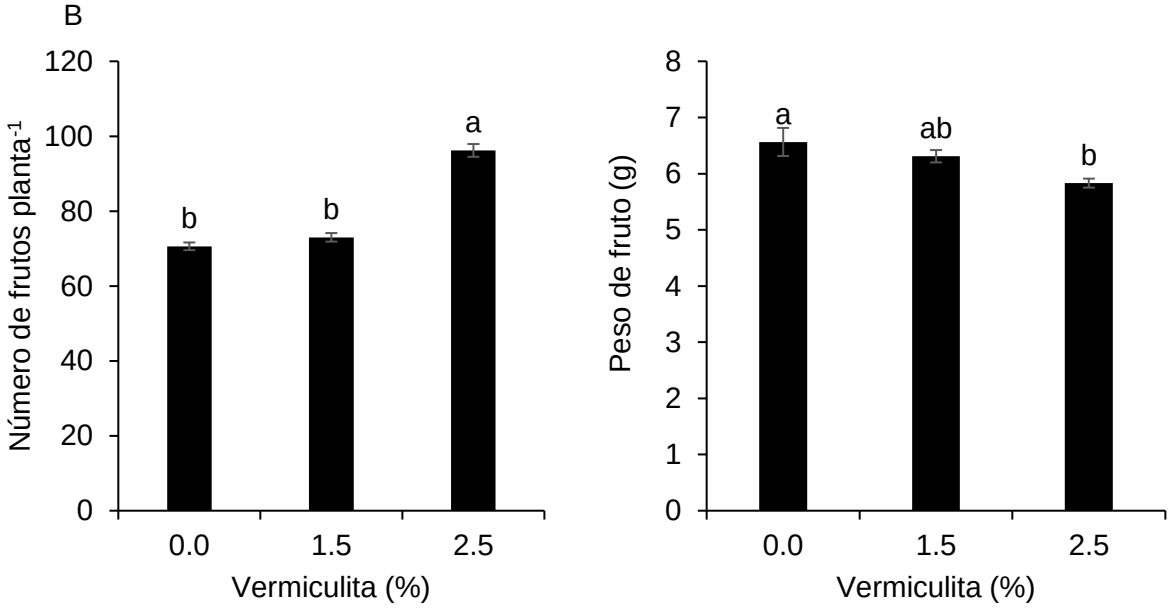


Figura 1. Número acumulado (A), y peso de frutos (B) de plantas de chile (*Capsicum annum*) cultivadas en sustrato adicionado con vermiculita. Medias ± EE con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

La adición de vermiculita al sustrato no modificó la longitud de fruto (Figura 2A), mientras que los tratamientos 1.5 y 2.5% vermiculita, disminuyeron el ancho de fruto (Figura 2B).

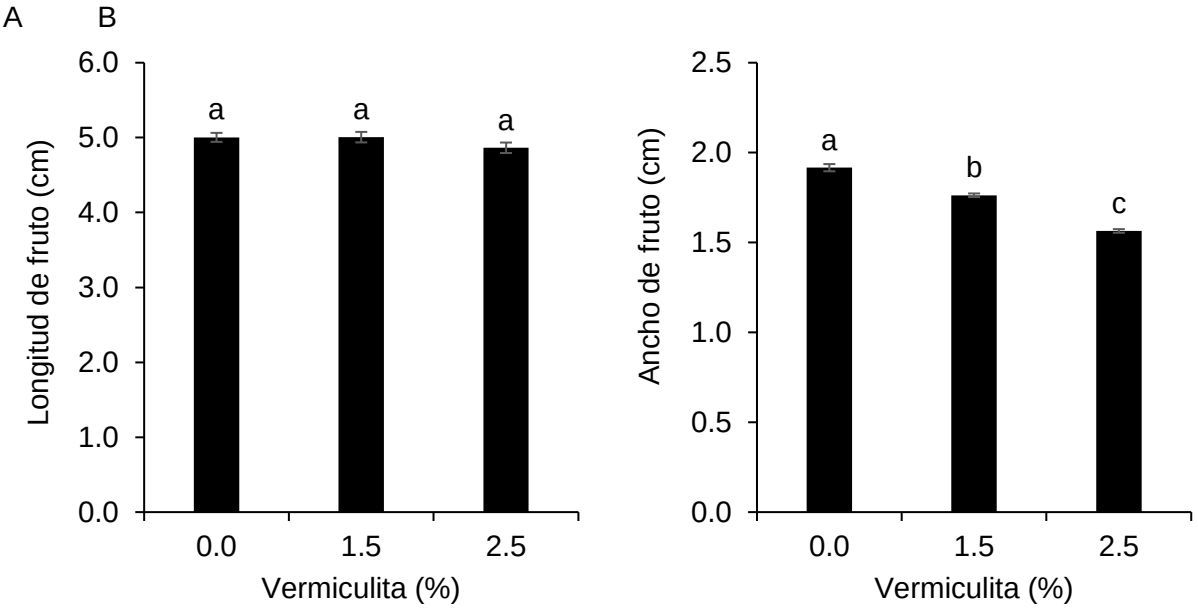


Figura 2. Longitud (A), y ancho (B) de frutos de plantas de chile (*Capsicum annum*) cultivadas en sustrato adicionado con vermiculita. Medias ± EE con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

Conclusiones

La adición de vermiculita al sustrato modificó el crecimiento de frutos de chile, al incrementar el número de frutos, disminuir el peso fresco y ancho de frutos. Por lo que será necesario continuar el estudio del efecto de la vermiculita en el crecimiento de especies de importancia agrícola, así como evaluar la interacción con el sustrato, y elucidar los mecanismos por los cuales este mineral tiene influencia en el crecimiento vegetal.

Referencias

Aziz, T., Maqsood, M. A., Kanwal, S., Hussain, S., Ahmad, H. R., & Sabir, M. (2015). Fertilizers and environment: issues and challenges. *Crop Production and Global Environmental Issues*, 575-598.

Chatzistathis, T., Papaioannou, E., Giannakoula, A., & Papadakis, I. E. (2021). Zeolite and vermiculite as inorganic soil amendments modify shoot-root allocation, mineral nutrition, photosystem II activity and gas exchange parameters of chestnut (*Castanea sativa* mill) plants. *Agronomy*, 11(1), 109.

Feng, J., Liu, M., Fu, L., Ma, S., Yang, J., Mo, W., & Su, X. (2020). Study on the influence mechanism of Mg^{2+} modification on vermiculite thermal expansion based on molecular dynamics simulation. *Ceramics International*, 46(5), 6413-6417.

Fussy, A., & Papenbrock, J. (2022). An overview of soil and soilless cultivation techniques—chances, challenges and the neglected question of sustainability. *Plants*, 11(9), 1153.

Hernández-Pérez, T., Gómez-García, M. D. R., Valverde, M. E., & Paredes-López, O. (2020). *Capsicum annuum* (hot pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 2972-2993.

Kremenetskaya, I., Ivanova, L., Chislov, M., Zvereva, I., Vasilieva, T., Marchevskaya, V., ... & Slukovskaya, M. (2020). Physicochemical transformation of expanded vermiculite after long-term use in hydroponics. *Applied Clay Science*, 198, 105839.

Li, M., Zhao, Y., Ai, Z., Bai, H., Zhang, T., & Song, S. (2021). Preparation and application of expanded and exfoliated vermiculite: A critical review. *Chemical Physics*, 550, 111313.

Rahman, M. H., Haque, K. S., & Khan, M. Z. H. (2021). A review on application of controlled released fertilizers influencing the sustainable agricultural production: A Cleaner production process. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101697.

SAS institute. 2004. SAS/STAT Versión 9.1. SAS institute Inc. Cary, NC, USA.

ALMACENES DE CARBONO EN SUELOS CALCÁREOS DE LA COMARCA LAGUNERA, MÉXICO

Santos Martínez Santiago[1*], Gerardo Sergio Benedicto Valdés[1]

[1] Edafología, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, Km. 36.5 Montecillo, Texcoco, 56230 Edo. de México, México. *Autor de Correspondencia: martinez.santos@colpos.mx

Introducción

El almacén de carbono total del suelo (CTS) se compone de carbono orgánico (COS) y carbono inorgánico (CIS) (Lorenz y Lal, 2018). En la mayoría de los suelos el carbono se encuentra principalmente en forma orgánica, pero en los suelos calcáreos, el carbono se encuentra en forma inorgánica (Lal, 2019).

Los suelos calcáreos, predominantes en regiones áridas y semiáridas, cubren aproximadamente el 30% de la superficie terrestre (Ma et al., 2021). Dada su extensa distribución, estos suelos desempeñan un papel crucial en el almacenamiento global de carbono, con estimaciones de 646±9 petagramos (Pg) para el COS y 1237±15 Pg para el CIS (Lal, 2019)

En México, los suelos calcáreos son comunes y se distribuyen el 10.2% del territorio nacional, concentrándose en el norte del país debido a las condiciones climáticas áridas (SEMARNAT, 2019). Sin embargo, existen pocos estudios de estos suelos, debido al relativamente pequeño valor de los suelos áridos ricos en carbonatos para la agricultura (Krasilnikov et al., 2013).

La Comarca Lagunera, ubicada en el norte de México, alberga extensas áreas de suelos calcáreos que sustentan tanto matorrales como zonas agrícolas (CONANP, 2023). Sin embargo, la información sobre las reservas de carbono en estos suelos es escasa, lo que limita la implementación de estrategias necesarias para su gestión sostenible. Por lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el almacén de carbono en los suelos calcáreos de la Comarca Lagunera.

Materiales y métodos

Para estudiar el contenido de carbono del suelo, bajo un patrón de muestreo de zigzag, se colectaron muestras de suelo calcáreo de la capa superficial (0-15 cm) tanto en zonas de matorral (25°53'56.20"N, 103°35'52.50"O) como de cultivo (25°53'51.58"N, 103°35'36.77"O) de la Comarca Lagunera, México.

Las muestras de suelo se sometieron a un proceso de acondicionamiento que incluyó secado a 105°C durante 24 horas hasta peso constante y tamizado con una malla de 2 mm de apertura como lo marca la NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2002).

Se determino el SOC por el método de oxidación húmeda (Walkley y Black, 1934), mientras que el SIC por el método de desplazamiento de agua (Horton y Newsom, 1953). La suma de ambos valores representa al CTS (Mikhailova et al., 2019). Además, se calculó la densidad aparente (DA) mediante el método del terrón (Al-Shammary et al., 2018) para calcular el contenido de COS, SIC y CTS en Mg ha^{-1} para la capa superficial (0-15 cm).

Resultados y discusión

La DA (Cuadro 1) indica una mayor compactación del suelo en el área de matorral (1.34 g cm^{-3}) que en el área agrícola (1.28 g cm^{-3}), lo anterior indica una menor capacidad de retención de humedad en el suelo del área de matorral debido a la reducción en su porosidad total (Assouline, 2006).

Cuadro 1. Almacenes de carbono de suelos calcáreos de la Comarca Lagunera, México

Propiedad	Unidad	Suelo Agrícola	Matorral
DA	g cm^{-3}	1.28	1.34
CIS	%	7.31	7.60
	Mg ha^{-1}	140.35	152.76
COS	%	0.23	0.10
	Mg ha^{-1}	4.42	2.01
CTS	%	7.54	7.7
	Mg ha^{-1}	144.77	154.77

DA= Densidad aparente; CIS = Carbono Inorgánico del suelo; COS = Carbono orgánico del suelo; CTS = Carbono Total del Suelo.

La cantidad de CIS fue relevante, ya que supero al COS en ambos sitios de muestreo (Cuadro 1). Para el matorral, el CIS tiene un valor de 152.76 Mg ha^{-1}, y de 2.01 Mg ha^{-1} para COS, mientras que en el área agrícola CIS tiene un valor de 140.35 Mg ha^{-1}, y de 4.44 Mg ha^{-1} para COS (Cuadro 1).

Si bien el contenido de COS es bajo, existe una mayor cantidad en el área agrícola que en el matorral, lo cual se puede asociar a la constante suplementación en los suelos agrícolas de la Comarca Lagunera con abonos orgánicos provenientes del estiércol del ganado bovino (Ortiz-Diaz et al., 2022; Figueroa-Viramontes et al., 2010).

El almacén de CIS resultó mayor en el matorral que en el área agrícola (Cuadro 1). Esta diferencia podría atribuirse principalmente a la disolución de carbonatos causada por las prácticas agrícolas, como el riego y la aplicación de fertilizantes (Sartori et al., 2007).

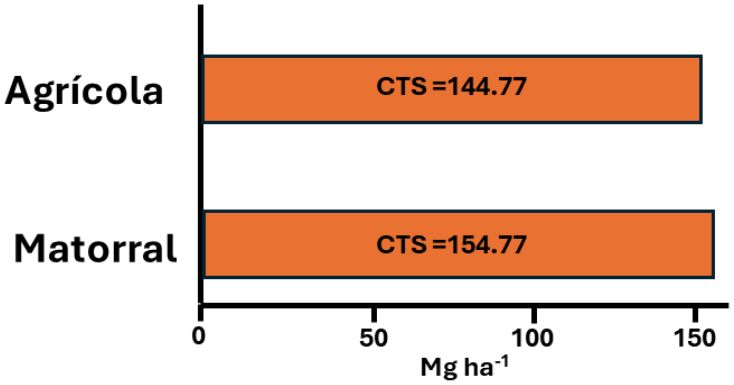


Figura 1. Almacenes de carbono total de los suelos (CTS) calcáreos de la Comarca Lagunera, México.

Para el caso de la Comarca Lagunera, los matorrales, que presentan un mayor contenido de CIS, tienen valores de CTS más elevados que las áreas agrícolas (Cuadro 1). Lo anterior ocurre porque en los suelos calcáreos, el valor del CTS está influenciado por el contenido de CIS debido a la abundancia de carbonatos y la menor presencia de materia orgánica (Lal, 2019).

Conclusiones

Los suelos calcáreos de la Comarca Lagunera constituyen un almacén de carbono de gran relevancia, destacando la abundancia CIS en comparación con COS, lo cual corrobora los hallazgos previos en este tipo de suelo. Existen indicios de que las prácticas agrícolas en los suelos calcáreos afecten a los almacenes de CIS y COS, por lo cual es crucial realizar investigaciones más detalladas sobre los factores que controlan la distribución y dinámica del carbono en estos suelos, así como sobre su vulnerabilidad a los cambios climáticos y las actividades humanas.

Referencias.

Al-Shammary, A. A. G., Kouzani, A. Z., Kaynak, A., Khoo, S. Y., Norton, M. & Gates, W. (2018). Soil bulk density estimation methods: A review. Pedosphere, 28(4), 581-596. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60034-7.

Assouline, S. (2006). Modeling the Relationship between Soil Bulk Density and the Water Retention Curve. Vadose Zone Journal, 12(4). https://doi.org/10.2136/vzj2005.0083.

CONANP. (2023). Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Área de Protección de Recursos Naturales Ríos y Montañas de la Comarca Lagunera, Durango, México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.

DOF (Diario Oficial de la Federación). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. México: Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002.

Figueroa-Viramontes, U., Cueto-Wong, J. A., Delgado, J. A., Núñez-Hernández, G., Reta-Sánchez, D. G., Quiroga-Garza, H. M., ... & Márquez-Rojas, J. L. (2010). Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. Terra Latinoamericana, 28(4), 361-369.

Krasilnikov, P., del Carmen Gutiérrez-Castorena, M., Ahrens, R. J., Cruz-Gaistardo, C. O., Sedov, S., & Solleiro-Rebolledo, E. (2013). The soils of Mexico. Springer Science & Business Media. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5660-1.

Lal, R. (2019). Carbon cycling in global drylands. Current climate change reports, 5, 221-232. https://doi.org/10.1007/s40641-019-00132-z.

Lorenz, K. & Lal, R. (2018). Soil Carbon Stock. In: Carbon Sequestration in Agricultural Ecosystems. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92318-5_2.

Ma, S., Hu, Y., Zeng, Q., Xu, Z., Cui, Y., Ma, Y., ... & Nan, Z. (2021). Temporal changes of calcareous soil properties and their effects on cadmium uptake by wheat under wastewater irrigation for over 50 years. Chemosphere, 263, 127971. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127971.

Mikhailova, E. A., Groshans, G. R., Post, C. J., Schlautman, M. A., & Post, G. C. (2019). Valuation of total soil carbon stocks in the contiguous United States based on the avoided social cost of carbon emissions. Resources, 8(4), 157. https://doi.org/10.3390/resources8040157.

Ortiz-Diaz, S. A., Reyes-González, A., Fortis Hernández, M., Santana, O. I., Zermeño González, H., & Preciado-Rangel, P. (2022). Profundidad de la cinta de riego y estiércol solarizado en la producción y calidad de maíz forrajero. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 28, 275-286. https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3282.

Sartori, F., Lal, R., Ebinger, M. H., & Eaton, J. A. (2007). Changes in soil carbon and nutrient pools along a chronosequence of poplar plantations in the Columbia Plateau, Oregon, USA. Agriculture, Ecosystems & Environment, 122(3), 325-339.

SEMARNAT. (2019). Informe de la situación del medio ambiente en México 2018. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

Song, X. D., Yang, F., Wu, H. Y., Zhang, J., Li, D. C., Liu, F., ... & Zhang, G. L. (2022). Significant loss of soil inorganic carbon at the continental scale. National Science Review, 9(2), nwab120. https://doi.org/10.1093/nsr/nwab120.

APLICACIÓN DE HIDROGELES Y LOMBRICOMPOSTA PARA OPTIMIZAR LA HUMEDAD DEL SUELO EN LA PRODUCCIÓN DE FRIJOL EJOTERO (*Phaseolus vulgaris*)

Moisés Márquez-Velázquez[1]; Francisco Rodríguez-Neave[2]; Prócoro Díaz-Vargas[2]; Mateo Hernández-Vargas[2]; Joel Pineda-Pineda[2]. Víctor Manuel Ordaz-Chaparro[1*]

[1]Área de física de suelos, Programa de edafología. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. C.P. 56230. [2]Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo, km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. C.P. 56227. * Autor de correspondencia: ordaz@colpos.mx

Introducción

Las tendencias en el consumo del frijol ejotero, indican un incremento en su demanda, sin embargo, el problema del agua se hace cada vez más común. Existe la necesidad de crear opciones para el óptimo aprovechamiento del recurso agua en zonas de escaso temporal, siendo la evaporación el principal factor de pérdida de agua en los sistemas agrícolas. Se estima que entre 75 y 80 % de la precipitación anual, regresa a la atmósfera sin haber sido aprovechada por la planta, lo que resulta en una baja eficiencia en el aprovechamiento de las lluvias (Bennie y Hensley, 2000). La baja retención de humedad del suelo es un factor que influye tanto en los cultivos como en la sustentabilidad del suelo y lo conduce a una baja de fertilidad y degradación.

La lombricomposta es un material orgánico que destaca por su alta concentración de ácidos húmicos y nutrientes esenciales. Se genera mediante la acción de lombrices que facilitan la biooxidación y estabilización del compost (Castellini et al., 2024). Sin embargo, a pesar de su uso extendió aún no hay datos de los efectos benéficos a corto plazo como mejorador de la estructura del suelo (Rivier et al., 2022). Para incrementar la capacidad de retención de agua en el suelo, se tiene la opción de los hidrogeles. El compuesto es seguro y relativamente barato, considerando su notable potencia de influir física y químicamente en los procesos edáficos (Zayas et al., 2023).

El objetivo del presente trabajo fue incrementar la capacidad de retención de la humedad en el suelo a través de la aplicación de hidrogeles y lombricomposta.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en la mixteca poblana entre los paralelos 17° 54’ y 18° 08’ de latitud norte; los meridianos 98° 14’ y 98° 24’ de longitud oeste; a una altitud de 950 m. El suelo predominantemente es arenoso (60 % de arena, 15 % de limo y 25 % de arcilla). El rango de temperatura se encuentra entre los 20 – 26°C, con una precipitación de 700 a 1,000 mm, el clima se considera semi-seco y cálido subhúmedo con lluvias en verano.

Se evaluaron 3 enmiendas a tres niveles. 2 hidrogeles: “LLUVIA SOLIDA®” y “RAÍZ-SET HYDRO®” y una lombricomposta producida localmente. Se utilizaron bolsas negras de plástico 40 x 40 cm con 15 kilogramos de suelo previamente tamizado en una malla de 2 mm, posteriormente se añadió la enmienda correspondiente a cada tratamiento mezclándola homogéneamente con el suelo. Se trasladaron todas las bolsas a un módulo con una malla antiáfidos y una malla sombra, donde se humedeció el suelo hasta un punto cercano a la saturación. Una vez que el excedente de agua se infiltró, se sembraron 3 semillas de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad STRIKE®.

Para monitorear la retención de humedad se utilizaron vasos de plástico con 100 g del mismo suelo seco de cada tratamiento. Se agregaron 30 mL de agua y se pesaron a las 24 horas de haber sido humedecidos. Se realizaron 5 seguimientos de la humedad del suelo con un espaciamiento de 4 a 5 días entre sí. Con una balanza analítica se anotó el peso y trasformando los valores a retención de humedad mediante la ecuación.

$$RH = \frac{PSH - PSS}{PSS} * 100$$

Dónde: RH: Retención de humedad en %, PSH= Peso del suelo húmedo, PSS= Peso del suelo seco

Los factores para estudiar fueron la concentración de los hidrogeles “LLUVIA SÓLIDA”, ““RAÍZ-SET HYDRO” y la lombricomposta. Se manejaron 3 niveles de cada uno: 4 g/L, 2 g/L y 1 g/L en el caso de los hidrogeles, en la lombricomposta se manejaron los porcentajes de 50 %, 25 % y 15 % en relación al peso total de la bolsa. Lo anterior generó 10 tratamientos, incluyendo un testigo con cuatro repeticiones, resultando 40 bolsas consideradas como unidades experimentales. éstas se arreglaron bajo un diseño de bloques completos al azar. Las variables de estudio fueron: peso de las vainas del frijol ejotero y retención de la humedad en el suelo.

Para los análisis estadísticos de los datos obtenidos, se utilizó el programa SAS (Statistical Analisys System) Versión 9.4. Se realizó un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias mediante la diferencia significativa honesta de Tukey con nivel de significancia al 5 % ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Retención de humedad. De acuerdo con el Cuadro 1, en la primera fecha de muestreo el tratamiento 9 conservó más humedad a diferencia de los demás tratamientos. Para la segunda fecha las enmiendas “LLUVIA SÓLIDA” y la lombricomposta mostraron un aumento significativo en la retención de humedad, con respecto al testigo, en contraparte los tratamientos con comportamiento similar al testigo fueron el T4 y T5. En la tercera fecha, la lombricomposta (T7, T8 y T10) junto al tratamiento 6 presentaron los mayores incrementos en retención de humedad. Para la cuarta fecha, la lombricomposta siguió destacando con la mayor retención de humedad. El último muestreo la lombricomposta (T7, T8 y T10) mostró una retención superior, alcanzando un 663.8 % más que el testigo, siendo la más efectiva en comparación con todas las demás enmiendas

La mejora en todos los tratamientos con altos niveles de lombricomposta, se debe gracias el efecto benéfico de la materia orgánica incrementando el espacio poroso del suelo. Estos resultados son similares a trabajos con un enfoque similar (Castellini et al., 2024; Ma et al., 2022; Rivier et al., 2022).

Cuadro 1. Comparación de medias para los valores de la humedad retenida expresados en porcentaje en base al peso húmedo del suelo de cada tratamiento.

Tratamiento	Fechas					Análisis combinado
	07-12	11-12	15-12	21-12	25-12	
T1 LS 1 g/L	21.47 b†	19.92 a	7.96 cd	2.51 cde	1.61 c	10.69 d
T2 LS 2 g/L	21.50 b	19.84 ab	7.75 cd	2.75 cd	1.72 bc	10.71 d
T3 LS 4 g/L	21.05 b	19.22 abcd	8.90 c	3.06 c	1.80 bc	10.82 d
T4 RSH 1 g/L	21.14 b	17.35 f	7.15 de	2.43 e	0.71 d	9.39 e
T5 RSH 2 g/L	21.09 b	17.56 fe	11.41 b	5.09 b	1.45 c	11.32 c
T6 RSH 4 g/L	21.27 b	18.36 dec	11.82 ab	5.48 b	1.99 bc	11.78 b
T7 LC 15 %	21.78 b	18.78 bcd	11.77 ab	4.97 b	1.83 bc	11.82 b
T8 LC 25 %	21.19 b	18.26 de	11.81 ab	5.75 b	2.43 b	11.89 b
T9 LC 50 %	22.55 a	19.41 abc	12.94 a	7.43 a	3.85 a	13.23 a
T10 TESTIGO	21.20 b	16.67 f	6.60 de	1.77 de	0.58 d	9.36 e
CV	1.40	2.47	6.25	11.79	18.05	4.02
DSH	0.73	1.11	1.46	1.15	0.79	0.45

† Medias en columnas con las mismas letras no presentan diferencia estadística significativa (Tukey, α = 0.05).; LS = "LLUVIA SOLIDA", RSH = "RAÍZ-SET HYDRO" LC = Lombricomposta CV = Coeficiente de variación; DSH = Diferencia Significativa Honesta de Tukey.

Producción de vainas. De acuerdo al Cuadro 2, la mayor producción de vainas, corresponden al tratamiento 9, superando ampliamente al testigo, posteriormente los tratamientos 3 y 6 también se destacan a comparación del testigo, duplicando a los valores obtenidos por el testigo, superando la diferencia honesta significativa (52.07 g). Sin embargo, la diferencia con los demás tratamientos y el testigo no es estadísticamente significativa, debido a que los tratamientos restantes se encuentran por debajo de 52.07 g de producción en vainas.

La mayor producción se encuentra en la dosis más alta de lombricomposta, esto se debe al efecto benéfico de proporcionar nutrientes, principalmente nitrógeno y fosforo (Ma et al., 2022; Teka et al., 2024) y la mayor capacidad de retención de humedad, probablemente debido a su impacto en la estructura del suelo y la distribución del tamaño de los poros (Rivier et al., 2022).

Cuadro 2. Comparación de medias del peso de vainas por tratamiento.

Tratamiento	Descripción	Peso vainas (g)
T1	1 g/L "LLUVIA SOLIDA"	34.88 bc†
T2	2 g/L "LLUVIA SOLIDA"	48.10 abc
T3	4 g/L "LLUVIA SOLIDA"	52.51 ab
T4	1 g/L ""RAÍZ-SET HYDRO"	35.30 bc
T5	2 g/L ""RAÍZ-SET HYDRO"	42.47 abc
T6	4 g/L ""RAÍZ-SET HYDRO"	54.08 ab
T7	15 % LOMBRICOMPOSTA	38.64 abc
T8	25 % LOMBRICOMPOSTA	38.84 abc
T9	50 % LOMBRICOMPOSTA	61.31 a
T10	TESTIGO	28.35 c
	CV (%)	21.54
	DSH	23.72

† Medias en columnas con las mismas letras no presentan diferencia estadística significativa (Tukey, α ≤ 0.05 CV = Coeficiente de variación; DSH = Diferencia Significativa Honesta.

Conclusiones

Después de 9 días de haber sido humedecidos, los tratamientos con mayor retención de humedad fueron los tratamientos T6, T7, T8 y T9.

El tratamiento 9 presentó los valores más altos de producción de vainas de ejote al igual que en la retención de humedad.

Referencias

Castellini, M., Bondì, C., Giglio, L., & Iovino, M. (2024). Impact of vermicompost addition on water availability of differently textured soils. Heliyon, 10(15). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35699

Ma, H., Zhao, S., Hou, J., Feyissa, T., Duan, Z., Pan, Z., Zhang, K., & Zhang, W. (2022). Vermicompost Improves Physicochemical Properties of Growing Medium and Promotes Plant Growth: A Meta-analysis. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 22(3), 3745-3755. https://doi.org/10.1007/s42729-022-00924-7

Rivier, P. A., Jamniczky, D., Nemes, A., Makó, A., Barna, G., Uzinger, N., Rékási, M., & Farkas, C. (2022). Short-term effects of compost amendments to soil on soil structure, hydraulic properties, and water regime. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 70(1), 74-88. https://doi.org/10.2478/johh-2022-0004

Teka, K., Abraha, B., Mebrahtom, S., Tsegay, A., Welday, Y., Gessesse, T. A., Ostwald, M., & Hansson, L. (2024). Effect of Vermicompost on Soil Fertility and Crop Productivity in the Drylands of Ethiopia. Compost Science and Utilization. https://doi.org/10.1080/1065657X.2024.2366784

Zayas, E. C., Martínez, G. A., Puebla, J. H., Robaina, F. G., González, R. C., & Pérez, M. P. (2023). Los hidrocontenedores y su influencia en las propiedades microfísicas del suelo. Revista Ingeniería Agrícola, 13(3), 10-16.

REPRESENTATIVIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LA CALIDAD FÍSICA DE SUELOS BAJO LABRANZA INTENSIVA

Víctor Manuel Montoya-Jasso[1], Víctor Manuel Ordaz-Chaparro[1*], Gerardo Sergio Benedicto-Valdés[1], Enrique Ojeda-Trejo[1], Edgar Vladimir Gutiérrez-Castorena[2], Violeta Abigail Zacarías-Gutiérrez[1], Jesús Manuel Arreola-Tostado[3]

[1]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 56264. [2]Universidad Autónoma de Nuevo León. Pedro de Alba S/N, Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. 66451. [3]Consultor agrícola. Calle Apaseo el Grande #114, Colonia Guanajuato, Celaya, Guanajuato, México. 38010. *Autor de correspondencia: ordaz@colpos.mx

Introducción

El manejo agrícola intensivo tiene como resultado la alteración del suelo a tal grado que se refleja en la incapacidad de adaptación y recuperación, a mediano plazo, de características como estructura, capacidad de almacenamiento de agua y resistencia a factores ambientales como vientos y precipitaciones violentas ocasionando una disminución de su calidad y fertilidad física (García et al., 2018) llegando a provocar compactación, formación de costras salinas y liberación de gases de importancia ambiental (Rocha et al., 2012). Las características edáficas como la densidad aparente (Dap), la proporción de partículas y la conductividad hidráulica (CHS) influyen en mayor grado por la sensibilidad que presentan a cambios en el manejo del suelo (Novillo et al., 2018), resaltando a la materia orgánica del suelo (MOS) como una de las características más importantes para generar índices de calidad, incluida la calidad física. Reyes (2014) aconseja establecer estudios de intensidad de uso y caracterización del suelo para abordar temas de degradación que puedan generar estrategias preventivas o correctivas a efectos adversos en la susceptibilidad. Recientemente, se ha optado por involucrar los avances tecnológicos que permitan la restauración y transformación de los manejos empleados en los sistemas de producción agrícola considerando el mantenimiento de criterios de calidad de suelo (García et al., 2012) para definir atributos con mayor impacto que contribuyan a la generación de índices del estado actual del suelo (Montoya-Jasso et al., 2022). El objetivo fue evaluar la calidad física de suelos sometidos a cambios frecuentes de sus características por efectos de un manejo agrícola de labranza convencional.

Materiales y métodos

Suelos y determinaciones de laboratorio. Se emplearon cinco suelos clasificados como vertisoles, provenientes del Jaral del Refugio, Acámbaro, Guanajuato, México. El muestreo fue realizado de 0 a 10 cm de profundidad, aplicando un sistema de submuestra en cinco puntos. Se instalaron núcleos de PVC de 3” de diámetro y 10 cm de largo, para formar columnas inalteradas del suelo. El suelo se secó a temperatura ambiente hasta alcanzar un peso constante y obtener la densidad aparente mediante la Ecuación 1. Posteriormente, la porosidad total (EPT) se calculó siguiendo la Ecuación 2. La clasificación textural se determinó por Bouyoucos (1936), y la capacidad de campo (CC), el punto de marchitez permanente (PMP) y la CHS mediante lo propuesto por Reynolds y Elrick (1986). El diámetro medio ponderado (DMP) se determinó de acuerdo con Burés-Pastor (1997), el contenido de MOS mediante Walkley y Black (1947) y las variables catalogadas como Límites de Atterberg: índice de contracción (IC), índice plástico (IP), límite líquido (LL) y rango de trabajabilidad (RT). Consiguiente, se estimaron los índices de separabilidad de partículas (ISP), índice de sellado-encostramiento (ISE) e índice de encostramiento (IE) con apoyo de las ecuaciones propuestas por Florentino (1998) (Ecuaciones 3 y 4) y Comerma et al., (1992) (Ecuación 5):

$$Ec.1\ \ Densidad\ aparente\ (g\ cm^{-3}) = \frac{Masa\ de\ suelo\ (g)}{Volumen\ del\ nucleo\ (cm^3)}$$

$$Ec.2\ \ Porosidad\ total\ (\%) = \left(1 - \left(\frac{Dap(g\ cm^{-3})}{Dr\ (g\ cm^{-3})}\right)\right) * 100$$

$$Ec.3\ \ ISP = \frac{\%Arcillas}{\%Limos + \%Arenas}$$

$$Ec.4\ \ ISE = \frac{6.7433 * \%Materia\ orgánica}{0.55001 * (\%Limos + \%Arenas)}$$

$$Ec.5\ \ IE = \frac{1.1255 * \%Limos}{(\%Arcillas + 10)(\%Materia\ orgánica)}$$

Análisis multivariante

Para el análisis de las determinaciones se utilizó el software estadístico SAS® en su versión 9.3 y se ejecutó la metodología propuesta por Florentino (1998), donde se recomienda aplicar un análisis de componentes principales (ACP) para obtener la jerarquización de las variables más importantes y calcular los índices de calidad física de suelos (ICFS). Se realizaron dos ACP, el primero con la inclusión de la variable de MOS de todos los suelos y, en el segundo, se eliminó la variable de MOS; para conocer el impacto de la MOS en la creación de ICFS:

1) Se identifica el nivel de degradación 1 a 5, donde 1 es el nivel con menor degradación, y se obtiene el valor de identidad de degradación del nivel, Ecuación 6:

$$Ec.6\ \ ID_N = \frac{V_{min}}{V_{max}}$$

2) El índice de degradación (ID) se calcula mediante la Ecuación 7:

$$Ec.7\ \ ID = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{ID_N}{\#\ V}\right)$$

3) Para finalizar, el ICFS se obtiene aplicando la Ecuación 8:

$$Ec.8\ \ ICFS = \frac{1}{ID}$$

Resultados y discusión

El Cuadro 1 muestra los valores medios de la caracterización física y contenido de MOS, se destaca la homogeneidad en el contenido de arcillas (40%), presuntamente arcillas expansivas dada la clasificación del suelo, lo que predispone que se presente compactación; sin embargo, la Dap de los suelos es baja (<1.11 g cm-3) lo que indica la ausencia de compactación dada la frecuente mecanización (Álvarez y Steinbach, 2009) y por efectos del elevado contenido de MOS (>5.85%) que, de acuerdo con Jaurixje et al., (2013), tiende a provocar mejoras continuas en propiedades físicas y químicas. Los suelos S2, S3 y S5 presentaron una nula CHS, estos resultados evidencian un efecto reductivo en el EPT del suelo que, para estos suelos, fue menor en comparación con los suelos S1 y S4; señalando la alteración estructural por una intervención intensa en la preparación del suelo para fines agrícolas (de Jong van Lier, 2017).

Cuadro 1. Valores promedio de las determinaciones físicas en vertisoles del Bajío.

Suelo	Dap	EPT	A	L	Ar	CC	PMP	CHS	DMP	MOS	ISP	ISE	IE	LC	LP	LL	RT
	g cm^{-3}	%						cm h^{-1}	mm	%				% hg			
S1	0.96	60.94	7.92	52.08	40	48.00	29.33	1.33	5.83	6.63	0.667	0.495	1.355	33.94	38.10	57.04	18.94
S2	1.01	57.46	3.27	56.73	40	59.00	35.67	0.000	6.22	8.58	0.667	0.563	1.753	32.70	37.07	62.80	25.74
S3	0.94	55.22	13.48	46.52	40	38.00	30.67	0.000	6.67	5.85	0.667	0.383	1.195	35.64	37.35	61.26	23.92
S4	1.11	54.35	19.84	40.16	40	46.33	33.00	7.000	4.39	8.19	0.667	0.188	1.673	37.18	40.90	63.34	22.44
S5	1.07	56.79	7.38	52.62	40	38.67	29.00	0.000	6.62	6.24	0.667	0.548	1.275	30.25	36.82	59.26	22.44

Cuadro 2. Autovalores por componente principal de las determinaciones realizadas a suelos del Bajío con influencia de la MO.

CP	Varianza (%)	Dap	EPT	A	L	Ar	CC	PMP	CHS	DMP	MO	ISP	ISE	IE	LC	LP	LL	RT
CP1	97.40	0.00	0.17	0.30	0.21	-0.21	0.00	0.13	-0.29	0.21	-0.31	0.25	-0.26	0.19	0.25	0.25	0.30	0.24
CP2	1.41	0.00	-0.05	-0.14	-0.34	0.34	0.00	0.40	-0.23	0.27	0.05	0.27	0.09	0.27	0.27	-0.17	-0.15	0.03

Cuadro 3. Autovalores por componente principal de las determinaciones realizadas a suelos del Bajío sin influencia de la MO.

CP	Varianza (%)	Dap	EPT	A	L	Ar	CC	PMP	CHS	DMP	ISP	ISE	IE	LC	LP	LL	RT
CP1	97.31	0.00	0.17	0.32	0.26	-0.26	0.00	0.09	-0.27	0.18	-0.32	-0.30	0.19	0.23	0.28	0.32	0.24
CP2	1.46	0.00	-0.04	-0.09	-0.31	0.31	0.00	0.45	-0.29	0.32	0.002	0.23	0.15	0.33	-0.11	-0.09	0.07

Donde: CP1: componente principal 1, CP2: componente principal 2, Dap: densidad aparente, EPT: espacio poroso total, A: arenas, L: limo, Ar: arcillas, CC: capacidad de campo, PMP: punto de marchitez permanente, CHS: conductividad hidráulica saturada, DMP: diámetro medio ponderado, MO: materia orgánica, ISP: índice de separabilidad de partículas, ISE: índice de sellado-encostramiento, IE: índice de encostramiento, LC: límite de contracción, LP: límite plástico, LL: límite líquido y RT: rango de trabajabilidad.

Cuadro 4. Evaluación de la calidad física de vertisoles del Bajío sujetos a labranza convencional.

Suelo	ID	Clasificación ID	ICFS	Clasificación ICFS	ICFS (MOS)	Clasificación ICFS (MOS)
S1	0.84	Muy alta	1.19	Muy baja	4.52	Alta
S2	0.84	Muy alta	1.19	Muy baja	4.78	Alta
S3	0.96	Muy alta	1.04	Muy baja	4.60	Alta
S4	0.88	Muy alta	1.14	Muy baja	4.49	Alta
S5	0.92	Muy alta	1.09	Muy baja	4.56	Alta

Donde: ID: índice de degradación, ICFS: índice de calidad física de suelos y MOS: materia orgánica del suelo.

Aunado al menor DMP (<5.83 mm) de los suelos S1 y S4, en conjunto con un IE <1, estos suelos presentan una condición de elevada estabilidad sin problemas de compactación superficial además de resistencia mecánica a pérdidas por influencia del aporte de agua por riego o precipitaciones.

Una vez ejecutado el ACP, se observó que, para el modelo con inclusión de MOS el ACP explicó el 98.81% de la variabilidad (Cuadro 2), para el modelo con exclusión de la variable MOS el ACP explicó un 98.76% de la variabilidad (Cuadro 3). Lo anterior refuerza la confiabilidad, certeza y aplicación de los modelos para su empleo en la determinación de los índices de calidad física. Para obtener los ID y los ICFS es necesario utilizar las variables con los mayores autovalores obtenidos en el CP que explique el mayor porcentaje de varianza (Reyes, 2014). Para el caso del modelo con inclusión de MOS, las variables representativas fueron el LL, proporción de arenas, LC, ISP y LP (Cuadro 2); mientras que para el modelo con exclusión de MOS fueron: el LL, proporción de arenas, LP, proporción de limos y RT por ser aquellas que muestran una mayor correlación y un elevado valor discriminatorio (Cuadro 3).

El Cuadro 4 muestra la clasificación de los ID e ICFS de los suelos evaluados. Se aprecia que el S4 presenta el ID más bajo, propiciado por la estabilidad resultado de la presencia de partículas con DMP <4.39 mm y a la elevada CHS (7.0 cm h-1) (Cuadro 1), lo que, de acuerdo con Reyes (2019), disminuye los riesgos de erosión en el suelo. El resto de los suelos se encuentra con un ID moderado, indicando la disminución de la retención y disponibilidad de humedad (CHS <1.0 cm h-1, Cuadro 1) (Minasny y McBratney, 2018) por la presencia de procesos mecanizados con mayor intensidad (Liu et al., 2022).

Sobresale la mejora de los ICFS (Cuadro 4) cuando se aportan materiales orgánicos al suelo causando que la calidad física se vea mejorada totalmente por la creación de agregados del suelo por efecto de la liberación y formación de quelatos provenientes de la mineralización de la MOS en conjunto con las arcillas del suelo (Montoya-Jasso et al., 2021), aunado a la generación de una reserva de materiales orgánicos de lenta mineralización, por el aporte de residuos, que aseguran la conservación de la calidad física de los suelos (Rauber et al., 2012).

Conclusiones

El sistema de manejo agrícola intensivo ocasiona la reducción de la capacidad para retener y distribuir la humedad en la capa arable del suelo, lo que refleja la presencia de efectos de degradación muy elevados. El aporte de materiales orgánicos en la agricultura intensiva mejora la calidad física del suelo durante un periodo considerable, lo que impacta positivamente en la conservación del suelo.

Referencias

Álvarez, R., & Steinbach, H. (2009). A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. Soil and Tillage Research, 104(1),1-15. https://doi.org/10.1016/j.still.2009.02.005

Bouyoucos, G. J. (1936). Directions for Making Mechanical Analysis of Soils by the Hydrometer Method. Soil Science 4(3): 225–230. https://doi.org/10.1097/00010694-193609000-00007

Burés-Pastor, S. (1997). Sustratos. Madrid, España: Ed. Agrotécnicas S. L. ISSN: 1132-2950.

Comerma, J., Torres, S., Lobo, D., Fernández, R., Delgado, R., & Madero, L. (1992). Aplicación del sistema de evaluación de tierras de la FAO, 1985, en la zona de Turén, Venezuela. Cuadernos de Agronomía, 1(1):24.

de Jong van Lier, Q. (2017). Field capacity, a valid upper limit of crop available water? Agric. Water Manag. 193, 214–220. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.017

Florentino, A. A. (1998). Guía para la evaluación y monitoreo de la degradación de suelo y de la sostenibilidad de uso de la tierra: indicadores físicos-valores críticos. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. U.C.V. Maracay, Venezuela. 1-9 pp.

García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. Pastos y Forrajes. 35(2): 125-138.

García, D., Cárdenas, J., & Silva, A. (2018). Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades físicoquímicas y microbiológicas en un inceptisol, Colombia. Revista de ciencias agrícolas. 35(1), 16-25. https://doi.org/10.22267/rcia.183501.79

Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M., & Contreras. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, estado Lara. Bioagro. 25(3). 217-222.

Liu, H., Rezanezhad, F., & Lennartz, B. (2022). Impact of land management on available water capacity and water storage of peatlands. Geoderma 406, 115521. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115521

Minasny, B., & McBratney, A. B. (2018). Limited effect of organic matter on soil available water capacity. Eur. J. Soil Sci. 69, 39–47. https://doi.org/10.1111/ejss.12475

Montoya-Jasso, V. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Ruiz-Bello, A., & Arreola-Tostado, J. M. (2021). Caracterización química y física de sustratos enriquecidos con minerales y composta. Terra Latinoamericana. 39, 1-10. e601. https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.601

Montoya-Jasso, V. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Ojeda-Trejo E., & Gutiérrez-Castorena E. V. (2022). Atributos químicos para definir la aptitud agrícola de vertisoles del Bajío mexicano. Suelos Ecuatoriales: 52(1y2): 130-136. https://doi.org/10.47864/SE(52)2022p130-139_163

Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., Nabel, V., Albán, K., & Morales, F. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. Temas Agrarios, 23(2), 177-187. https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1301

Rauber, L., Piccolla, C., Andrade, A., Friederichs, A., Mafra, Á., Corrêa, J., & Albuquerque, J. (2012). Physical properties and organic carbon content of a Rhodic Kandiudox fertilized with pig slurry and poultry litter. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36(4), 1323-1332. https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000400026

Reyes, R. W. J. (2014). Procesos de compactación en un suelo vertisol bajo cuatro condiciones de manejo en la llanura de Coro, estado Falcón, Venezuela. Bioagro. 26(1): 39-48.

Reyes, R. W. J. (2019). Comparación de tres métodos de evaluación de la calidad física en un suelo vertisol de la llanura de Coro, Falcón-Venezuela. CIENCIAMATRIA. 5(8): 144-173. https://doi.org/10.35381/cm.v5i8.91

Reynolds, W, D., & Elrick, D. E. (1986). A method for simultaneous in situ measurement in the vadose zone of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the conductivity presure-head relationship. Ground Water Monit. Rev., 6: 84-95. https://doi.org/10.1111/J.1745-6592.1986.TB01229.X

Rocha, V. M. A., Sánchez, P. J., & Azero, M. (2012). Estudio del mejoramiento de la calidad del suelo por el uso de diferentes enmiendas orgánicas en el cultivo de papa (Solanum tuberosum ssp.) en la Granja Modelo Pairumani. Acta Nova. 5(4): 417-444.

SAS Institute. (2011). SAS for windows. Release STAT 9.3. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

Walkley, A., & Black, I. A. (1947). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37(1), 29-38. https://doi.org/10.1097/00010694- 193401000-00003

EL PAPEL VITAL DEL SUELO EN LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA TERRESTRE. LA SEGURIDAD DEL SUELO, Y LOS RETOS DE MÉXICO

Armando López-Santos[1*] y Jorge Luis García-Rodríguez[2]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Carretera Gómez Palacio-Chihuahua km 40. 35230 Bermejillo, Durango, México. [2]Comisión Nacional para las Zonas Áridas, Blvd. Vito Alessio Robles 2565 Nazario S. Ortiz Garza 25100 Coahuila. *Autor para correspondencia: alopez@chapingo.uruza.edu.mx

Resumen

En décadas recientes, se han identificado diversas funciones del suelo integradas en cuatro servicios ecosistémicos: provisión, regulación, soporte y cultural. Países como México no deben ser la excepción en impulsar y promover este reconocimiento. Los objetivos del presente documento son los siguientes: 1) evaluar la situación actual de los recursos edáficos como un asunto de seguridad mundial, fundamentado en los servicios ecosistémicos que proporciona; 2) describir la importancia de la construcción de conocimientos sobre el suelo en relación con la condición humana; y 3) situar la relevancia del suelo como un tema central en la gestión de conocimientos para la resolución de problemas. El presente estudio integra información proveniente de fuentes especializadas en el desarrollo de conocimientos en el campo de la Edafología y áreas afines, con el propósito de respaldar ideas clave hacia la valoración hedónica del suelo. Este ensayo destaca la urgencia de considerar los recursos edáficos como un asunto de seguridad mundial, fundamentando esta necesidad en los servicios que el suelo brinda, donde subyacen condiciones humanas como el bienestar y el placer. La naturaleza holística del suelo, por sí sola, no solo define su importancia y valor en la estabilidad y preservación de la vida terrestre, sino que también justifica la adopción de un enfoque transdisciplinar con la participación, por ejemplo, de biólogos, geólogos, antropólogos, químicos y economistas, entre otros.

Palabras clave: enfoque holístico, edafología, seguridad alimentaria, valoración hedónica

INVESTIGACIÓN EN EL MEJORAMIENTO GENÉTICO PARA LA PRODUCCIÓN DE SEMILLAS DE HORTALIZAS EN LA UAAAN

Neymar Camposeco Montejo[1], Antonio Flores Naveda[1], Josué Israel García López[1], Perpetuo Álvarez Vásquez[2], Xóchitl Ruelas Chacón

[1]Profesor investigador del Departamento de Fitomejoramiento, [2] Profesor investigador del Departamento de Recursos Naturales, [1]Profesor investigador del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, C.P. 25315 Saltillo, Coahuila, México.

Introducción

Dentro de la agricultura, las hortalizas representan parte importante de las cosechas en México, de acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, la superficie sembrada para impulsar esta actividad económica agrícola, cerró en 2023 con más de 20 millones de hectáreas y la demanda de hortalizas se proyecta con un promedio de crecimiento anual del mercado de 5.14% (SIAP, 2023). Dentro de las hortalizas de más importancia destacan los chiles, jitomates, cebollas, cucurbitáceas y tomate verde, que para ser producidos necesitan de semillas mejoradas, que generalmente son importadas al país por empresas trasnacionales, y se cita que el valor de las semillas en México ronda los 1000 millones de dólares anuales (PNS-SADER, 2024).

La producción de semillas de hortalizas en México es limitada, ya que se estima que del total que se necesita para producir las hortalizas, menos del 10% se producen en el país. Estos datos representan un área de oportunidad para el mejoramiento genético y la producción de semillas en el país y dado que la semilla es un insumo fundamental en toda la cadena productiva de hortalizas, resulta de interés para que estas semillas sean producidas internamente y eventualmente comercializarse a precios competitivos (PNS-SADER 2024)

A pesar de que México es una potencia en la producción y exportación de hortalizas y frutillas, no existen programas nacionales para la generación de nuevas variedades, prácticamente la investigación y desarrollo de estos cultivos es realizada por empresas privadas y extranjeras. Aunque la evolución histórica de la investigación agrícola y la consecuente producción de semilla mejorada, es determinante para entender la situación actual del mejoramiento genético y la actividad semillera, dicha investigación está liderada por la iniciativa privada extranjera, no obstante, también se desarrolla en instituciones públicas como INIFAP, CIMMYT, UACh, COLPOS, UAAAN y UNAM principalmente (PNS-SADER, 2024).

En la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, el mejoramiento genético se centra en cultivos básicos, principalmente maíz, trigo, tritícale, frijol y sorgo, en cuanto a hortalizas es escaso, enfocado los esfuerzos en melones y jitomates determinados, por lo tanto, el área de oportunidad para trabajar en el mejoramiento genético de otras hortalizas resulta de gran importancia. Por lo tanto, el objetivo que se pretende es trabajar en el mejoramiento genético de chile poblano, pimiento morrón, chile habanero, chile serrano, jitomates determinados e indeterminados para el desarrollo de nuevos híbridos o variedades para la producción de semillas con variedades nacionales.

Investigación en el mejoramiento genético de Chile Habanero

Durante el año 2017, se realizó una colecta en la península de Yucatán, de *Capsicum chinense* Jacq. tambien llamado “chile habanero”, las muestras colectadas solo se identificaron por el lugar de colecta, posteriormente las muestras fueron separadas por la coloración a la maduración (naranja y rojo), durante el 2018 se realizaron las primeras plantaciones y caracterizaciones en Coahuila, con pequeños lotes aislados bajo invernadero, seleccionando de entre las muestras, plantas sobresalientes y de buen vigor (rendimiento y tolerancia a factores bióticos y abióticos), acción que se repitió en 2019, año en que se seleccionaron y caracterizaron plantas individuales con atributos similares y sobresalientes, fue bajo condiciones de invernadero y en sustrato, este proceso de selección de plantas individuales se repitió entre 2020 y 2023 hasta “uniformizar” los caracteres de una variedad en desarrollo.

Investigación en el mejoramiento genético de Chile Poblano

Durante el año 2018, se realizó una colecta de chile poblano tipo criollo en tres regiones productoras del país, la primera en San Martín Texmelucan, Puebla, la segunda en Villa de Coss, Zacatecas, y la tercera en Tomatlan, Jalisco, las muestras colectadas se identificaron por el lugar de colecta, posteriormente las muestras fueron separadas por la coloración a la maduración (rojo y chocolate), durante el 2019 se realizaron las primeras plantaciones y caracterizaciones en Coahuila, con pequeños lotes aislados bajo invernadero, seleccionando de entre las muestras, plantas sobresalientes y de buen vigor (rendimiento y tolerancia a factores bióticos y abióticos), acción que se repitió en 2020, año en que se seleccionaron y caracterizaron plantas individuales con atributos similares y sobresalientes, fue bajo condiciones de invernadero y en sustrato, este proceso de selección de plantas individuales se repitió entre 2021 y 2023, hasta “uniformizar” los caracteres de las líneas que están en desarrollo, no obstante, en 2023, se realizó una prueba de hibridación de líneas sobresalientes, mismas que se probaron en 2024, con resultados prometedores de al menos uno de los híbridos.

Investigación en el mejoramiento genético de Chile Pimiento Morrón

En el año 2018, se realizó una colecta de chile pimiento morrón que se comercializa en el supermercado Soriana, HEB, Bodega Aurrera y en el mercado de abastos de Saltillo, las muestras colectadas se identificaron por forma y color del fruto comercial, durante el 2019 se realizaron las primeras plantaciones y caracterizaciones en Coahuila, con pequeños lotes aislados bajo invernadero, seleccionando de entre las muestras, plantas sobresalientes y de buen vigor (rendimiento y tolerancia a factores bióticos y abióticos), acción que se repitió en 2020, año en que se seleccionaron y caracterizaron plantas individuales con atributos similares y sobresalientes, fue bajo condiciones de invernadero y en sustrato, este proceso de selección de plantas individuales se repitió entre 2021 y 2024, hasta “uniformizar” los caracteres de las líneas que están en desarrollo, no obstante, en 2024, también se realizó una prueba de hibridación entre las líneas sobresalientes obtenidas en 2023, mismas que se pretenden probar en 2025 a fin de estimar el potencial de rendimiento y efectos genéticos de las líneas.

Investigación en el mejoramiento genético de Jitomate indeterminado

En el año 2018, se realizó una colecta de jitomates que se comercializan en el supermercado Soriana, HEB, Bodega Aurrera y en el mercado de abastos de Saltillo, las muestras colectadas se identificaron por forma y color del fruto comercial, no obstante fue en 2019 cuando se realizaron las primeras plantaciones y caracterizaciones bajo condiciones de invernadero en saltillo, Coahuila, seleccionando de entre las muestras, plantas sobresalientes y de buen vigor (rendimiento y tolerancia a factores bióticos y abióticos) y que cumplieran con el carácter de crecimiento indeterminado, acción que se repitió en 2020, año en que se seleccionaron y caracterizaron plantas individuales con atributos sobresalientes, fue bajo condiciones de invernadero, este proceso de selección de plantas individuales se repitió entre 2021 y 2024, hasta buscar uniformizar los caracteres de las líneas que están en desarrollo, no obstante, en 2023, también se realizó una prueba de hibridación entre las líneas sobresalientes obtenidas en 2022, mismas que se probaron en 2023, y es importante destacar el potencial genético de dos de los híbridos experimentales. También es importante mencionar que, en 2023, se realizó otra colecta de plantaciones comerciales de un agricultor de Nuevo León.

Investigación en el mejoramiento genético de Jitomate determinado

En el año 2017, se realizó una colecta de jitomate que se comercializa en los supermercados Soriana, HEB, Bodega Aurrera y en el mercado de abastos de Saltillo, las muestras colectadas se identificaron por forma y color del fruto comercial, durante el 2019 se realizaron las primeras plantaciones y caracterizaciones en Coahuila, con pequeños lotes aislados bajo condiciones de campo abierto, seleccionando de entre las muestras, plantas sobresalientes y de buen vigor (rendimiento y tolerancia a factores bióticos y abióticos) y que cumplieran con las características de jitomate determinado o semideterminado, acción que se repitió en 2020, año en que se seleccionaron y caracterizaron plantas individuales con atributos sobresalientes, fue bajo condiciones de campo abierto, este proceso de selección de plantas individuales se repitió entre 2021 y 2023, hasta buscar uniformizar los caracteres de las líneas que están en desarrollo, no obstante, en 2024, también se realizó una prueba de hibridación entre las líneas sobresalientes obtenidas en 2023, actualmente se están probando los híbridos bajo condiciones de invernadero para conocer los efectos genéticos, a fin de estimar, el potencial de rendimiento y continuar con las líneas que muestren los resultados más prometedores.

Conclusión

Se ha logrado desarrollar una variedad de chile habanero que ha iniciado proceso de registro en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. De chile poblano, por los avances que se tienen, existe potencial para el desarrollo de híbridos con potencial productivo, no obstante, requieren de validación en las regiones productoras. De Pimiento morrón, los resultados hasta el momento son prometedores por el desempeño de las líneas, no obstante, será hasta 2025 cuando conoceremos el potencial de los híbridos formados con las líneas seleccionadas. En cuanto a jitomate indeterminado y determinado, también existe potencial para el desarrollo de híbridos con potencial de rendimiento, no obstante, falta mucho trabajo por hacer hasta alcanzar los objetivos de generar al menos un híbrido competitivo en el mercado.

Referencias

PNS-SADER, Programa Nacional de Semillas de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2024. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/616553/PROGRAMA_Nacional_de_Semillas_2020-2024baja.pdf

SIAP, Servició de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2023. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD NUTRICIONAL Y NUTRACÉUTICA EN MAÍCES PIGMENTADOS

Josué Israel García-López[1*], Eddaliz Garcia-Reyes[2], Perpetuo Álvarez-Vázquez[1], Antonio Flores-Naveda[1], Neymar Camposeco-Montejo[1], Xóchitl Ruelas-Chacón[1]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315. [2]Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, Francisco Villa S/N, Col. Ex-Hacienda el Canadá, C.P. 66050 General Escobedo, Nuevo León, México. *Autor para correspondencia: g.lopezj90@gmail.com

Introducción

El maíz es una planta con centro de origen y domesticación en México, cuenta con una diversidad amplia, cerca de 59 razas de maíz, lo que representa un porcentaje significativo de las 220 a 300 razas existentes en América (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2020). Las razas muestran variantes de grano pigmentado, con colores del negro hasta rosa pálido, y los más comunes son rojo y azul (Rodríguez-Salinas et al., 2019). Según la Secretaría de Economía, el maíz que más se consume es el blanco, importado de Estados Unidos, el cual tiene aportes nutricionales y funcionales menores al de los maíces pigmentados mexicanos. Los maíces pigmentados además de tener mayor aporte nutricional presentan propiedades nutracéuticas que están relacionadas con su alto contenido de antocianinas, las cuales poseen actividad biológica benéfica (antioxidante) derivada de sus metabolitos secundarios, que reducen enfermedades como la diabetes tipo 2, la obesidad, problemas visuales hasta diferentes tipos de cáncer (Colín-Chávez et al., 2020). Específicamente en el maíz azul, el color se encuentra en la capa de células llamada aleurona, donde hay una mayor concentración de pigmentos de antocianina y hace que los granos parezcan negros (Arellano-Vázquez et al., 2021). Sin embargo, la producción de maíces pigmentados en México se lleva a cabo por pequeños productores, quienes los cultivan para el autoconsumo y representa menos del 1%, de los cuales el 0.04% es para maíz azul, lo cual indica un bajo aprovechamiento, pues su contenido nutricional y propiedades nutracéuticas representa una gran oportunidad para el desarrollo de nuevos productos, con nuevas o mejoras características funcionales y nutricionales (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2022). A continuación, se presentará brevemente la descripción de algunos temas que permitirán identificar la importancia social, económica y nutracéutica de los maíces pigmentados.

Importancia del maíz pigmentado

Los maíces azules, negros, púrpura y rojos se conocen como maíces pigmentados y deben su coloración a la frecuencia de pigmentos como carotenoides en los granos amarillos, y antocianinas en los azules o rojos; los cuales aportan mayores contenidos nutricionales y nutracéuticos a los consumidores (Juárez et al., 2020). En las estructuras del grano de maíz, se almacenan la fibra, los carbohidratos, las proteínas y las grasas que han servido de alimento para la población desde hace miles de años, y en la actualidad es una de las materias primas más importantes en diversas industrias tanto alimentaria como animal (Graillet et al., 2019).

Cabe mencionar, que en México estos maíces pigmentados son producidos por agricultores de subsistencia, con prácticas culturales y de cultivo, que imprimen rasgos de identidad regional, atributos simbólicos y patrimoniales; en suelos marginales y en pequeñas superficies, y la mayor parte de su producción se destina para el autoconsumo (Cárdenas-Marcelo et al., 2019). Sin embargo, en los estados como Puebla y México, la relación beneficio/costo de la producción de maíz azul es superior a la razón del maíz comercial de grano blanco (Graillet et al., 2019).

En los estados de Chiapas, Oaxaca, Puebla y el Estado de México, están las razas de maíces pigmentados: Olotillo, Tehua, Olotón, Tepecintle, Vandeño, Zapalote Chico y Grande, Bolita, Cónico, Mushito y Tuxpeño (Bello-Pérez et al., 2016). Lugares donde actualmente se realizan productos con valor agregado a base de maíz azul por pequeñas agroindustrias, talleres rurales o los mismos productores, que se dedican a la preparación de tortillas, tlacoyos, pinole, tostadas, totopos y nachos entre otros productos, y se destinan a sistemas alimentarios locales como tianguis, ferias rurales, puestos en la calle, mercados locales de productores y tienditas (Ortega-Ortega, 2018).

Maíz azul y sus componentes nutracéuticos

Los consumidores prefieren productos de maíz azul por el sabor (más dulce y pronunciado), siendo este el principal atributo organoléptico de preferencia por el mercado (86.7%), con una textura más suave y flexible (Xochipa-Morante et al., 2021). El color, sabor y textura de los productos derivados del maíz azul se debe a las antocianinas presentes en las estructuras externas del grano, que desarrolla actividad antioxidante y anticancerígena brindando propiedades nutracéuticas al ser humano (Blare et al., 2020). El color del grano del maíz azul se debe a las antocianinas, pigmentos vegetales derivados de la cianidina, que se localizan en el pericarpio y/o en la capa de aleurona, son solubles en agua y se utilizan en la elaboración de colorantes de vinos, mermeladas, jugos de fruta y textiles (Salinas-Moreno et al., 2021).

Los maíces pigmentados poseen excelentes propiedades nutricionales, gracias a su alto contenido de fitonutrientes con roles funcionales en la salud humana, actúan como antiinflamatorias y antioxidantes, reducen el colesterol y triglicéridos en la sangre, inhiben la peroxidación de lípidos en el hígado, prevención de enfermedades cardiovasculares, control de la obesidad, de la diabetes y se relacionan con la reducción de cáncer (Blanch y del Castillo, 2021). Las antocianinas son compuestos fenólicos del grupo de flavonoides, en los maíces de grano azul, las antocianinas derivan de cianidina y en su fórmula se constituye por dos anillos aromáticos unidos por una estructura desde tres carbonos, que puede disminuir el daño oxidativo de las biomoléculas pronunciando los efectos de los oxidantes reactivos (Bello-Pérez et al., 2016). La acumulación del pigmento en las estructuras del grano determina el posible uso de este tipo de maíces; por ejemplo, si el pigmento se concentra en la aleurona, el grano se puede usar para la nixtamalización y elaborar productos con tonalidades azules, pero si se acumula en el pericarpio, y en cantidad suficiente el grano pigmentado se podría utilizar para la extracción de pigmentos (Bello-Pérez et al., 2016).

Conclusiones

Los maíces pigmentados tienen un alto valor e importancia económica en todo el mundo, no sólo como alimento humano, sino también como materia prima para una gran cantidad de productos industriales. Por lo anterior, es importante incrementar el consumo de los maíces pigmentados a nivel nacional, promoviendo su producción, conservación y aprovechamiento en la agroindustria y la farmacología.

Referencias

Arellano-Vázquez, J. L., Herrera-Zamora, A., Gutiérrez-Hernández, G. F., Ceja-Torres, L. F., and Flores Gómez, E. 2021. Color, contenido de antocianinas y dimensiones de semilla en líneas endogámicas de maíz azul y sus cruzas. Idesia (Arica), 39(3), 75-82.

Bello-Pérez, L. A., Camelo-Méndez, G. A., Agama-Acevedo, E. y Utrilla-Coello, R. G. 2016. Aspectos nutracéuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. Agrociencia. 50(8),1041–1063.

Bello-Pérez, L. A., Camelo-Méndez, G. A., Agama-Acevedo, E. y Utrilla-Coello, R. G. 2016. Aspectos nutracéuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. Agrociencia. 50(8),1041–1063.

Blanch, G. P., and Ruiz del Castillo, M. L. 2021. Effect of baking temperature on the phenolic content and antioxidant activity of black corn (Zea mays L.) bread. Foods, 10 (6), 1202.

Blare, T., Donovan, J. and García-Medina, M. 2020. The right tortilla for the right occasion: variation in consumers' willingness to pay for blue maize tortillas based on utilization. Journal of food products marketing, 26(8), 564-579.

Cárdenas-Marcelo, A. L., Vizcarra-Bordi, I., Espinoza-Ortega, A., and Espinosa-Calderón, A. 2019. Tortillas artesanales mazahuas y biodiversidad del maíz nativo. Reflexiones desde el ecofeminismo de la subsistencia. Sociedad y Ambiente, (19), 265-291.

Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Serrano-Rubio, L. E., Martínez-Téllez, M. A., and Astier, M. 2020. Comparison of nutritional properties and bioactive compounds between industrial and artisan fresh tortillas from maize landraces. Current research in food science, 3, 189-194.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO. 2020. Razas de maíz de México https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz.

Graillet, J. E., Alvarado, L. G., M. Martínez, M., Ruiz, K. S. y Torres, A. D. 2019. Los maíces pigmentados en México: el caso del maíz azul. Academia Journals. Investigación en la Educación Superior.1074-1080 pp.

Juárez, E. M. G., Martínez, D. L. A. and Juárez, A. D. G. 2020. Estudio De Mercado Del Maíz Azul (Zea mays L.) En México. Innovación empresarial en Mercadotecnia, 35.

Ortega, Tomás. 2018. "Género, soberanía alimentaria y agrobiodiversidad: La Unión de Palmeadoras de la Heroica Ciudad se Tlaxiaco, Oaxaca" (Tesis de Doctorado en Ciencias). México: Programa de Postgrado en Socioeconomía, Estadística e Informática, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, 141 pp.

Rodríguez-Salinas, P.A., Muy-Rangel, D., Urias-Orona, V., Zavala-García, F., Suarez-Jacobo, A., Heredia, J.B., Rubio-Carrasco, W. and Nino-Medina, G. 2019. Thermal processing effects on the microbiological, physicochemical, mineral, and nutracéutical properties of a roasted purple maize beverage. Farmacia. 67(4): 587–595 pp.

Salinas-Moreno, Y., Esquivel-Esquivel, G., Ramírez-Díaz, J. L., Alemán-de la Torre, I., Bautista-Ramírez, E., and Santillán-Fernández, A. 2021. Selección de germoplasma de maíz morado (Zea mays L.) con potencial para extracción de pigmentos. Revista Fitotecnia Mexicana, 44(3), 309-309 pp.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP. 2021. Anuario estadístico de la producción agrícola. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Xochipa-Morante, R. C., Escobedo-Garrido, J. S., Macías-López, A., Guerrero-Rodríguez, J. D. D., Valadez-Ramírez, M., and Mora-Flores, J. S. 2021. Consumidores de productos de maíz azul en mercados de productores, Sierra Nevada, Puebla, México. Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional, 31(58).

LA INVESTIGACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJES Y PASTIZALES EN EL NORESTE DE MÉXICO

Perpetuo Àlvarez-Vàzquez[1*], Josué I. García-López[1], Filogonio J. Hernández-Guzmán[2], Neymar Camposeco-Montejo[1], Xóchitl Ruelas-Chacon[1], Antonio Flores-Naveda[1]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315. [2]Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México – Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México CP 56230. *Autor de correspondencia: perpetuo.alvarezv@uaaan.edu.mx

Introducción

El crecimiento de las especies forrajeras y su aprovechamiento depende de la proporción de hojas, tallos, material muerto e inflorescencia, que se generan por la interacción componentes bióticos y abióticos (Njarui et al., 2024). Por lo anterior, el aprovechamiento adecuado de los recursos forrajeros requiere del conocimiento sobre el manejo agronómico, distribución estacional del rendimiento y la respuesta a la defoliación (Castro et al., 2012). De aquí, la importancia de establecer sistemas de manejos adecuados y eficientes para cada tipo de sistema de producción, teniendo como meta proporcionar forraje de alta calidad y en suficientes cantidades durante todo el año (Stichler et al., 1999). Ante esto, hay instituciones como el INIFAP, el Colegio de Postgraduados, y la Universidad Autónoma Chapingo, que han buscado la adaptación de especies forrajeras, su manejo y aprovechamiento en diferente habitas. Por lo anterior, el presente escrito busca abordar las principales investigaciones en forrajes en condiciones del noreste de México, en las principales especies forrajeras y pastizales.

Presentación de investigaciones

Dinámica de crecimiento en alfalfa (*Medicago sativa* L.)

El rendimiento de forraje de una pradera de alfalfa depende del intervalo de corte, ya que éste influye en la dinámica de crecimiento. Por tanto, se debe identificar el momento de corte óptimo después del rebrote, donde se pueda cosechar la mayor cantidad de biomasa y una correcta estructura de la pradera en función de sus componentes morfológicos. Por lo anterior, se ha evaluado el comportamiento productivo estacional de alfalfa variedad Premium a diferentes edades de rebrote, para identificar el punto de mayor acumulación de biomasa en el sureste de Coahuila, México. Para esto, se ha observado que el rendimiento de forraje (RF) se incrementa de los 7 a 56 días de rebrote (DDR), con un promedio de 1071 a 12,125 kg MS ha-1. El rendimiento mayor se registró en primavera, con 3226 kg ha-1 ($p \leq 0.05$), donde la hoja tiene el aporte mayor con 50 %, empero la relación: hoja/tallo disminuye ($P \leq 0.05$) a mayor DDR, siendo mayor en invierno con 1.6. La altura de planta (AP) máxima se presenta a los 42 DDR en primavera con 61 cm ($P \leq 0.05$). Así mismo, se registra una correlación máxima ($R2 = 0.99$) entre RF y AP en invierno. Por otra parte, el desarrollo de otras investigaciones han demostrado que en la alfalfa al cosecharlas tempranamente (21 días) se agotan las reservas de carbohidratos y hay una invasión de malezas por perdida de plantas de la especie deseable, lo que se corrige con cosechas a un corte medio de 28 días, versus un corte tardío de 35 días donde se observa floración, esto para primavera, aumentando una semana más a cada intervalo en las siguientes estaciones (Alvarez-Vázquez et al., 2023).

Comportamiento productivo de genotipos de *Lotus corniculatus* L.

Siguiendo una línea de investigación de 12 genotipos de *Lotus corniculatus* L., adaptadas a Montecillo, Texcoco, México, en el noreste del país se han estudiado algunos genotipos para caracterizarlos productivamente. En primera instancia se estableció como objetivo determinar el efecto del momento del corte sobre la respuesta productiva de tres genotipos de *L. corniculatus*. Se observó que el menor y mayor rendimiento se presenta a los 7 y 35 DDR con 0.72 y 5.48 g MS planta-1. La hoja fue el componente que más aportó al rendimiento total. La mayor y menor relación hoja: tallo se registró a los 7 (5.71) y 42 DDR (2.39), siendo el genotipo 255301 superior al resto ($p > 0.05$). Así mismo, la altura y el peso del tallo se incrementaron de los 7 y 49 DDR, concluyendo que la edad de cosecha afecta a los genotipos de *L. corniculatus*, siendo mayor el 255301 al resto de los genotipos en la altura, relación hoja: tallo, y peso por tallo individual, no en rendimiento de forraje y composición morfológica (Hernández-Guzmán et al., 2021).

De la misma manera, durante la estación de otoño, del 12 de septiembre al 20 diciembre del 2022, tres genotipos de *Lotus corniculatus* L., en comparación con la alfalfa, se sometieron a tres intensidades de defoliación (corte temprano-CTE, corte medio-CME y corte tardío-CTA) a 35, 42 y 49 días en alfalfa y 49, 56 y 63 días en *L. corniculatus*. El CTE reflejo los mayores valores en la RHT con un promedio de 2.8, sin embargo, este intervalo no sobresalió en las demás variables, al contrario del CME que reflejó los mayores resultados en todas las variables, esto permite concluir que el periodo entre cortes, influye directamente en el RF de estas leguminosas, al igual que las variables RHT y altura son directamente proporcionales entre sí, ya que, mayores valores de RHT, refleja una mayor acumulación de forraje. En base a la composición morfológica en porcentaje la mayor cantidad la aporta el componente hoja. En el caso de los genotipos de *L. corniculatus*, el 255301 supero a los demás en las tres frecuencias de corte, el menor valor se obtuvo en la alfalfa con valores similares tanto en el componente hoja como en el tallo. Los componentes que menor aporte reflejaron son el material muerto e inflorescencia. La alfalfa produjo la mayor cantidad de tallo respecto a los genotipos de *L. corniculatus*, en el caso del material muerto, los valores solo se observaron en el CTE en el genotipo 232098, por otro lado, el componente inflorescencia solo se mostró en el cultivar alfalfa, lo que refleja que los intervalos de corte influyen directamente en las etapas de crecimiento de las especies en estudio (Olivas-Pérez et al., 2023).

De los materiales estudiados, el más sobresaliente ha sido 255301, el cual fue establecido en tres diferentes sustratos de suelos; Suelo I (Sustrato típico de invernadero), Suelo II (mezcla uniforme de Suelo I y III), y Suelo III (Suelo típico de la región). Se evaluó el rendimiento de forraje (RF), la composición morfológica (CM), la relación de la hoja respecto al tallo (R:H/T) y altura de planta (AP). Los Suelos I y II presentaron los mayores rendimientos con 10 y 12 g planta-1, en contra parte, con solo 6.6 g planta-1 el Suelo III fue donde se obtuvo el menor rendimiento, estas diferencias de producción se pueden atribuir a las diferentes características que presentan los suelos. Respecto a la CM, la hoja fue el componente que mayor contribución realizó al rendimiento en los tres suelos con un promedio de 6.4 g planta-1, seguido por el tallo con 3.1 g planta-1, y con una nula aportación el material muerto e inflorescencia, lo que, puede estar relacionado con la temprana edad de la planta. El Suelo III fue donde se encontró la menor cantidad de hoja (4.3 g planta-1), el resto de componentes tuvieron un comportamiento similar en los diferentes suelos. En porcentaje la CM registró los mayores valores en el componente hoja en cada uno de los suelos, con un porcentaje promedio de 67.6 %, seguido por el tallo (32.4 %).

En lo que respecta al tipo de suelo, no se encontró diferencia ($p>0.05$) en ninguno de los componentes morfológicos. En la relación hoja: tallo no se registró diferencia estadística ($p>0.05$), sin embargo, cabe mencionar que con una relación de 2.8, en el Suelo I se presentó el valor más alto, en contraste el Suelo III registro una relación de 1.8. Aunque este último valor puede considerarse bajo, resulta similar entre otras especies de leguminosas como lo es la alfalfa. Finalmente, el análisis mostro que la altura de planta fue afecta por el tipo de suelo, donde el suelo III con una altura de 21 cm presento la menor altura respecto al Suelo I y II los cuales registraron alturas de 29 y 26 cm, respectivamente (Laureano-Ortiz et al., 2023).

Capacidad de rebrote estacional y anual de *Amelichloa clandestina* posterior a un pastoreo intensivo no selectivo (PINS)

Dentro de los ecosistemas que ofrecen una fuente de forraje aceptable para la ganadería se encuentran los pastizales, dominados por zacate picoso (*Amelichloa clandestina*). Esta especie es capaz de colonizar áreas perturbadas y se encuentra en una variedad de ambientes, incluyendo suelos calcáreos y bosques de pino, a altitudes de 800 a 2,100 metros (Villaseñor 2016). Por tanto, se desarrolló un estudio con el objetivo evaluar el rendimiento de materia seca (RMS) de *Amelichloa clandestina* tras someterse a un pastoreo intensivo no selectivo. El estudio se realizó en un pastizal de 2.23 hectáreas de zacate picoso en el Rancho “Los Ángeles”, en Saltillo, Coahuila, México, con una carga animal de 500 UA ha-1. Se determinó el Rendimiento de Materia Seca (RMS), Composición Morfológica (CM), altura de planta e intercepción luminosa. Los hallazgos revelaron que el RMS alcanzó su punto máximo entre los 75 y 90 DDR, durante el otoño, con un valor de 268.6 kg MS ha-1 ($P\leq0.05$), siendo la contribución de la hoja significativa (68.2 kg MS ha-1), y una máxima altura de 19 cm a los 90 DDR ($P\leq0.05$). La intercepción luminosa alcanzó el 30.3 % a los 90 DDR. Por tanto, se puede concluir que la estación de otoño favorece el óptimo desempeño productivo de A. clandestina, evidenciado por incrementos en el RMS y la altura de la planta en función de los días de rebrote (Juanes-Marquez et al., 2023).

Así mismo, con el fin de evaluar el rendimiento mensual de pasto *Amelichloa clandestina* posterior a un pastoreo intensivo no selectivo en invierno y conocer el punto óptimo para un nuevo pastoreo, se llevó a cabo un estudio con el propósito de evaluar el rendimiento durante 18 meses. La fecha donde se encontró una mayor acumulación de materia seca (MS) fue en el mes 16 (30 de marzo 2024) donde se obtuvo 1880 kg MS ha-1, coincidiendo con la mayor altura con 22 cm y una mayor cantidad de hoja con un rendimiento de 1067.6 kg MS ha-1. Sin embargo, la mayor relación: hoja/tallo fue en el mes 12 con una relación de 7.2 y en el mes 16 se obtuvo un valor de 1.8, lo cual indica que el aumentó en la producción de forraje es debido a la cantidad de tallo en esos meses. Entre meses se encontró una diferencia significativa en cada una de las variables evaluadas ($p<0.05$), destacando que en la altura fue donde menos diferencias se encontraron ($p>0.05$), por lo que, con los resultados obtenidos se puede concluir que a los 16 meses de rebrote es recomendable llevar a cabo un nuevo aprovechamiento del pastizal con pastoreo intensivo no selectivo (Hervert-Cruz et al., 2023).

Selectividad de cabritos en pastoreo

Los sistemas de producción caprina de México son desarrollados en las zonas áridas y semiáridas del país, donde, en general, su único alimento es el forraje disponible en los agostaderos. No obstante, en sistemas de pastoreo donde el animal solo podría disponer de leguminosas, el timpanismo se vuelva un problema. Las cabras son extremadamente flexibles en sus hábitos alimenticios, aunque existe cierta preferencia por algunos componentes de la vegetación y el rechazo total por otros.

Las especies que componen la dieta de las cabras en un tipo de vegetación están determinadas por: el valor nutritivo, palatabilidad de los componentes de la vegetación, la proporción, disponibilidad de las diversas especies forrajeras, la presión de pastoreo, la estación del año y la estrategia alimenticia. Por tanto, una alternativa es ofertar más de una especie forrajera entre pastos de la familia de las gramíneas y leguminosas. Por lo anterior, se realizaron estimaciones de consumo de forraje disponible antes del pastoreo y estimación de forraje residual posterior al pastoreo, en una pradera de varias especies en monocultivo, con lo que se estimó la cantidad disponible y residual de forraje, de tal manera de facilitar la determinación de la mejor selectividad de cabritos en pastoreo, aunque haya la posibilidad de que se consuma en su mayoría una leguminosa ya sea herbácea o arbustiva y con valores porcentuales de consumo de algunas otras especies de pastos de gramíneas, pero que reduzcan el riego de problemas metabólicos. Ante lo anterior, se observó que la especie de mayor porcentaje de hoja es el pasto ovillo (55%), del tallo el trébol banco y trébol rojo, así como la alfalfa, el pasto ovillo y rye grass son especies con mayor material muerto. Sin embargo, la morfología no determinó el consumo, ya que los cabritos prefirieron el ramoneo con una preferencia del 93 % de Leucaena (*Lecaena leucocephala*), seguida por el rye grass y el ovillo con 50 %, alfalfa, trébol rojo con 32 % y finalmente trébol blanco con 27 %. Así mismo, se observó como los cabritos prefieren la hoja sobre el resto de los componentes, ya que fue la que más disminuyo en el forraje residual contra el forraje disponible, por lo que los porcentajes de tallos son mayores respecto al resto de los componentes (Álvarez-Vázquez et al., 2024).

Algunas de estas especies ya fueron estudiadas anteriormente bajo condiciones del noreste de México, donde se evaluó el rendimiento de materia seca estacional de Trébol Blanco (*Trifolium repens* L.) (TB), Pasto Ovillo (*Dactylis glomerata* L.) (PO) y Ballico Perenne (*Lolium perenne* L.) (BP), sometidas a defoliaciones estacionales, en doce cortes que fueron evaluados mediante un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Los cortes de muestreo se realizaron de acuerdo con las estaciones del año en primavera y verano fueron cada 28 días, en otoño e invierno cada 35 y 42 días respectivamente. Se determinó el Rendimiento de Materia Seca (RMS), Composición Botánica-Morfológica (CBM) y Altura de la planta (AP). El mayor registro de RMS se presentó en la primavera, con 4,747 kg MS ha-1. La hoja en CBM obtuvo mayores aportes a diferencia del resto de los componentes de la planta. Durante la primavera y el verano se registraron las mayores alturas. El trébol blanco durante la experimentación aporto el mayor RMS, a diferencia de las demás especies evaluadas (Fuentes, 2022).

Referencias

Álvarez-Vázquez, P., Mendoza- Pedroza, S. I., García-Salas, A., García-López, J. I., Rojas-García, A. R., & Ochoa-Espinoza, J. J. (2024). Pastoreo de cabritos en diferentes especies forrajeras para evitar el timpanismo. Agro-Divulgación, 4(5). https://doi.org/10.54767/ad.v4i5.371

Álvarez-Vázquez P., Peña-Ramos F.M., García-López J.I., Hernández-Guzmán F., Camposeco-Montejo N., Martínez-Martínez R. y Juanes-Márquez S. 2023. Rendimiento de forraje estacional de alfalfa a diferentes edades de rebrote en el sureste de Coahuila. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 46 (4-A): 505-512. DOI: https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4A.505

Castro Rivera, R., Hernández Garay, A., Vaquera Huerta, H., Hernández Girón. J., Quero Carrillo, A., Enríquez Quiroz, J., Martínez Hernández, P. A. 2012. Comportamiento productivo de asociaciones de gramíneas con leguminosas en pastoreo. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 35 (1):87-95.

Njarui DMG, Gtheru M, Mwangi D, Keya GA. 2014. Production of giant Panicum in semiarid Kenya. Tropical Grasslands−Forrajes Tropicales. 2:100-102.

Stichler, C., Prostko, E. y Livingston S. 1999. El manejo de pastizales mejorados durante la temporada de calor. Agricultural Comunications. Servicio de Extensión Agrícola de Texas.

Hernández-Guzmán et al., Análisis de crecimiento de Lotus corniculatus. Ecosist. Recur. Agropec. Núm. Esp. II: e2937, 2021. https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2937

Olivas-Pérez A. L., Álvarez-Vázquez P., García-Martínez J.E., Pedroza-Sandoval A., Encina-Domínguez J.A. 2023. Rendimiento y calidad de forraje de Lotus corniculatus L. y Medicago sativa al variar la frecuencia de defoliación en condiciones semicontroladas de invernadero. VII Congreso Internacional y XIX Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas. p 30 -33.

Laureano-Ortiz J.A., Álvarez Vázquez P., Ochoa-Espinoza J.J., García Salas A., Mendoza-Pedroza S.I., Pedroza-Sandoval A. 2023. Efecto del tipo de sustrato de suelo sobre la producción de forraje de Lotus corniculatus L. VII Congreso Internacional y XIX Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas. p 44 -46.

Villaseñor JL. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. Revista Mexicana de Biodiversidad, 87, 559-902.

Juanes-Marquez S., Álvarez-Vázquez P., García-Martínez J.E., Cadena-Zapata M., Encina-Dominguez J.A., Ochoa-Espinoza J.J., Meza-Mireles B.A. 2023. Acumulación de materia seca de Amelichloa clandestina posterior a un pastoreo de alta densidad no selectivo. XII congreso internacional de manejo de pastizales. 289- 293 p.

Hervert-Cruz F., Álvarez-Vázquez P., Juanes-Márquez S., Hernández-Guzmán F.J., García-Salas A. 2023. Producción de forraje de Amelichloa clandestina posterior a un pastoreo alta intesidad-baja frecuencia. VII Congreso Internacional y XIX Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas. 79-81 p.

Fuentes H. A. E. 2022. Comportamiento productivo estacional de tres especies forrajeras bajo condiciones del sureste de Coahuila México. Tesis de maestría, UAAAAN, Saltillo. 68 p.

XX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS

"Innovación y acción para un medio ambiente sostenible"

Carteles

PRODUCCIÓN DE BIOHIDRÓGENO (Bio-H_2) A PARTIR DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA, MEDIANTE LA FERMENTACIÓN CON CONSORCIOS MICROBIANOS INMOVILIZADOS

Martha E. Ocaña-López[1], Alma I. Soria-Ortiz[1], Leopoldo J. Ríos-González[1], Miguel A. Pérez-Rodriguez[2]. Ileana M.M. Moreno-Dávila[1]*

[1]Departamento de Biotecnología, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Boulevard V. Carranza e Ing. J. Cárdenas Valdés, Col. República Oriente, Saltillo, Coahuila C.P. 25280., México. [2]Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonia Narro, Calzada Antonio Narro No 1923, Colonia Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, C.P. 25315. *Autor de correspondencia: mayela.morenodavila@uadec.edu.mx

Introducción

Las energías verdes están teniendo un alto valor debido a los resultados positivos que generan, actualmente el incremento de la población es exponencial y por ende hay mayor consumo energético, lo que provoca el uso indiscriminado de combustibles fósiles que conlleva a la generación de más contaminación, debido a este problema la comunidad científica y el gobierno en general están poniendo interés en la generación de nuevas fuentes de energías limpias que sean económicamente eficientes y ambientalmente sustentable (Cabrera, 2022). Las industrias lácteas producen una gran cantidad de aguas residuales con una carga orgánica considerable, la mayoría del agua potable usada en los diferentes procesos de producción se convierte finalmente en agua residual, provocando un importante foco de contaminación y cambios medioambientales significativos (Rodríguez, 2022). Las aguas residuales producidas por las industrias lácteas poseen elevadas concentraciones de DBO y DQO, así como también nutrientes N y P (Chen, et al., 2018). Estos contaminantes deben ser removidos antes de disponerlas finalmente. Es por ello por lo que se está implementando el uso del agua residual de la industria láctea como fuente de carbono para la generación de biocombustible (Bio- H_2). El biohidrógeno producido mediante consorcios bacterianos a partir de aguas residuales lácteas presenta un gran potencial para ser usado como fuente de energía renovable. Son fuentes de energías del futuro, tienen una serie de ventajas respecto a los combustibles fósiles usados habitualmente: alta eficiencia de conversión, reciclabilidad, naturaleza no contaminante y producción de alta cantidad de energía (Garrido, 2020). En la última década se ha llevado a cabo su producción por medio de procesos biológicos fotosintéticos y fermentativos por algas, cianobacterias, bacterias y consorcios microbianos (Sandoval y Castiblanco, 2022). La producción necesita menos energía y puede ser realizada a temperatura y presión ambiente, lo que la hace idónea para la producción a largo plazo. El objetivo de esta investigación fue producir Biohidrógeno (Bio-H_2) a partir de aguas residuales provenientes de la industria láctea, mediante la fermentación con consorcios microbianos.

Materiales y métodos

Pretratamiento anaeróbico de cultivos mixtos microbianos. Se obtuvo un cultivo mixto microbiano anaeróbico (500 ml) de un Reactor UASB que trató aguas residuales de cervecería Modelo (Torreón, Coahuila, México). El pretratamiento se llevó a cabo como se describe por Chen (2007). El pretratamiento químico consistía en disminuir el pH del lodo a pH 3.0 usando una solución de HCl 0.1 N dejar reposar en refrigeración durante 24 h y se reajuste el pH a 7.0 mediante una solución de NaOH 0.1 N. El pretratamiento térmico de lodo consiste en calentar en baño maría hirviendo el (lodo pretratado mediante un proceso químico) por un corto período de tiempo (30 min) dejar enfriar y poner en baño con hielo.

Sustrato. El agua residual se recolectó de una fábrica comercial de leche ubicada en Saltillo, Coahuila, México. Después de la recolección, las aguas residuales se trasladado inmediatamente al laboratorio y almacenado a 4°C. Las características de las aguas residuales lácteas utilizadas se dan en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición de las aguas residuales lácteas.

Parámetros	Agua residual láctea
Grasas y aceites (g/l)	7.1 ± 0.204
Ph	9.8 ± 0.182
DQO (0_2/l)	14,3 ± 0.293
TDS (ppm)	132 ± 0.137
Temperatura (ºC)	32 ± 0.183
Sulfatos (ml/l)	152.37 ± 0.347
Cloruros (mg/l)	413.71 ± 0.329

***Pretratamiento y preparación del soporte natural* (*Opuntia imbricata*).** Se cortaron pequeños trozos de tallos secos de *O. imbricata* (previamente lavados) en segmentos rectangulares de 1.5 cm x 0.5 x 0.5 cm (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características del soporte natural.

Parámetros	Especificaciones
Identificación	*Opuntia imbricata*
Configuración	Packed bed
Origen	Natural
Dimensiones	1.5 x 0.5 cm
Peso neto	10 ± 0.023 g
Densidad	0.838 g/cm^3
Superficie específica	0.599 m^2/g (from Bet)

Montaje del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA). El experimento se realizó con un biorreactor que tiene las siguientes medidas: 62 cm de alto por 36 cm de diámetro y un volumen de 4.5 litros. Se procede a preparar la solución del medio mineral con el agua residual láctea la solución se lleva a pH=7, en seguida se procede al montaje del biorreactor donde se agrega lo siguiente: 10 % del lodo sin tratar, 24 gr de coyonoxtle (soporte natural) y por último se agrega el medio mineral, en la parte inferior del biorreactor se coloca un galón con capacidad de 4.5 Lts donde se agrega el resto del medio mineral, enseguida se conectan las mangueras del biorreactor a la bomba, de la bomba al galón y del galón al biorreactor para que lleven a cabo el proceso de flujo ascendente.

Métodos analíticos. La cantidad de hidrógeno se determinó por cromatografía de gases (GC TCD) VARIAN 3400, equipada con una columna empaquetada Molecular Sieve 5ª inyectando 25 µl utilizando una jeringa de 1 ml. Las condiciones de GC fueron las siguientes: temperatura del inyector 180°C, la columna 145°C y temperatura del detector 200°C, utilizando argón como gas portador con un caudal de 6 ml/min. La remoción de DQO se determinó de acuerdo con métodos estándar (APHA, 1998). El pH se determinó extrayendo una muestra líquida (2 ml) del efluente y se midió con potenciómetro (WTW, INOLAB-pH/ION Nivel 2). Se monitoreo cada 24 horas. Todos los datos presentados representan las medias de las tres repeticiones que se mantuvieron para el experimento.

Resultados y discusión

El agua residual proveniente de una industria láctea fue llevada a tratamiento en un reactor RAFA, donde se estableció primeramente las condiciones del reactor como se muestra en el cuadro 3, para que funcionara correctamente. Enseguida, se realizó una cinética de la remoción de la DQO y de la producción específica de Bio-H_2 durante el tiempo de fermentación del experimento que tuvo una duración de 30 días.

Cuadro 3. Condiciones del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).

Parámetros	Medición
Volumen del reactor	0.00375 m^3
Caudal (m^3/día)	0.0302
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	4.8 h
Carga Hidráulica Volumétrica (m^3 (m^3 día)$^{-1}$)	4.992 m^3/m^3. D
Carga Orgánica Volumétrica (Kg DQO/ m^3 día)	9.98 kg DQO/m^3. D
Temperatura de fermentación	30°C

Bajo estas condiciones fueron evaluadas los siguientes parámetros: pH, producción de Biohidrógeno (Bio-H_2), TRH y remoción de la DQO.

Monitoreo de pH. Se observó que durante las primeras 48 horas se presentó una disminución de este, sin embargo, se mantuvo durante toda la fermentación a un pH igual a 6.2. La literatura reporta que la mayor producción de Bio-H_2 se presenta aun pH de 6.5. Estos resultados coinciden con los reportados por Liczbinski, et al., 2022 quienes trabajaron en la producción de hidrogeno mediante diferentes condiciones de pH y T° los cuales obtuvieron los mejores resultados a pH de 6.5.

Producción de Bio-H_2. Se logro observar que durante los primeros días va incrementando la producción de Bio-H_2, viéndose reflejado la mayor producción a las 120 horas, y de ahí en adelante se ve una disminución de la producción, para dar inicio con la nueva alimentación del nuevo ciclo. En cada ciclo se observó el mismo comportamiento, esto se debe a que los microorganismos presentes se adaptaban a las nuevas condiciones del reactor.

En la figura 1, se observa como desde el inicio de cada ciclo de alimentación hay producción de biohidrógeno, sin embargo, se ve un incremento de producción del Bio-H_2 en el día 5, donde se percibe mayor cantidad de este gas.

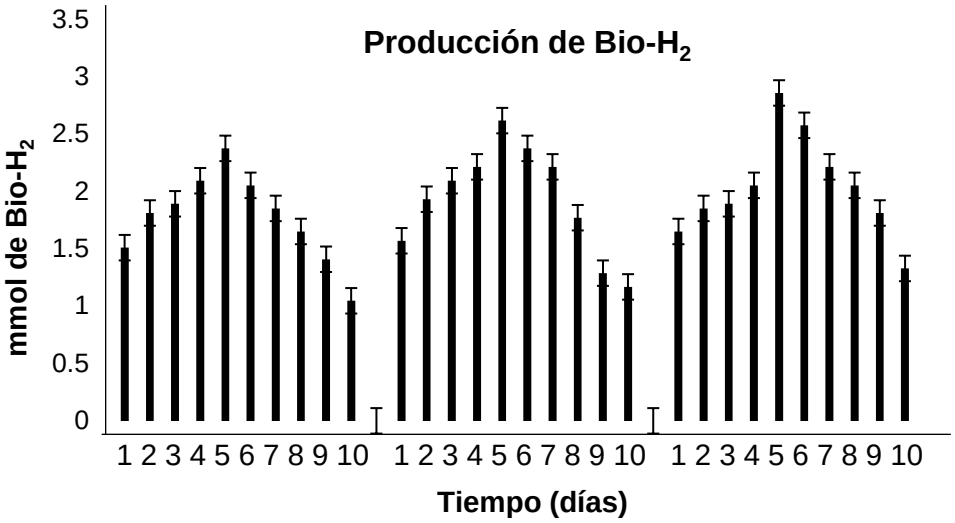


Figura 1. Producción de Bio-H_2, en RAFA, a una concentración del sustrato de 20 g/L O_2 en un periodo de 30 días, con 3 ciclos de alimentación.

Se logró obtener una producción especifica total a las 720 Hrs de **42.15221249** mmoles/g DQO removida. Estos resultados coinciden con los reportados por Pandey, et al., (2019) quienes trabajaron en la generación de biohidrógeno utilizando agua residual láctea, con consorcios microbianos, a diferentes concentraciones de sustrato y pH, utilizando como inoculo lodo residual, los mejores resultados se presentaron a pH 6.5, obteniendo una producción de biohidrógeno de 103.4 mM H_2/g. Por otro lado, Romão, et al., (2019). Evaluaron el suero de queso con el objetivo de producir hidrógeno por fermentación oscura utilizando un consorcio microbiano, presentando una alta producción de hidrogeno además de un 80 % de remoción de la materia orgánica.

Tiempo de retención hidráulico (TRH). Se logró mantener en 4.8 horas, durante todo el proceso de fermentación oscura que tuvo una duración de 30 días.

Degradación de la DQO. Se realizó una cinética de remoción de la DQO, iniciando con una DQO de 20,000 mg/L O_2 y finalizando con una DQO de 2,125 mg/L O_2, con una eficiencia de remoción del 89.375 % de materia orgánica removido en un periodo de 30 días. Durante toda la fermentación se logró percibir que durante los primeros días el porcentaje de remoción se ve muy lento esto debido al cambio de pH, sin embargo, una vez establecido este, el porcentaje de remoción incrementa y mantiene una buena degradación. La degradación de la materia orgánica en cada uno de sus ciclos, presentando un mayor porcentaje de degradación en el último ciclo al mostrar una degradación final del 89.375 %, estos resultados coinciden por los reportados por Cruz (2021), quien llevó a cabo un trabajo experimental para producir biohidrógeno a partir de la codigestión anaeróbica utilizando las aguas residuales de los alimentos en un reactor continúo utilizando consorcios microbianos mixtos, los resultados obtenidos en el nivel del micro reactor muestran que los sustratos de codigestión tienen un alto potencial para la producción de Bio-H_2, además se logró obtener una remoción del 90% de la materia orgánica.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente trabajo demostraron la factibilidad de producir Bio-H_2, a partir de aguas residuales provenientes de la industria láctea con consorcios microbianos inmovilizados. Para la generación de Bio-H_2 en un RAFA, se instaló bajo las siguientes condiciones: pH 6.2, concentración del sustrato de 20 g/L O_2 en un periodo de tiempo de 30 días, obteniendo como resultado una producción **especifica total de 42.15221249 mmoles/g DQO removida** y una eficiencia en la degradación de materia orgánica del 89.375 %. Con estos resultados se puede concluir que la generación de biohidrógeno es posible bajo estas condiciones. En general, los resultados obtenidos en este trabajo demuestran una forma económica, eficiente y sostenible de producir energía sostenible.

Referencias

Cabrera, E. S. (2022). Alternativas bioenergéticas de los residuos sólidos urbanos: panorama en México. Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales, (31), 59-76.

Chen S, Hu B (2007). Pretreatment of methanogenic granules for immobilized hydrogen fermentation. Int. J. Hydr. Energ. 32(15): 3266- 3273.

Chen, Z., Luo, J., Hang, X., & Wan, Y. (2018). Physicochemical characterization of tight nanofiltration membranes for dairy wastewater treatment. Journal of Membrane Science, 547, 51-63.

Cruz Méndez, A. (2021). Producción de biohidrógeno a partir de una codigestión anaerobia utilizando agua residual de la industria alimenticia en un reactor continúo empleando consorcios microbianos mixtos (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Garrido, M. (2020). Biocombustibles y producción de biohidrógeno. MoleQla, 38(8).

Liczbinski, P., Borowski, S., & Nowak, A. (2022). Isolation and Use of Coprothermobacter spp. to Improve Anaerobic Thermophilic Digestion of Grass. Moléculas, 27(14), 38–43.

Pandey, A., Srivastava, S., Rai, P., & Duke, M. (2019). Suero de queso a biohidrógeno y ácidos orgánicos útiles: Un tratamiento microbiano no patógeno por L. acidophilus. Scientific Reports, 9(1), 8320.

Rodríguez, J. G. (2022). El sector energético mexicano y su futuro con base en energías renovables. Revista Honoris Causa, 14(2), 70-100.

Romão, B. B., Silva, F. T. M., Costa, H. C. D. B., do Carmo, T. S., Cardoso, S. L., Ferreira, J. D. S.,.& Cardoso, V. L. (2019). Alternative techniques to improve hydrogen production by dark fermentation. 3 Biotech, 9, 1-8.

Sandoval, J. A., & Castiblanco, O. (2022). Revisión del potencial de obtención de biohidrógeno a partir de microalgas en Colombia. Entre Ciencia e Ingeniería, 16(32), 9-15.

RELACIÓN ENTRE LA HUMEDAD DEL SUELO Y EL ÍNDICE DE VEGETACIÓN AJUSTADO AL SUELO EN CULTIVO DE MÁIZ BAJO RIEGO POR GOTEO

Nuria Aide López-Hernández[1]*, Ramón Trucíos-Caciano[1], Cristo Omar Puente-Valenzuela[1], Marco Antonio Inzunza-Ibarra[1], Iván Franco-Gaytán[2]

[1]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. [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: lopez.nuria@inifap.gob.mx

Introducción

El estrés hídrico es un fenómeno frecuente en el cultivo del maíz, y puede tener un impacto considerable en la producción y calidad del grano. La sequía o la falta de agua en el suelo son causas comunes de este tipo de estrés, por lo que, el monitoreo del agua en el suelo se vuelve relevante y necesario. La teledetección en la agricultura desempeña un papel crucial al proporcionar información detallada sobre los cultivos mediante el uso de sensores remotos. Esto permite un monitoreo efectivo de la variabilidad de los cultivos tanto en el espacio como en el tiempo. En este sentido, la relación entre índices de humedad del suelo o índices de vegetación y el desarrollo fenológico/fisiológico del maíz forrajero emerge como un área de estudio. El uso de imágenes satelitales de Sentinel-2 ofrece una perspectiva para comprender estas interrelaciones. Este estudio se llevó a cabo en la región de la Comarca Lagunera, conocida por su agricultura intensiva en un entorno naturalmente árido, y cuya agricultura depende del riego, prácticamente en su totalidad, sometiendo a una gran presión al recurso hídrico. Se empleó la teledetección agrícola como herramienta para monitorear el contenido de humedad del suelo, y determinar su relación con el índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI). El objetivo del trabajo fue determinar la relación entre el índice SAVI y el contenido de humedad del suelo, para posteriormente, analizar su influencia en la vigorosidad y desarrollo de las plantas de maíz forrajero bajo riego por goteo, en la región de la Comarca Lagunera.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en el ciclo agrícola Verano 2023, que abarca del 01 agosto (siembra) hasta el 24 de octubre (cosecha), en la P.P. Palestina, ubicada dentro de los límites de la Comarca Lagunera, en el municipio de Francisco I. Madero, al suroeste del estado de Coahuila de Zaragoza, México. El predio se localiza entre las coordenadas 25.6324 latitud N y 103.3416 longitud O, a una altitud de 1,118 m sobre el nivel del mar. El predio consta de una superficie de 54 ha cultivadas con maíz forrajero (híbrido N83N5). El diseño de siembra fue de 8 plantas por metro lineal y 75 cm entre hileras. El sistema de riego fue por goteo subterráneo mediante cintilla TORO, calibre 8000, diámetro interno de 16 mm (7/8”), gasto de 0.5 L h^{-1} a 15 PSI, con goteros a cada 10 cm, enterrada a 30 cm de profundidad. El diseño de riego considera 14 secciones de 300 x 125 m, cada una. La textura del suelo es franco-arcillosa, con una capacidad de campo (CC) de 36 %, un punto de marchitamiento permanente (PMP) de 22 % y una densidad aparente de 1.35 g cm^{-3}. Las mediciones se realizaron en la sección de riego denominada como Módulo 2. Se llevó a cabo un estudio experimental completamente al azar, utilizando el índice SAVI como único factor, el cual constó de dos niveles: máximo, correspondiente a los puntos donde las plantas mostraban menor estrés; y, mínimo, correspondiente a los puntos donde las plantas presentaban mayor estrés, con tres repeticiones de cada uno.

Cada unidad experimental estuvo conformada por 4 plantas representativas, elegidas al azar en 1 m^2. La variable respuesta evaluada fue el contenido de humedad del suelo. Se realizaron modelos de regresión lineal y un análisis de t de Student para dos muestras.

Las imágenes satelitales fueron obtenidas del satélite Sentinel-2 con una resolución espacial de 10 metros y una resolución temporal de 5 días. 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 %, y corresponden a las siguientes fechas: 15, 21, 25 de agosto, 04, 08, 14, 25, 29 de septiembre, 03, 13, 19 y 24 de octubre de 2023. Para calcular el índice SAVI, se utilizó el software libre QGIS versión 3.32.2 Lima para aplicar la ecuación 1.

$$SAVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED+0.5} * 1.5 = \frac{B8-B4}{B8+B4+0.5} * 1.5 \qquad (1)$$

Donde: NIR es el rango de espectro electromagnético de infrarrojo cercano, RED es el rango de espectro electromagnético de rojo, B4 es el valor de reflectancia en la banda de rojo, B8 es el valor de reflectancia en la banda de infrarrojo cercano (NIR) (Silva Laurentino, 2014).

En cada punto se obtuvieron dos muestras de suelo a diferentes profundidades (0-30 cm y 30-60 cm), mediante una barrena tipo T de 61 cm de longitud, con un tubo de muestreo de 30 cm. El contenido de humedad (Ɵ) de cada muestra fue obtenido mediante el método gravimétrico AS-05, de acuerdo con la norma NOM-021-SEMARNAT-2000.

Resultados y discusión

A partir de los valores del contenido de humedad del suelo y los valores, tanto máximo como mínimo, del índice SAVI, se determinó su relación, mediante un modelo de regresión lineal simple, obteniéndose la ecuación siguiente: Ɵ=13.869SAVI + 19.783, R^2 = 0.7172. El coeficiente de determinación (R^2) se considera alto, por lo que, los resultados de este estudio indican que el contenido de humedad del suelo tiene una alta relación con el índice SAVI, lo que significa que el modelo resulta eficiente para predecir (estimar) el contenido de humedad del suelo a través de los valores de SAVI obtenidos a partir de imágenes de satélite.

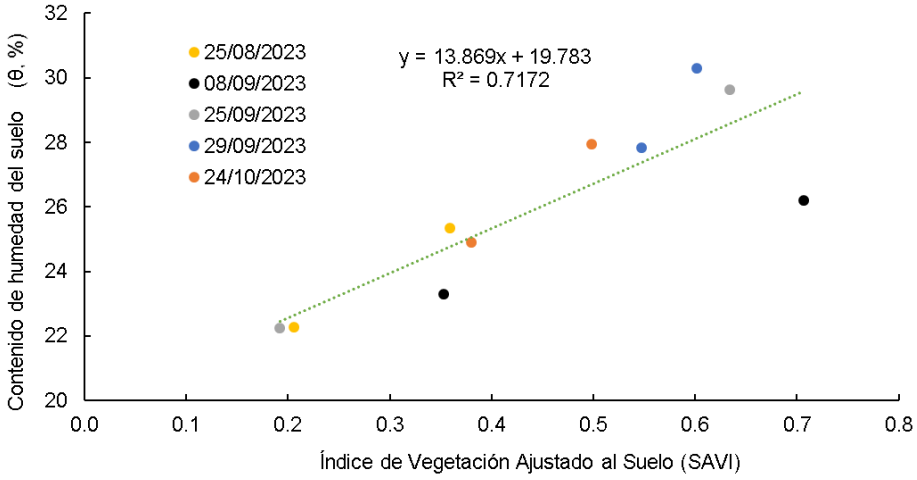


Figura 1. Relación lineal entre el contenido de humedad del suelo y el índice SAVI.

Además, se generaron otros dos modelos (Figura 2), uno para los puntos máximos de SAVI, donde se espera tener a las plantas con menor estrés, es decir, mayor vigorosidad, y otro para los puntos mínimos de SAVI, donde se considera que las plantas muestran la menor vigorosidad, que se relaciona a su vez con un mayor estrés. El modelo que relaciona los valores mínimos del índice SAVI y el contenido de humedad del suelo (Θ=15.592SAVI + 18.874, R^2 = 0.9308) tiene un coeficiente de determinación muy alto. Los resultados indican que el índice SAVI es útil para estimar el contenido de humedad del suelo cuando las plantas están más sanas y vigorosa. Por el contrario, cuando las plantas muestran un mayor estés, el índice SAVI no es recomendado para estimar los valores de humedad del suelo, ya que el modelo generado (Θ=6.7601SAVI + 24.094, R^2 = 0.1821), presenta un coeficiente de determinación muy bajo.

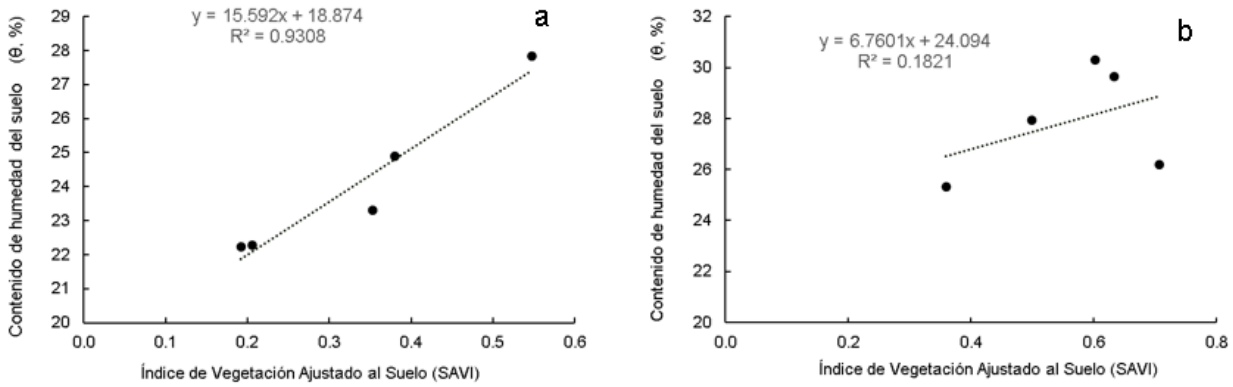


Figura 2. Relación lineal entre el contenido de humedad del suelo y los valores mínimos (a) y máximos (b) del índice SAVI.

A partir del análisis t de Student se encontró que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el contenido de humedad del suelo en los sitios donde los valores del índice SAVI eran los mínimos, respecto a los sitios donde los valores eran máximos (Figura 3). Es decir, el índice SAVI permite identificar los sitios con menor y mayor porcentaje de humedad del suelo, utilizando como indicar la vigorosidad del cultivo, en este caso, del maíz forrajero. Únicamente en la fecha del 29 de septiembre del 2023, no se presenta una diferencia estadísticamente significativa, esto se puede deber a que el contenido de humedad en los puntos de medición era muy similar o a que, en la etapa fenológica correspondiente a la fecha, el cultivo de maíz es menos sensible a las variaciones de humedad. Por tal motivo, se recomienda ampliar este tipo de estudios, ya que es importante obtener mayor información y mejorar los modelos de predicción obtenidos en este trabajo.

Estos resultados son comparables con los presentados por Xiao et al. (2015), quienes encontraron que existe correlación entre diferentes índices de vegetación y el contenido de humedad del suelo en diferentes periodos de crecimiento del cultivo. En ese estudio, los modelos de simulación que generaron, combinan el índice de vegetación, el contenido de agua del suelo y el contenido de agua de la planta en diferentes períodos de crecimiento del trigo de invierno, y encontraron que las correlaciones entre el índice de vegetación diferencial (DVI) y el índice de vegetación perpendicular (PVI) al comienzo del período de elongación del tallo, en el periodo de emergencia de la espiga y en el periodo de maduración con el contenido de humedad del suelo fueron altamente significativas ($P < 0.01$).

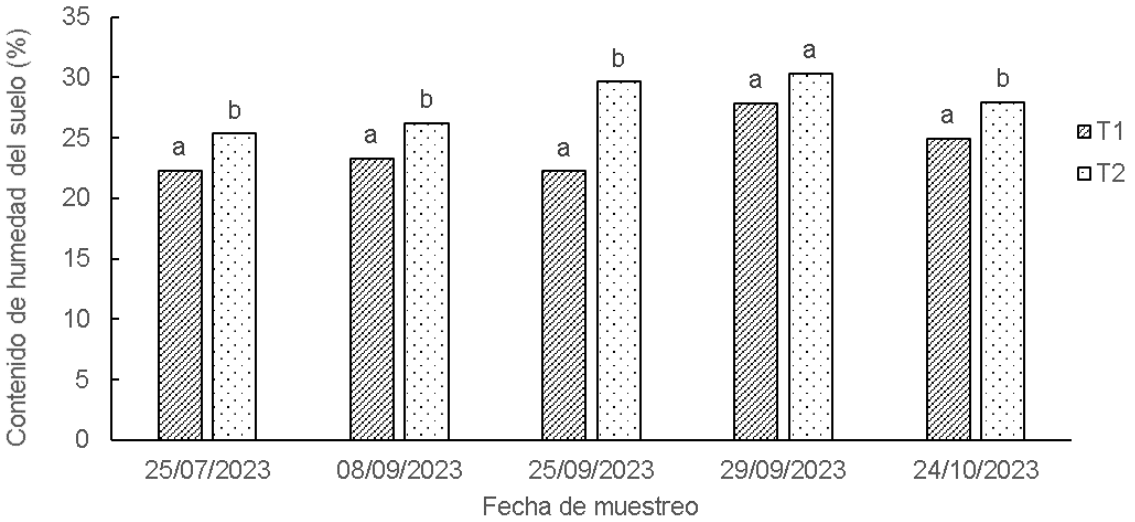


Figura 3. Comparación del contenido de humedad en puntos con los valores mínimos (T1) y máximos (T2) del índice SAVI, en diferentes períodos de crecimiento del maíz forrajero en verano 2023. Mismas letras no difieren estadísticamente con base en la prueba t de Student con $p \leq 0.05$.

Conclusiones

La teledetección, a partir de índices de vegetación, es una herramienta útil para monitorear en tiempo casi real el contenido de humedad el suelo, el cual es un indicador del estado hídrico de los cultivos. A partir de este estudio se concluye que existe una alta relación entre el índice SAVI y el contenido de humedad del suelo, en cultivo de maíz forrajero bajo riego por goteo, en la región de la Comarca Lagunera.

Referencias

Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Martes 31 de diciembre de 2022. Diario Oficial.

Silva Laurentino, M. L. (2014). Aplicación de la teledetección en el análisis de daños en masas de coníferas en la provincia de Burgos-España. http://uvadoc.uva.es/handle/10324/6649

Xiao, L., Feng, M., Yang, W., Ding, G. (2015). Estimation of Water Content in Winter Wheat (Triticum aestivum L.) and Soil Based on Remote Sensing Data–Vegetation Index. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 46(14), 1827–1839. https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1059844

ANÁLISIS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COMARCA LAGUNERA MEDIANTE ÍNDICES ETCCDI

Nuria Aide López-Hernández[1]*, Ramón Trucíos-Caciano[1], Cristo Omar Puente-Valenzuela[1], Marco Antonio Inzunza-Ibarra[1], Iván Franco-Gaytán[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]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: lopez.nuria@inifap.gob.mx

Introducción

El cambio climático (CC) es uno de los grandes desafíos que enfrenta el mundo. Se define como cambios significativos en los valores medios de eventos meteorológicos, como la precipitación y la temperatura, debido a actividades naturales y antropogénicas (Yin & Sun, 2018) Centrándose en los cambios de temperatura y eventos extremos de precipitación, el Equipo de Expertos en Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI), patrocinado por la Comisión de Climatología (CCI) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la Predictibilidad y Variabilidad Climática (CLIVAR) y la Comisión Técnica Conjunta de Oceanografía y Meteorología Marina (JCOMM) definieron un conjunto de 27 índices ampliamente utilizados.

Los índices ETCCDI han sido analizados en varios estudios para detectar cambios en el clima y tendencias en los extremos de precipitaciones anuales y temperaturas máximas y mínimas (Chervenkov & Slavov, 2019). Es importante realizar este tipo de estudios en el norte de México para aumentar la precisión en la detección de cambios climáticos y producir información que pueda ser utilizada para tomar decisiones acertadas sobre la implementación de medidas relevantes de adaptación y mitigación en la agricultura. Analizar las tendencias de los índices de cambio climático en el norte de México es de importancia prioritaria debido a su clima árido, que la convierte en una región vulnerable al CC, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria. El objetivo de este trabajo fue analizar las tendencias de tres índices ETCCDI en la Comarca Lagunera, por ser una zona vulnerable a los efectos de los eventos climáticos extremos.

Materiales y métodos

El área de estudio corresponde a la Comarca Lagunera (CL), ubicada en el norte de México, entre las coordenadas 24° 22' y 26° 23 de latitud N y 102° 22' y 104° 47' de longitud O; tiene una superficie de 31 000 km^2. La región se divide en 16 municipios, 5 de ellos ubicados en el estado Coahuila de Zaragoza: Viesca, Torreón, Francisco I. Madero, San Pedro, Matamoros; y, 11 ubicados en el estado de Durango: San Juan de Guadalupe, Cuencamé, General Simón Bolivar, Mapimí, Gómez Palacio, Nazas, Lerdo, Tlahualilo, San Pedro del Gallo, Rodeo, San Luis Cordero.

Los datos climáticos diarios utilizados en este estudio: temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) y precipitación (PP), fueron tomados del conjunto de datos del Servicio Meteorológico Nacional [https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=coah]. Las estaciones climáticas elegidas para el cálculo de los índices de cambio climático fueron: San Pedro “05036” (25° 45' 25.2" de latitud, -102° 59' 45.6" de longitud y 1100 m de altitud), en el estado de Coahuila; Ciudad Lerdo (DGE) “10108” (25° 32' 45.6" latitud N, -103° 31' 19.2" longitud W y altitud 1140 m s.n.m.); y Tlahualilo “10085” (26° 06' 21.6" de latitud, -103° 26' 34.8" de longitud y altitud de 1100 m s.n.m.) en el estado de Durango.

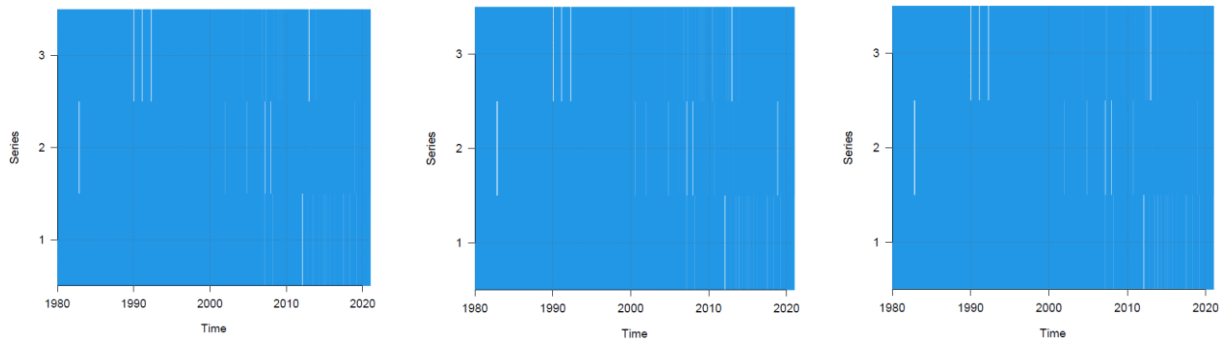
La ubicación de las estaciones permite obtener datos representativos de la región, y su selección se basó en no perder más del 2% de los datos diarios (Tmax, Tmin, PP). El rango temporal de los datos diarios fue de 1980 a 2020.

Para obtener índices representativos de toda la CL, los datos diarios homogeneizados se cuadricularon utilizando la función dahgrid de Climatol, que utiliza el método de distancia ponderada inversa (IDW), y luego se calcularon los índices. En este caso, el valor del cuadro de cuadrícula es un índice que describe un aspecto del comportamiento de los valores medios diarios del cuadro de cuadrícula.

En el presente estudio, la resolución espacial seleccionada fue 0.025°. Los índices de cambio climático calculados en este estudio fueron 3 de los 27 índices propuestos por la ETCCDI, utilizando la grilla homogeneizada y el software RClimdex [Climdex, 2019, http://etccdi.pacifclimate.org]. Los índices de extremos fueron definidos por ETCCDI para reforzar el hallazgo de posibles cambios en el clima dentro de las series temporales.

Resultados y discusión

La homogeneización se refiere al proceso de eliminar perturbaciones que no sean puramente climáticas en los registros de datos brutos; uno de los principales problemas en el conjunto de datos climáticos es la falta de datos. En este caso, en la base de datos climáticos diarios, utilizada para calcular los índices de cambio climático, hay un máximo de datos faltantes de 332, 352 y 409, para precipitación (PP), temperatura mínima (Tmin) y temperatura máxima (Tmax), respectivamente, de 14,976 datos. La pérdida de datos se produjo principalmente en los años 1983, 1990, 1991, 1992, 2008, 2012 y 2013 (Figura 1). Cabe destacar que más del 99% de los datos de todas las estaciones estuvieron disponibles para el período de estudio; por lo tanto, estas estaciones meteorológicas fueron consideradas de gran importancia en términos de disponibilidad de datos, especialmente en vista de la escasez de información climática en el norte de México.



a) b) c)

Figura 1. Disponibilidad de datos diarios (franjas azules) de precipitación (a), temperatura máxima (b) y temperatura mínima (c) para San Pedro (1), Ciudad Lerdo DGE (2) y Tlahualilo (3).

Porcentaje de días en los que la temperatura mínima diaria > percentil 90 (Tn90p). Se observa que existe un aumento en el porcentaje de noches cálidas a lo largo de los años en toda la región CL. En el caso de Lerdo las noches cálidas con más del 10% se dieron desde 2010, mientras que para Tlahualilo fue desde 2008. En San Pedro se observa que de 1997 a 1998 hubo un aumento drástico de 6.75% a 15.73% (Figura 2).

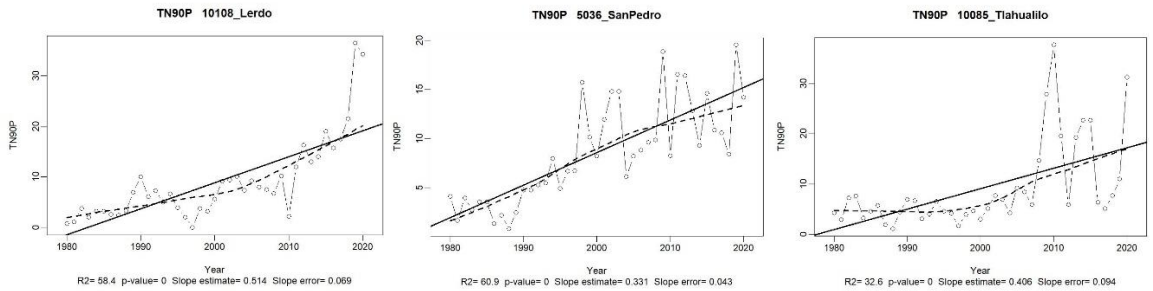


Figura 2. Índice de noches cálidas (Tn90p) en la Comarca Lagunera de 1980 a 2020.

Valor máximo mensual y anual de la temperatura mínima diaria (TNx). Hubo un aumento de la temperatura mínima de 3°C, en los años de 2015 a 2016, 2008 a 2009 y de 1992 a 1993, respectivamente. De las tres estaciones, Lerdo es la que presenta temperaturas mínimas más bajas. Durante el período de 1993 a 2020, la temperatura máxima mínima promedio de San Pedro fue de 26°C (Figura 3).

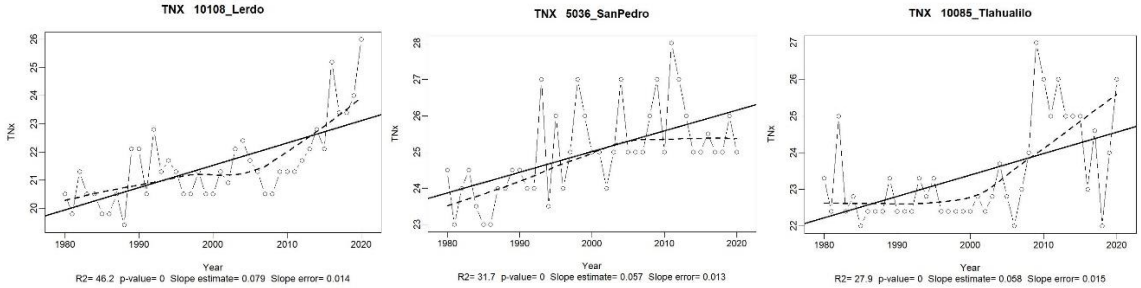


Figura 3. Índice de noches más cálidas (TNx) en la Comarca Lagunera de 1980 a 2020.

Número de días de precipitaciones muy intensas (R20mm). De 1980 a 2007, Lerdo presentó un rango de 1 a 4 días con precipitación mayor a 20mm, y durante el periodo de 2012 a 2020 el rango aumentó de 2 a 6 días. En San Pedro, de 1989 a 1998 el rango se amplió de 1 a 5 días. En el periodo de 1999 a 2013 hubo 5 años con precipitación menor a 20 mm, luego en 2014 hubo un incremento drástico de 8 días, manteniéndose en un rango de 8 a 5 días hasta 2018. Tlahualilo presentó un rango de 1 a 6 días durante el período de 1980 a 2020, con un valor extremo de 32 días en 2018 (Figura 4).

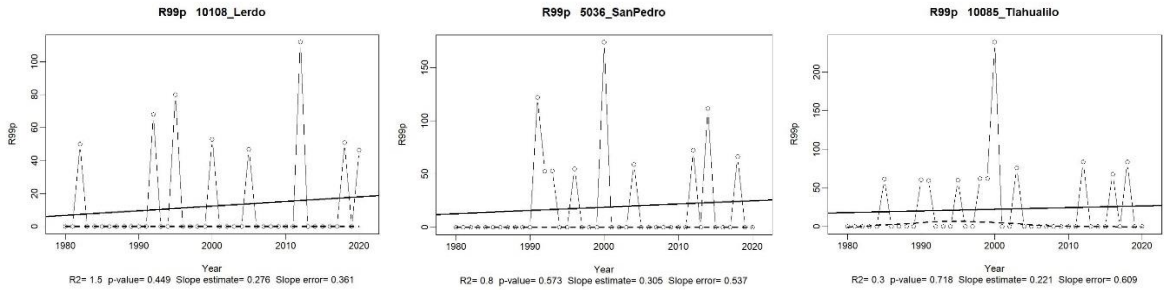


Figura 4. Número de días de precipitación muy intensa (R20mm) de 1980 a 2020.

Conclusiones

Los cambios en los valores extremos de temperatura y precipitación en la Comarca Lagunera se identificaron mediante los índices ETCCDI. Se observó que existe un aumento en la temperatura, según índices como porcentaje de noches cálidas (Tn90p) y temperatura mínima diaria (TNx). Esta situación está acentuando la sequía en la región norte del país. Los cambios en la temperatura mínima también sugieren un aumento de la temperatura durante los 40 años del período de estudio. En el caso de las precipitaciones, en los años 2000 y 2018 hubo un mayor número de días de precipitación muy fuerte (R20mm).

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

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.

COEFICIENTES DE AJUSTE POR DESARROLLO DEL MAIZ FORRAJERO Y SU MODELACIÓN CON LISIMETRÍA

Marco Antonio Inzunza-Ibarra*, Nuria Aidé López-Hernández, Sergio Iván Jiménez-Jiménez, Ignacio Sánchez-Cohen, Mariana de Jesús Marcial-Pablo

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera. Canal Sacramento Km 6.5 margen derecha, Gómez Palacio, Dgo. CP 35140. *Autor de correspondencia: inzunza.marco@inifap.gob.mx

Introducción

La estimación de la evapotranspiración de los cultivos a partir de la evapotranspiración de referencia calculada de datos climáticos en las diferentes zonas agrícolas del país, es de gran relevancia para una planeación agrícola más precisa bajo riego. Esto es posible cuando se cuenta con información de los coeficientes de ajuste por desarrollo de los diferentes cultivos (Kc) en tales zonas agrícolas, ya que este dato se ha tomado de la literatura extranjera y corresponde a cultivos que se han desarrollado en otras latitudes y la mayoría de las veces se tienen poco éxito al utilizarse para las condiciones de México (Inzunza y Mojarro, 1994; Reyes-González et al., 2019). En cultivos anuales, este coeficiente tiene una típica variación que se produce debido a la evolución del follaje, del clima y cambios en la cobertura del terreno. Para lograr estimaciones confiables de la evapotranspiración real o actual de los cultivos, se deben considerar los factores edáficos y de la planta; sin embargo, en condiciones óptimas de humedad en el suelo sólo la planta afecta la oferta de agua. En estas condiciones se obtiene la evapotranspiración máxima 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 máxima del cultivo y de la evapotranspiración de referencia (López-Urrea et al.,2014). Este parámetro es adimensional y se determina en forma empírica con la ecuación

$$Kc = ETm\ ETr^{-1} \qquad (1)$$

Donde ETm = Evapotranspiración máxima (mm); ETr = evapotranspiración de referencia (mm)
Este trabajo en maíz forrajero tuvo como objetivos determinar la evapotranspiración máxima en forma precisa para posteriormente obtener sus coeficientes 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.

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 N83N5 que corresponde a maíz amarillo, con una densidad de 105 mil plantas por ha aproximadamente y una fertilización de 100 -50-0 kg de nitrógeno, fosforo y potasio respectivamente.

Metodología. El maíz forrajero se sembró en el lisímetro de pesada de 1.8 de ancho y 3.60 m de largo, se desarrolló bajo condiciones no restrictivas de humedad; condición indispensable para obtener la evapotranspiración máxima de este cultivo, para lo cual se estableció un régimen de humedad hídrico en el suelo del lisímetro entre 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 (Inzunza y Mojarro, 1994). 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. Los citados autores proponen 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.

$$Kc = b_0 + b_1 \Sigma UCA + b_2 \Sigma UCA^2 \qquad (2)$$

Donde: UCA = unidades calor acumuladas al período i, b_i = coeficientes de la regresión.

Los datos generados en este trabajo fueron la evapotranspiración máxima del maíz (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 SAS (SAS, 1999).

Resultados y discusión

Los resultados de los requerimientos de unidades calor de crecimiento para el maíz forrajero establecido en el lisímetro de pesada de alta precisión son presentados en la Figura 1. Se tomó como temperatura base para el maíz el valor de 5 ^{o}C y de 30 ^{o}C como temperatura máxima (López-Maya, 2024). 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 98 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.

Evapotranspiración máxima del maíz forrajero. Los datos obtenidos de evapotranspiración máxima del maíz creciendo en el lisímetro gravimétrico de alta precisión fueron generados diariamente y fueron utilizadas 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 inicio de floración, 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 16 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.

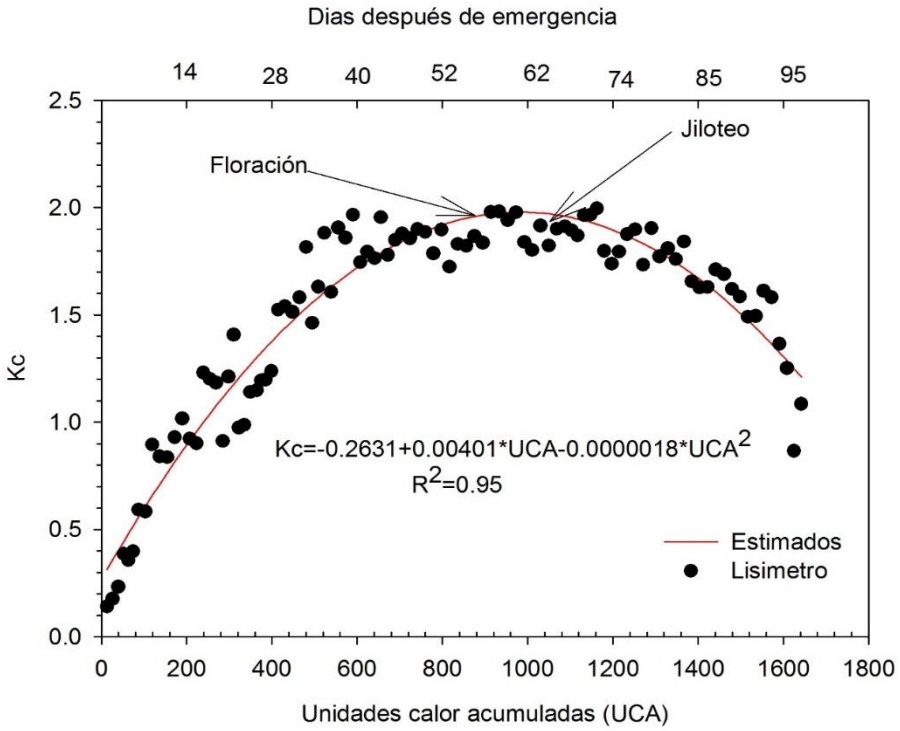


Figura 1. Coeficiente de ajuste por desarrollo del maíz forrajero (Kc) y las unidades calor (UCA)

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 ($ETm\ ETr^{-1}$) 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 fue como sigue: en el inicio del período vegetativo del cultivo y hasta antes de la 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 2.0, 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 = 1.9, esto significa que la demanda hídrica del complejo planta-atmósfera superó en un 90 % 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 (UC), 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:

$$Kc = -0.2631 + 0.00401*UCA - 0.0000018*UCA^2 \quad (3)$$

$$R^2 = 0.95 \quad CV=9.1\%$$

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 muy bueno y por consecuencia su poder predictivo que proporciona mayor generalidad al modelo por sus parámetros físicos involucrados.

Conclusiones

Se determinó un ajuste satisfactorio al modelo polinomial de segundo grado para representar el 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.

El modelo obtenido tiene la característica de proporcionar mayor generalidad de los coeficientes de ajuste por desarrollo ya que involucró parámetros con más carácter físico como son las unidades calor de crecimiento, en lugar de los modelos que relacionan los Kc en función del calendario juliano o el desarrollo vegetativo en días.

Cuando el maíz alcanzó la etapa de crecimiento a las 500 unidades calor de crecimiento, el Kc ya presentó valores de 1.5, los cuales se incrementaron hasta valores de 1.9 al alcanzar la floración como a las 970 unidades calor acumuladas. Al momento de la cosecha se tenía un valor de Kc de 1.1 durante el llenado de grano y con aproximadamente a las 1645 unidades térmicas de crecimiento del cultivo.

Referencias

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificacion climatica 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

Inzunza, I. M. A. & .Mojarro D. F. (1994). Simulación del coeficiente de cultivo con base en unidades térmicas. Terra. 12: 289-296.

López-Maya, A. (2024). Acumulación de unidades calor y su relación con la fenología del cultivo del frijol. Tesis profesional. Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

López-Urrea, R., Montoro, A. & Trout, T. J. (2014). Consumptive water use and crop coefficients of irrigated sunflower. *Irrigation Science,* 32,99-109. https://doi.org/10.1007/s00271-013-0418-9

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 Latinoamericana 37: 279-290. https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.485

Statistical Analysis System (SAS). (2003). User's guide (version 9.1) (software). SAS Institute Inc.

APLICACIÓN COMPUTACIONAL PARA EL USO Y ANÁLISIS DEL AGUA EN CUENCAS (ACUAC) FASE: HIDROLOGÍA

Ignacio Sánchez-Cohen[1*], Sergio I. Jiménez-Jiménez[1], Marco A. Inzunza-Ibarra[1], Gabriel Díaz-Padilla[2], Rafael A. Guajardo-Panes[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Centro Regional de Investigación Golfo Centro. [*]Autor para correspondencia: sanchez.ignacio@inifap.gob.mx

Introducción

La alta variabilidad en espacio y tiempo de las disponibilidades de agua para todos los usos, dificulta la adecuada planeación y sostenibilidad del recurso. Esta situación requiere de aproximaciones analíticas como apoyo a la toma de decisiones que se fundamenten en la obtención, análisis y síntesis de información de diferentes fuentes. Considerando a la cuenca hidrológica como unidad base en la planeación de la disposición y uso del agua en el país, es pertinente que los planes de acción estén acorde a esa escala para afrontar los retos que impone el cambio en los patrones del clima. En México existe información en el contexto del recurso agua disponible en diferentes escalas y plataformas. También existen dominios (URL) que ponen a disposición información geoespacial útil en ciertos niveles de toma de decisiones. Sin embargo, estas plataformas no disponen de algoritmos implícitos que permitan realizar análisis climático-hidrológicos en aras de puntualizar las decisiones en las cuencas hidrológicas, con impacto directo en los ecosistemas en los que se aplique. En tal virtud, a partir del 2023, en el INIFAP se ha empezado a construir una plataforma computacional que ensambla información hidro-climática de diferentes fuentes como insumo a diversos modelos de simulación calibrados que la procesan y sirve como plataforma para la toma de decisiones. Así, el objetivo esencial ha sido desarrollar una plataforma digital con interfaces amigables para la obtención, síntesis, análisis y despliegue de información climático – hidrológica en las regiones hidrológicas del territorio nacional. La información residirá en un servidor (equipo de almacenamiento de información) y será la fuente de consulta y despliegue de las requisiciones del (os) usuario (os). La presente publicación se aboca solo a la descripción de la fase hidrológica.

Materiales y métodos.

La aplicación ACUAC ha sido construida en plataforma PYTHON ya que ésta presenta diversas ventajas sobre otros lenguajes computacionales: Programación orientada a objetos, librerías para creación de una interface amigable y atractiva al usuario, de fácil portabilidad y creación de ejecutables para la difusión y transferencia. Los modelos de simulación que incluye (clima, erosión, escurrimiento, balance hídrico), han sido reportados en numerosa literatura. El modelo de balance de agua en el suelo ha sido desarrollado por los autores (Sánchez et al., 2013) y la idea original del sistema ha sido reportada por Sánchez el tal., 2015).

Resultados y discusión

La figura 1 presenta la estructuración general de la plataforma y la figura 2 lo referente a la parte hidrológica. Para fines explicativos en la figura 2 se han incluido secciones (A-D) para mayor entendimiento:

a) En esta sección se sugiere dividir la cuenca en al menos tres sub cuencas para la obtención del hidrograma adimensional en cada una de ellas; al final, se puede obtener el hidrograma ponderado (figura 3, primera fila izquierda).

b) En este apartado se solicita introducir algunos parámetros del acuífero principal de la cuenca para obtener un “índice de seguridad” que indica cual debe de ser el gasto mínimo ecológico para evitar el deterioro de la cuenca (figura 3 primera fila derecha).
c) En este apartado, el usuario es remitido a los servidores de la Comisión Nacional del Agua donde podrá consultar la disponibilidad de los acuíferos de la cuenca (Figura 4). También, se incluye un graficador de series de tiempo de datos nacionales sobre aguas subterráneas (segunda fila, izquierda), se presentan los estadísticos de la serie de tiempo de los flujos (segunda fila derecha); aquí mismo, se presenta una liga para verificar en tiempo cuasi real el estado del acuífero de interés, así como las disponibilidades de agua en las presas.
d) En esta parte se puede proyectar el balance de la cuenca a partir del 1950 y hasta el 2050. También, se realiza el cálculo de evapotranspiración actual y el balance hídrico para los próximos siete días a partir de la fecha de consulta tercera fila izquierda). El modelo usado es CMIP6 (Mizuta, et al 2019), Zippenfenig, P. (2023).
e) Se incluyen dos algoritmos de inteligencia artificial para el cálculo del hidrograma unitario de la cuenca: MACHINE LEARNING y DEEP LEARNING. Aquí, se desarrolló un modelo de escurrimiento y se obtuvieron miles de combinaciones de sus parámetros para entrenar una red neuronal (tercera fila derecha).

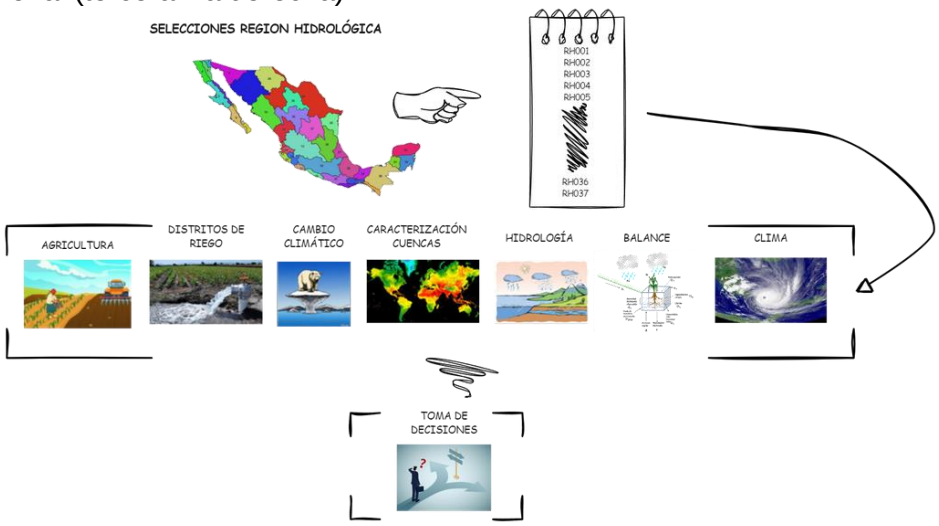


Figura 1. Diagrama de flujo general de la aplicación ACUAC



Figura 2. Pantalla principal de la fase HIDROLOGÍA en la aplicación ACUAC

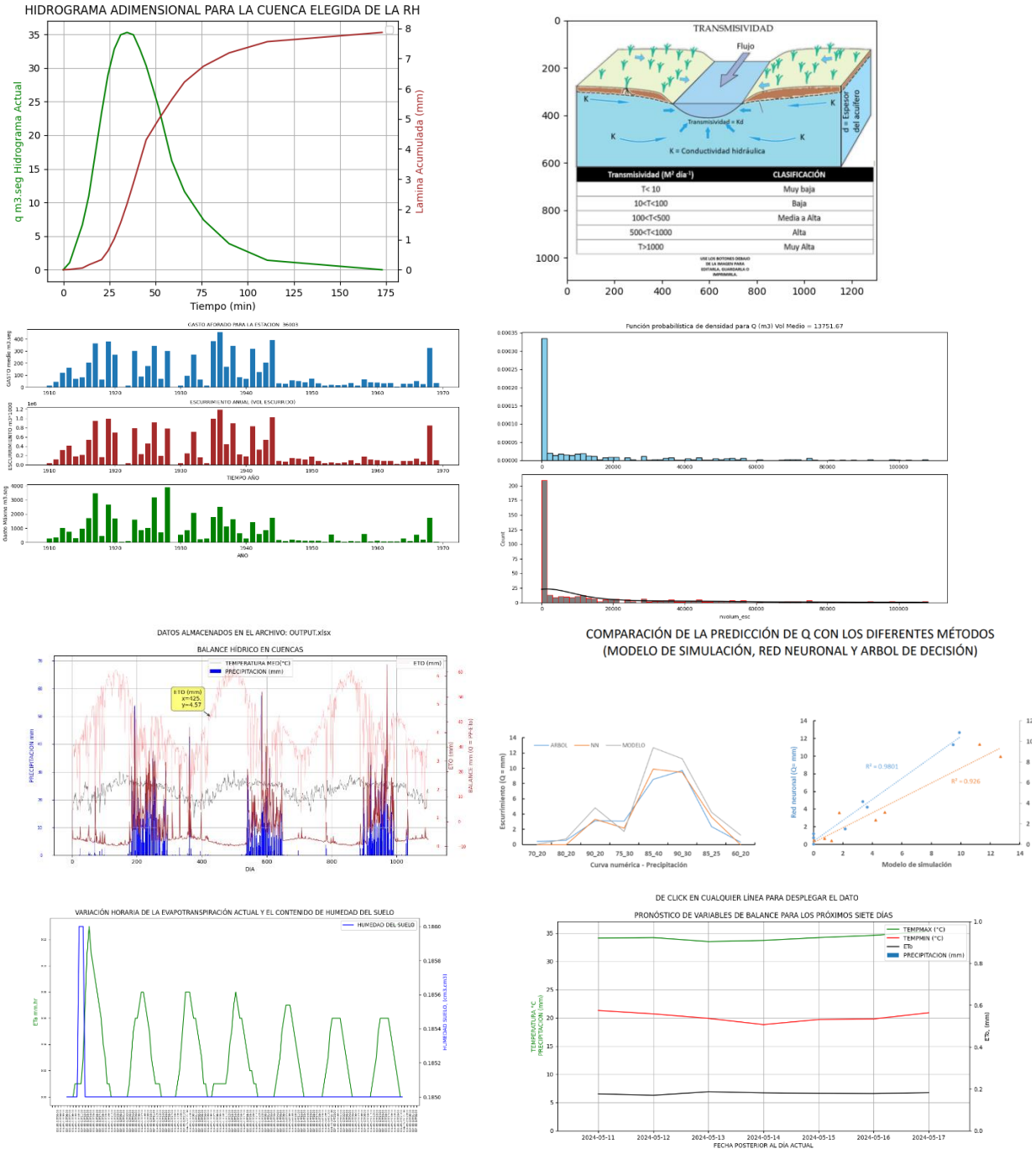


Figura 3. Diferentes salidas de las opciones en la fase de Hidrología. Primera fila: izquierda, Hidrograma adimensional para una sub-cuenca, derecha, parámetros del acuífero para el cálculo del índice de seguridad de la cuenca, Segunda fila: izquierda, series de tiempo de flujos a la presa; segunda fila derecha, funciones de densidad para los flujos de la serie de tiempo. Tercera fila izquierda balance de agua para la cuenca elegida para dos años a partir del 01-01-2023 al 31-12-2024, derecha, comparación de los algoritmos de inteligencia artificial Machine Learning y Deep Learning. Cuarta fila: izquierda Evapotranspiración actual horaria para los próximos siete días a partir de la fecha de consulta, derecha, temperatura máxima, temperatura mínima y evapotranspiración potencial para los próximos siete días para la cuenca elegida.

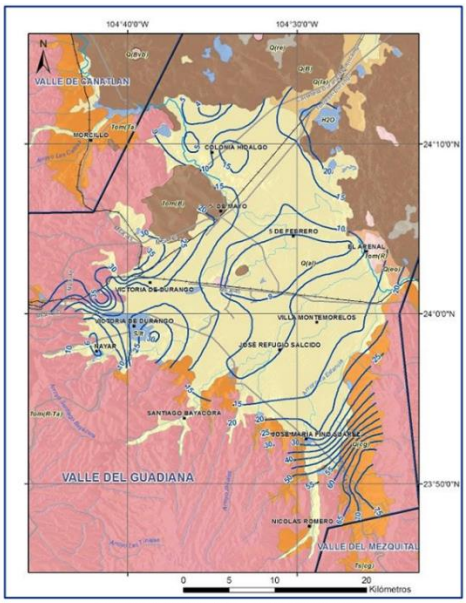


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2014)

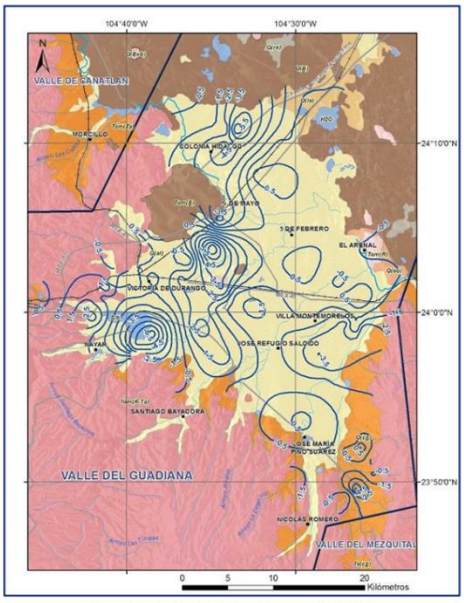
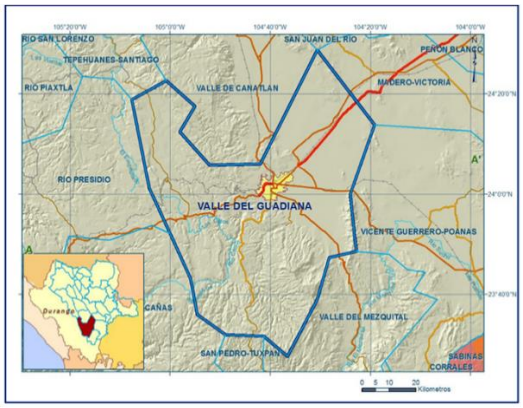


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2012-2014)



ACUIFERO 1003 VALLE DEL GUADIANA

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	104	55	54.3	23	43	8.0
2	105	0	2.5	23	52	8.6
3	105	4	12.0	24	1	12.0
4	105	7	38.7	24	18	53.3
5	105	0	48.8	24	22	38.1
6	104	55	5.0	24	17	31.7
7	104	58	7.4	24	12	28.4
8	104	52	8.2	24	5	48.8
9	104	42	0.0	24	6	0.0
10	104	30	36.0	24	28	48.0
11	104	19	12.0	24	13	48.0
12	104	24	0.1	24	0	0.0
13	104	22	48.0	23	48	36.0
14	104	28	12.0	23	47	24.0
15	104	30	36.0	23	39	0.0
16	104	36	36.0	23	27	36.0
17	104	41	19.8	23	31	39.0
18	104	48	56.3	23	31	56.3
19	104	54	36.3	23	36	0.2
1	104	55	54.3	23	43	8.0

Figura 4. Tipo de información que se puede encontrar en los archivos que despliega la Comisión Nacional del Agua. En el ejemplo, fila superior: estado y evolución del acuífero del Valle del Guadiana en el estado de Durango. Fila inferior: Polígono y coordenadas del acuífero.

Conclusiones

La emergencia de nuevos protocolos de análisis de información, proveen de un sustento tecnológico muy poderoso para estructurar y analizar información de diversas fuentes y en diversos formatos. El futuro en el avance científico y tecnológico reside, en gran medida, en las herramientas analíticas que permiten hacer lo difícil, fácil y lo fácil, elegante.

Se considera que la aplicación, que será liberada como un programa ejecutable, vendrá a empoderar a investigadores, técnicos y productores en los procesos de toma de decisiones en cuencas hidrológicas. La plataforma en su fase de hidrología, incluye programas ejecutables, así como acceso a bases de datos como la Comisión Nacional del Agua y la plataforma OPEN-METEO. La interface con el usuario es muy amigable e intuitiva.

La plataforma ACUAC está aún, al 2024, en etapa de desarrollo de todas sus fases. Es un proyecto fiscal del INIFAP y se espera su conclusión a finales del 2025.

Referencias

Mizuta, Ryo; Yoshimura, Hiromasa; Ose, Tomoaki; Hosaka, Masahiro; Yukimoto, Seiji. (2019). *MRI MRI-AGCM3-2-S model output prepared for CMIP6 HighResMIP highresSST-present*. Version *2024.* Earth System Grid Federation. https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.6942

Sánchez-Cohen I., G. Díaz Padilla, M. Velásquez Valle, D. C. Slack and Philip Heilman. (2015). A decision support system for rainfed agricultural areas of Mexico. Computers and Electronics in Agriculture. http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2015.03.009

Sánchez-Cohen I., Miguel A. Velásquez Valle, Ernesto A. Catalán Valencia, Marco A. Inzunza Ibarra, Gerardo Esquivel Arriaga, Palmira Bueno Hurtado y Gabriel Díaz Padilla. (2013). Modelo de Balance Hídrico como Apoyo a la Toma de Decisiones en zonas Agrícolas Bajo Incertidumbre Climática. Folleto Técnico No. 28. INIFAP – CENID RASPA. 53 pp.

Zippenfenig, P. (2023). Open-Meteo.com Weather API [Computer software]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/ZENODO.7970649

APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA LA PREDICCIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA BASADA EN DATOS CLIMÁTICOS

Aldo R, Martínez-Sifuentes[1]*, Nuria A. López-Hernández[1], Ramón Trucíos-Caciano[1], José A. Hernández-Herrera[2], Selenne Yuridia Márquez-Guerrero[3]

[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, Gómez Palacio, Durango. [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Saltillo. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila. [3]Instituto Tecnológico de Torreón. Torreón - San Pedro De las Colonias KM 7.5, Ejido Ana, Torreón, Coahuila.

Introducción

La integración de los procesos de evaporación y transpiración genera el concepto de evapotranspiración (ET). La ET, al igual que la transpiración, está sujeta a la influencia de variables meteorológicas, características de los cultivos y factores ecológicos. La ET se define como la pérdida de agua en la atmósfera resultante de la combinación de evaporación y transpiración. Este parámetro es crucial en estudios hidrológicos y agrometeorológicos, y es particularmente relevante para optimizar el uso del agua en la agricultura (Jiang y Liu, 2022).

Existen diversos métodos para calcular la ET, cada uno con sus propias ventajas y desventajas según su aplicación y los datos disponibles. La ET puede ser determinada directamente mediante dispositivos como lisímetros de pesada y la covarianza de Foucault, que ofrecen mediciones precisas y confiables. No obstante, estos dispositivos presentan dificultades para su aplicación a gran escala debido a los altos costos de mantenimiento y el significativo tiempo requerido para su operación.

Para superar la limitación de la alta demanda de datos meteorológicos en el modelo PM FAO-56 y la variabilidad de los modelos empíricos simples, se han adoptado varios modelos de aprendizaje automático (ML), que ofrecen una solución más económica y fácil de aplicar. Los modelos de ML se están convirtiendo en alternativas preferidas frente a los métodos directos o indirectos. En particular, se ha observado un uso creciente de modelos de ML para la estimación de evapotranspiración de referencia (Eto) en regiones con datos meteorológicos limitados o difíciles de obtener. Por ejemplo, Zhang et al. (2022) emplearon modelos como vecinos más cercanos (kNN), máquinas de refuerzo (RF), redes neuronales artificiales (ANN), máquinas de refuerzo de gradiente ligero (LGBM) y redes neuronales temporales convolucionales (TCN) para modelar la Eto con datos limitados en el norte de China. Estos modelos de ML proporcionaron estimaciones de Eto más precisas en comparación con los modelos empíricos.

Las redes neuronales artificiales, uno de los primeros enfoques ampliamente utilizados para extraer información de datos no lineales, se han aplicado extensamente debido a su capacidad sobresaliente para establecer relaciones de entrada-salida con alta precisión, sin necesidad de comprender los procesos físicos subyacentes. El objetivo del presente estudio, fue estimar la evapotranspiración de referencia a través del uso de Redes Neuronales en Machine Learning.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en una finca privada ubicada en el municipio de Francisco I. Madero, en el estado de Coahuila, México. La superficie cultivable en cuestión abarca 26,14 hectáreas. El clima predominante es semicálido seco (BWH), con temperaturas medias anuales de 20,9 °C y precipitaciones medias anuales de 260,7 mm. La investigación se realizó durante el ciclo agrícola de verano de 2020. El suelo es de textura franco arcillosa. Se utilizó el híbrido de maíz Syngenta N8305 y se sembraron 93,100 plantas por hectárea. Las prácticas agrícolas incluyeron rastra, subsolado, doble rastra, siembra y rotocultivo. La fertilización química consistió en 200 kg ha-1 de fosfato monoamónico y 100 kg ha-1 de Solub 45. El riego se realizó inicialmente con un riego de saturación y se complementó con tres riegos adicionales durante el ciclo del cultivo. La evapotranspiración de referencia se calculó utilizando el modelo Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

$$Eto(PM) = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

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}); e_s 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}).

Se descargó la información climática diaria, que incluía temperatura máxima, mínima y media a 2 metros sobre la superficie terrestre, así como humedad relativa, velocidad del viento, radiación extraterrestre acumulada y radiación solar acumulada, desde la plataforma NASA POWER para el período de 2021 a 2023. Para estimar la evapotranspiración de referencia (ETo), se utilizó la librería neuralnet en el programa RStudio, incorporando variables como temperatura máxima, mínima, media, humedad, radiación y velocidad del viento. Los datos se dividieron en conjuntos de entrenamiento y de prueba en proporciones de 70% y 30%, respectivamente. Se aplicó la técnica de validación cruzada k-fold, dividiendo el conjunto de entrenamiento en cinco subconjuntos. Para evaluar el rendimiento del modelo, se calcularon el coeficiente de determinación R^2, la raíz del error cuadrático medio y el error cuadrático medio.

Resultados y discusión

Se observó una variabilidad coherente entre la evapotranspiración estimada por el método de Penman-Monteith y la estimada mediante Redes Neuronales (Figura 1). El modelo de Backpropagation en Redes Neuronales, utilizando las variables de temperatura máxima, mínima y media, mostró una varianza explicada del 99.28%, con un error cuadrático medio de 1.15 y una raíz del error cuadrático medio de 1.07 (Figura 1 y 2). La variable con mayor impacto fue la temperatura máxima, seguida por la temperatura media y, en último lugar, la temperatura mínima (Figura 2).

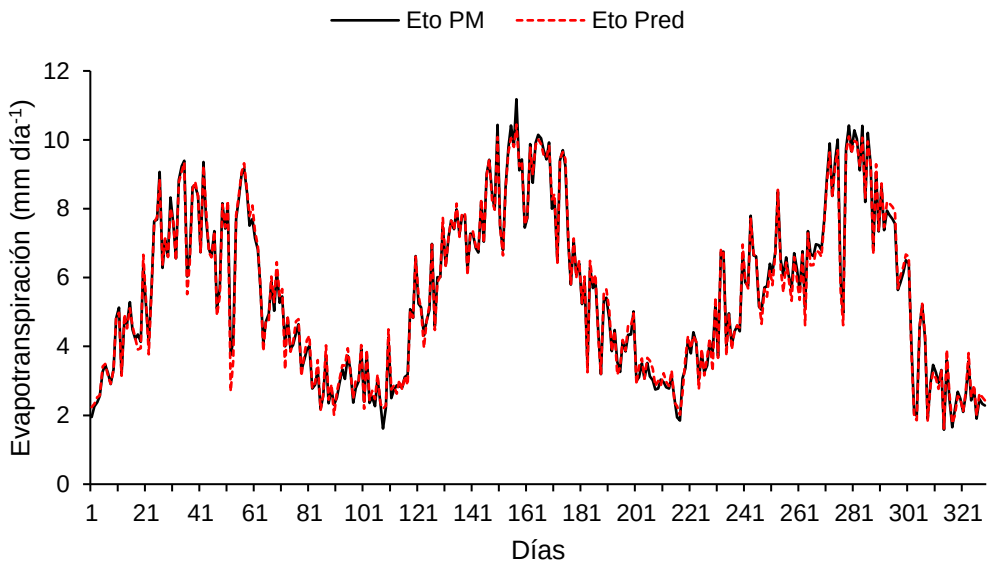


Figura 1. Evapotranspiración calculada por Penman-Monteith y Redes Neuronales.

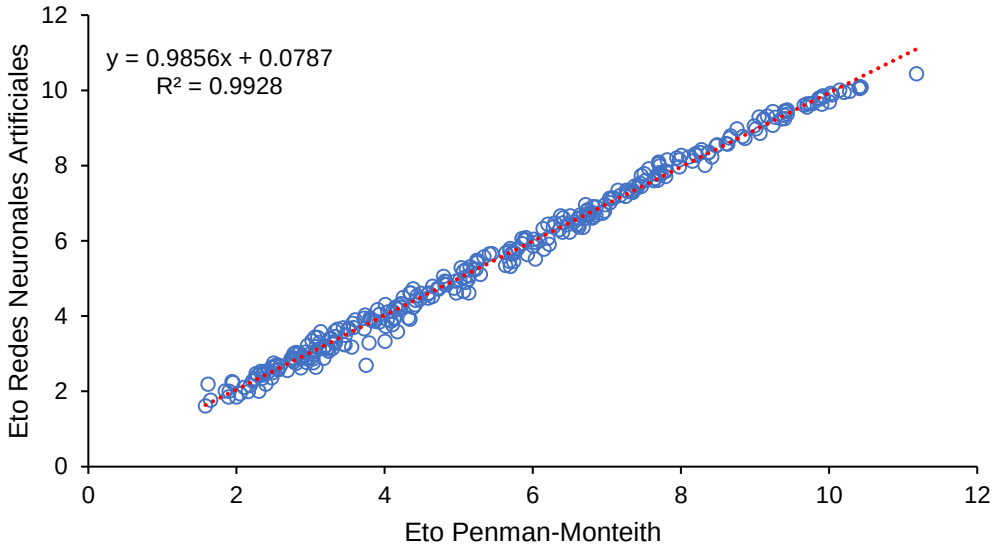


Figura 2. Dispersograma de la evapotranspiración de referencia estimada por Penman-Monteith y Redes Neuronales.

La variable más importante fue la velocidad del viento, seguida por la radiación y la temperatura máxima (Figura 3).

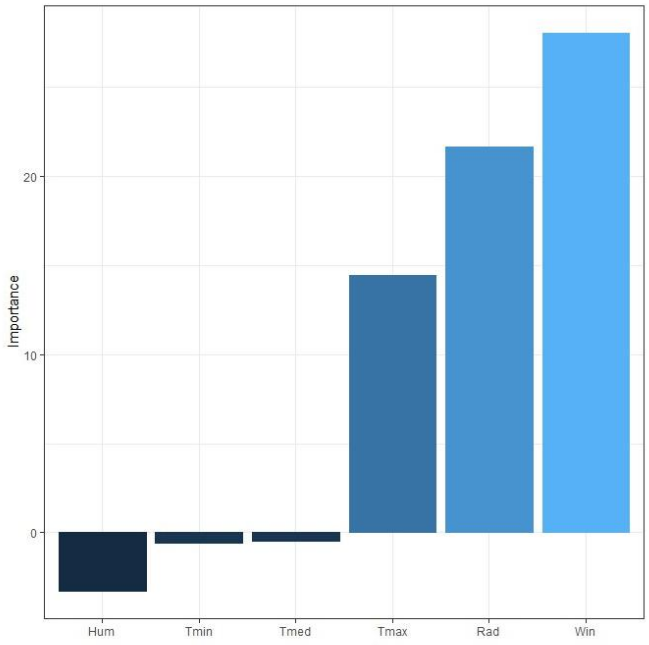


Figura 3. Importancia de las variables de estimación de evapotranspiración a través del algoritmo de Redes Neuronales Artificiales.

Se han creado métodos de aprendizaje automático para estimar la evapotranspiración, entre los cuales el uso de Redes Neuronales se destaca, logrando explicar hasta un 80% de la variabilidad solo con variables de temperatura (Yong et al., 2023). Esta técnica facilita el cálculo de la pérdida de agua en zonas agrícolas utilizando únicamente datos de temperatura máxima, mínima y media. Además de mejorar la precisión de las estimaciones, proporciona flexibilidad, adaptabilidad, automatización y escalabilidad en el análisis (Chia et al., 2020).

Conclusiones

Este estudio se enfocó en desarrollar un método alternativo y eficaz para estimar la evapotranspiración de referencia en una región del norte de México mediante el uso de Redes Neuronales en Machine Learning. A diferencia del método de Penman-Monteith (FAO), que requiere más parámetros, este enfoque logró modelar con éxito las variables de temperatura máxima, mínima y media, humedad, radiación y velocidad del viento alcanzando resultados del 99% en comparación al método tradicional.

Referencias

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop Evapotranspiration—Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 56; FAO: Rome, Italy, 1998; p. 300.

Chia, M.Y.; Huang, Y.F.; Koo, C.H.; Fung, K.F. Recent advances in evapotranspiration estimation using artificial intelligence approaches focusing on hybridization techniques—A review. Agronomy 2020, 10, 101.

Jiang, Y.; Liu, Z. Simulation of actual evapotranspiration and evaluation of three complementary relationships in three parallel river basins. Water Resour. Manag. 2022, 36, 5107–5126.

Yong, S.L.S.; Ng, J.L.; Huang, Y.F.; Ang, C.K. Estimation of Reference Crop Evapotranspiration with Three Different Machine Learning Models and Limited Meteorological Variables. Agronomy 2023, 13, 1048. https://doi.org/10.3390/agronomy13041048

Zhang, H.; Meng, F.; Xu, J.; Liu, Z.; Meng, J. Evaluation of Machine Learning Models for Daily Reference Evapotranspiration Modeling Using Limited Meteorological Data in Eastern Inner Mongolia, North China. Water 2022, 14, 2890.

SENSORES ABORDO DE RPAS COMERCIAL COMO ALTERNATIVA AL MONITOREO DE SALUD DE LOS CULTIVOS

Enrique Miguel-Valle[1,2], Aldo Rafael Martínez-Sifuentes[2], Ramón Trucíos-Caciano[2], Nuria Aide López-Hernández y Yenifer Moreno-Sepúlveda[1-2*]

[1]Instituto Tecnológico de Torreón, Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, Ejido Ana. Torreón, Coahuila, México C.P. 27170. [2]CENID RASPA-INIFAP, Km. 6.5 Margen Derecha del Canal Sacramento, Gómez Palacio, C.P. 35079, Durango, México. *Autor para correspondencia: enrique.miguel89@hotmail.com

Introducción

La teledetección basada en la implementación de tecnologías como lo son los Rpas (Remotely Piloted Aircraft System) ofrecen grandes posibilidades para adquirir de forma rápida y sencilla datos de campo para aplicaciones de agricultura de precisión (Candiago et al., 2015). Estas tecnologías son vitales para la comprensión de los cambios de los cultivos espaciotemporalmente, así como en el crecimiento de los cultivos a nivel intra-campo para mejorar la producción agrícola utilizando enfoque de agricultura inteligente y de precisión (Nduku, 2023)

El adquirir un sensor multiespectral representa un costo considerable, y en la mayoría de los casos, representa un obstáculo directo a la economía de un pequeño productor, por lo tanto, resulta importante conocer alternativas que puedan subsanar dichas complejidades y puedan aportar información aproximada de la salud de los cultivos a un costo relativamente más bajo. El objetivo del presente estudio fue comparar índices de vegetación recabados con drones y sensores de alto costo comercial versus índices de vegetación recabados con drones de baja gamo y bajo costo como alternativa al monitoreo de la salud de los cultivos.

Materiales y métodos

Área de estudio. El presente trabajo se realizó en un predio ubicado en el municipio de Francisco I Madero, perteneciente al estado de Coahuila, en las coordenadas 25°46’53.2” latitud norte y 103°18’28” longitud oeste a una altitud de 1,109 msnm. Los vuelos se realizaron en una superficie de 2.85 ha, donde se estableció el cultivo de maíz forrajero, el trabajo se realizó en el ciclo de verano, considerando una fecha de siembra del 01 de agosto del 2023, el marco de plantación fue de 16 semillas por metro cuadrado considerado ciclo precoz con duración de 100 días a cosecha, el riego fue con cintilla a una profundidad de 30 cm. (Figura 1).

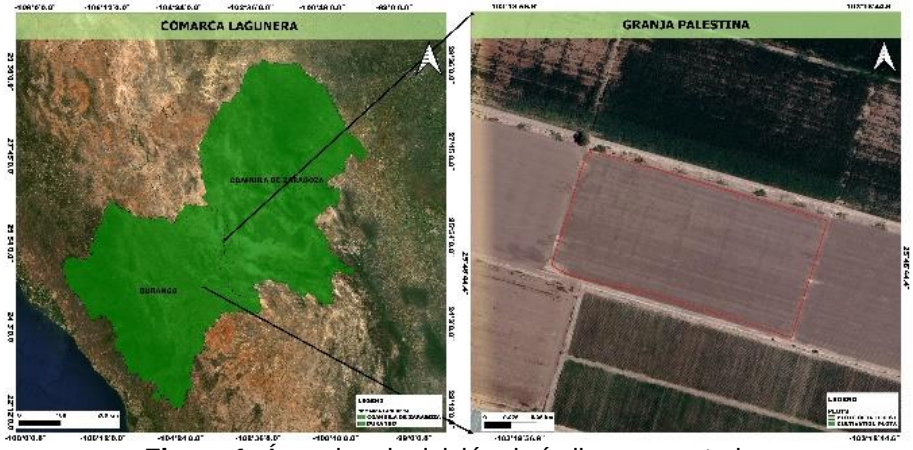


Figura 1. Área de adquisición de índices espectrales.

Recolección de datos. La recolección de datos con RPAS consistió en la captura de imágenes aéreas a lo largo de una ruta de vuelo que es ajustada a parámetros previamente definidos (Escalante., 2016).

Rpas eBee clásico. Es un Rpas de ala fija el cual tiene un peso de 1.1 kg, con un alcance de radio enlace de 3 km, con cobertura de vuelo a 120 m de altura de 220ha^{-1} y una resistencia al viento de 12 m/s, con precisión de aterrizaje automático en aterrizaje lineal de 5 m, con precisión absoluta en “X”, “Y”, “Z” GCPs (puntos de control) de 3 a 5 cm.

Sensor multiespectral Sequoia. La información multiespractral fue recaba mediante un sensor denominado Sequoia el cual cuenta con 4 sensores de una banda de 1.2m/Px, con una definición de 1280 x 960 píxeles, cuenta con 4 bandas verde (550 BP 40), rojo (660 Bp 40), borde rojo (735 BP 10) e infrarrojo cercano (790 BP 40).

Rpas Dji 3 Mini Pro. Se considera como un Rpas cuadricóptero debido a que cuenta con cuatro motores, tiene un peso de 249 gramos, con una velocidad máxima de 21.6 km/hr, distancia de vuelo sin viento de 12 km, cobertura de vuelo a 120 m de 30 ha^{-1}, resistencia al viento de 10 m/seg, sistema de posicionamiento por satélite GPS/GLONASS y sensor con 48 megapíxeles.

Planeación de vuelo. La planeación de vuelo consistió en definir la región de interés y los parámetros de vuelo, para la adquisición de las imágenes.

eBee clasic. La planeación de vuelo se realizó en el software eMotion 3.5, en el cual se configura el área de interés, pixel, altura, solape y dirección de vuelo.

Dji 3 Mini pro. No fue necesaria la planeación esto se debe a que el control o RC con el que cuenta el RPAS no es la versión más reciente, lo cual, no permite descargar aplicaciones para generar una planeación autónoma de vuelo, de tal manera los vuelos sobre la superficie se realizaron de manera manual.

La recopilación de los datos espacio temporales se desarrollaron bajo las siguientes características “Rpas eBee clásico” que se muestran en la Figura 2a, se consideró una resolución de 20 cm/px, altura de 191.0 m, cubriendo un área total de vuelo de 2.85 ha con una duración de 00:03:31 minutos.

“Dji Mini 3 Pro (Figura 2b), se consideró una resolución de 3.98 cm/px, altura de vuelo de 80m cubriendo un total de 2.85 ha con una duración de vuelo de 6 minutos.

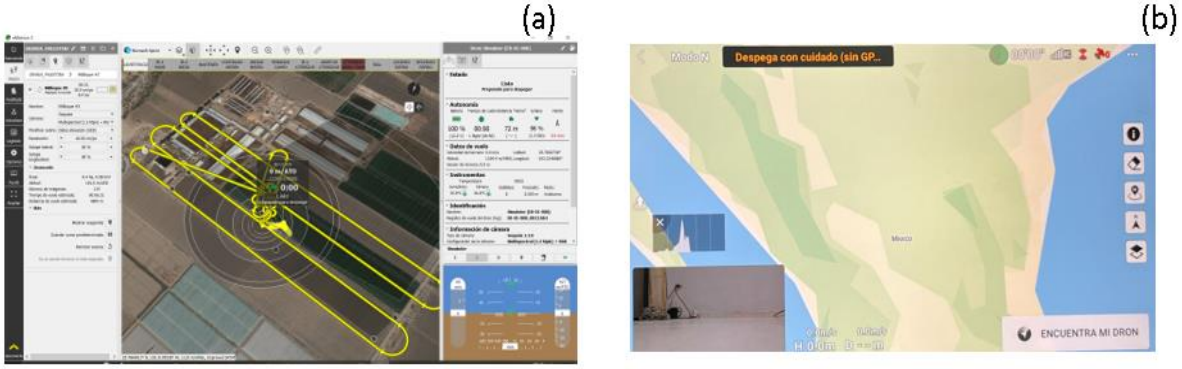


Figura 2. Características de vuelo para cada RPAS.

Se realizaron un total de 12 vuelos simultáneos entre el RPAS eBee clásico + sensor sequoia y el DJI mini 3 PRO, en un horario de 10:00 am a 14:00 pm con las características que muestra en Cuadro1, durante el establecimiento del cultivo forrajero en el ciclo de verano del año 2023.

Cuadro 1. Características de vuelo y número de vuelos.

FECHA DE VUELO	HORA DE VUELO	cm/Px		ALTURA DE VUELO	
		eBee + Sequoia	DJI Mavic 3 pro	eBee + Sequoia	DJI RGB
15/08/2023	11:00	20	3	191	80

Generación de ortomosaico

Rpas eBee clásico. La generación de ortomosaico multiespectral se realizó utilizando el software eMotion 3.5, primeramente, se etiquetaron geográficamente las imágenes utilizando los archivos bb3 del RPAS los cuales contienen datos GPS. El software pix4D se utilizó para generar el mosaico una vez etiquetadas geográficamente las imágenes, y obtener la reflectancia de cada una de las bandas del sensor, así mismo, se desarrollaron los índices de vegetación tales como, NDVI, SAVI Y NDRE los cuales son los más utilizados para el monitoreo de la salud del cultivo.

Rpas Dji Mini 3 Pro. Se utilizó el software pix4D para generar el ortomosaico y obtener las bandas por separado (azul, verde y rojo).

Rescalar resolución pixel de DJI Mini 3 Pro. Una vez obtenidas las bandas se procedió a obtener los índices RGB mediante el uso de las funciones que se muestran en el cuadro 2, una vez obtenidos se reescalo el pixel a 20cm/PX esto debido a que el pixel de la imagen es menor al obtenido con el sensor sequoia.

Cálculo de índices de vegetación. La determinación de los índices de vegetación (NDVI, NDRE y SAVI) se generaron automáticamente en el software Pix4DMapper utilizando la reflectancia de cada una de las bandas (Cuadro 2).

Una vez generados los ortomosaicos del área sobrevolada y la información por bandas separadas (verde, roja y azul). Se obtuvieron los índices de vegetación de sensor RGB a través del software libre Qgis 14.3.

Cuadro 2. Índices de vegetación multiespectrales y RGB

Índice de vegetación	Ecuación	Referencia
NDVI	$\frac{NIR - R}{NIR + R}$	(Rouse et al., 1974).
SAVI	$\left[\frac{NIR - RED}{NIR + RED + L}\right] * (1 + L)$	(Huete 1988)
NDRE	$\frac{NIR - RE}{NIR + RE}$	(Barnes et al*., 2000)*
MExG	$1.62 * G - 0.884 * R - 0.311 * B$	Burgos-artizzu et al., 2011
MGRVI	$\frac{G^2 - R^2}{G^2 + R^2}$	Bendig et al., 2015
GLI	$\frac{2G - R - B}{2G + R + B}$	Louhaichi et al., 2001

Análisis estadístico. Los datos de los vuelos, se procesaron en el software libre Qgis 3.14 en el cual, se extrajeron los pixeles que se encuentran en una superficie de 2.82 ha correspondiente al módulo 2 de un sistema conformado por 12 módulos de cintilla subterránea mediante la herramienta *"informe de valores únicos de capa raster*". Posteriormente se realizó un análisis de correlación mediante el paquete de análisis estadístico MATLAB R2022 entre los índices con sensor multiespectral y los RGB.

Resultados y discusión

En la figura 3a se muestran los índices de vegetación recabados por el sensor Sequoia y en la figura 3b se muestran los índices de vegetación determinados por medio de un sensor RGB del 15 de agosto del 2023.

Figura 3a Figura 3b

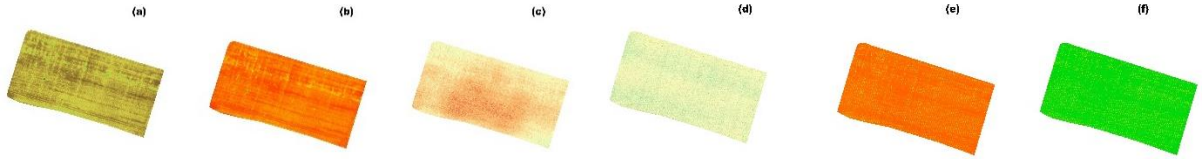


Figura 3. índices de vegetación multiespectral y RGB del 15 de agosto del 2023: 3a (a) SAVI, 3a(b) NDVI, 3a(c) NDRE, 3b (d) MExG,3b(e) GLI,3b(f) MGRVI.

La asociación de los índices del vuelo del 15 de agosto mostró una alta y significativa correlación ($r = 0.98$, $p < 0.05$) entre los índices SAVI y MGRVI. Cabe mencionar que estos dos índices de vegetación se enfocan en aspectos similares debido a su sensibilidad a la vegetación en las primeras etapas de desarrollo cuando la cobertura de la planta es baja.

Resultado similar al encontrado entre los índices NDRE y MGRVI ($r = 0.98$, $p < 0.05$), seguido por la correlación entre NDVI y MGRVI ($r = 0.98$, $p < 0.05$), cabe mencionar que el cultivo en esta fecha se encontraba con 15 días después de siembra en una etapa fenológica de V2 con una altura promedio de 20 centímetros.

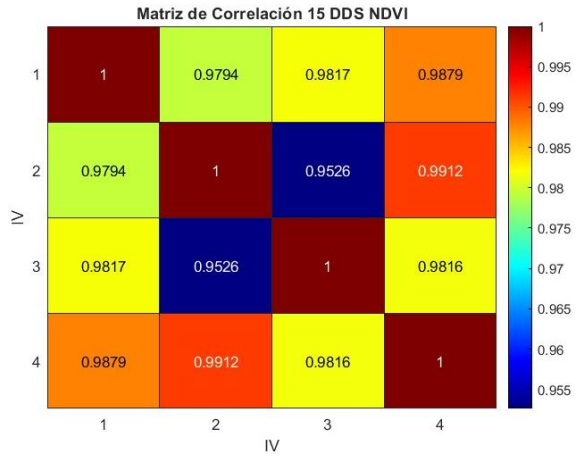


Figura 4. 1 NDVI, 2 GLI, 3 MExG, 4 MGRVI

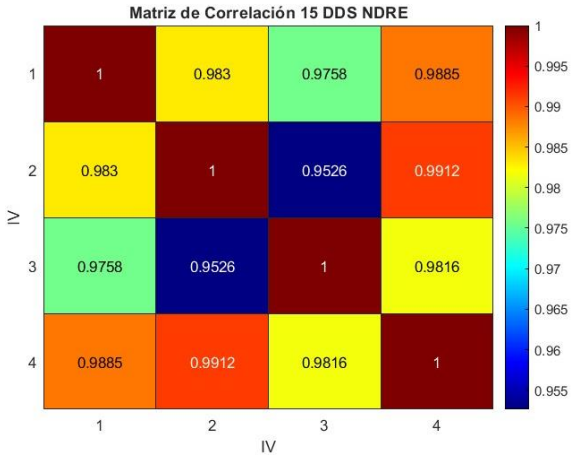


Figura 5. 1 NDRE, 2 GLI, 3 MExG, 4 MGRVI

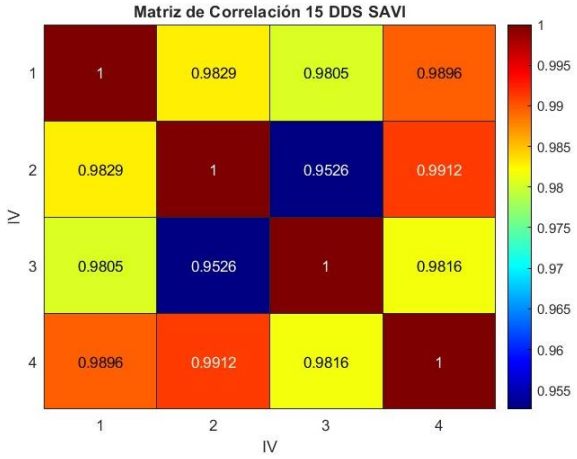


Figura 6.1 SAVI, 2 GLI, 3 MExG, 4 MGRVI

Kazemi (2023), a través de estudios realizados en cultivos de arroz, correlacionó cuatro índices de vegetación diferentes. Entre estos, el índice MGRVI donde mostró una mayor correlación con el NDVI, obteniendo un coeficiente de determinación (R^2) de 0.72. por otro lado (Qi et al., 1994). Menciona que SAVI está ajustados para minimizar la influencia del suelo en el cálculo de la vegetación. El SAVI introduce un factor de corrección (L) para compensar la reflectancia del suelo, mientras que el MGRVI utiliza bandas espectrales específicas para discriminar mejor la vegetación del suelo, especialmente en presencia de vegetación escasa o joven.

Conclusiones

Como resultado preliminar del análisis de una de las doce fechas programadas para evaluación, se constató una correlación significativa entre índices de vegetación en etapas tempranas, evidenciando una fuerte relación ($r = 0.98$, $p < 0.05$) entre los índices SAVI y MGRVI. Estos hallazgos sugieren que, al completar el análisis de las 12 imágenes obtenidas durante el ciclo de verano de 2023, será posible identificar índices vegetativos confiables a partir de datos recolectados con RPAS y sensores RGB de bajo costo. Esto representa una alternativa viable y accesible para la monitorización y evaluación del estado vegetativo de los cultivos.

Referencias

Candiago Sebastian., Remondino Fabio., De Giglio Michaela., Debbini Marco and Gattelli Mario. Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indeces for Precision Fatming Applications fron UAV Images. Remot Sens 2015 7(4). En linea 20 de julio de 2023. 4026-4047; https://doi.org/10.3390/rs70404026

Nduku Lwandile ., Munghemesulu Cilence., Masaba-Munghemesulu Zinhle, Mukalazi Kalumba Ahmed., Johannes Chirima George., Masiza Wonga and De Villiers Colette. Global Research Trends for Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing Application In Wheat Crop Minitoring. Geomatics 2023, 3(1). En linea 20 de julio 2023. https://doi.org/10.3390/geomatics3010006

Barnes, E.M.; Clarke, T.R.; Richards, S.E.; Colaizzi, P.D.; Haberland, J.; Kostrewski, M.; Waller, P.; CHoi, C.; Riley, E.; Tompson, T.; et al. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data. In Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, MN, USA, 16–19 July 2000; ASA-CSSA-SSSA: Madison, WI, USA, 2000. Available online: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.463.8007&rep=rep1&type=pdf (accessed on 4 August 2023)

Burgos-artizzu, X.P., Ribeiro, A., Guijarro, M., Pajares, G., 2011. Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields. Computers and Electronics in Agriculture 75, 337–346

Bendig, J., Yu, K., Aasen, H., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Gnyp, M.L., Bareth, G., 2015. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley 39, 79–87.

Kazemi F., Ghanbari P E. 2023. EVALUATION OF RGB VEGETATION INDICES DERIVED FROM UAV IMAGES FOR RICE CROP GROWTH MONITORING. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume X-4/W1-2022 GeoSpatial Conference 2022 – Joint 6th SMPR and 4th GIResearch Conferences, 19–22 February 2023, Tehran, Iran (virtual) https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-385-2023.

Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A Modified Soil Adjusted Vegetation Index. *Remote Sensing of Environment*, 48(2), 119-126. doi:10.1016/0034-4257(94)00150-X.

CORRELACIÓN DE HUMEDAD EN EL SUELO CON EL USO DE IMÁGENES DE SATELITE SENTINEL-2

Yenifer Moreno Sepúlveda[1], Enrique Miguel Valle[1]*, Ramón Trucíos Caciano[2], Juan Estrada Avalos[2], Nuria Aide López Hernández

[1]Instituto Tecnológico de Torreón, Torreón - San Pedro de Las Colonias Km 7.5, Ejido Ana, C.P. 27170 Torreón, Coah. [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, Gómez Palacio, C.P. 35079, Durango, México. *Autor de correspondencia: enrique.miguel89@hotmail.com

Introducción

El uso de nuevas tecnologías en la observación de la tierra ha contribuido a que millones de hectáreas puedan ser monitoreadas mediante imágenes obtenidas de sensores satelitales, haciendo más eficaz el seguimiento en campo (Ueno et al., 2005; Soria, 2004; Rudorff, 1990). Una imagen satelital, es el producto obtenido a través de la captación de la radiación electromagnética emitida o reflejada por un cuerpo celeste; producto que posteriormente se transmite a estaciones terrestres para su visualización, procesamiento y análisis (Guamán Chiluisa, 2018). El contenido de humedad del suelo (SMC) es una variable clave en un sistema climático (Seneviratne et al, 2010). Representa la fuente principal de absorción de agua para las plantas y forma la base material fundamental para el crecimiento y la supervivencia de las plantas (Luo et al., 2019, McColl et al., 2017). La medición eficiente de SMC facilita la implementación de planes de plantación y riego y tiene implicaciones significativas para optimizar la asignación de recursos hídricos (Gago et al., 2015). La misión Copernicus Sentinel-2 comprende una constelación de dos satélites cuyo objetivo es monitorear la variabilidad en las condiciones de la superficie terrestre, con un tiempo máximo de revisita de 10 días cada satélite o en conjunto de 5 días, lo cual permite el seguimiento de los cambios en la superficie de la Tierra. Esta misión, proporciona información útil para las prácticas agrícolas y forestales, y, además, para gestionar la seguridad alimentaria. Cuenta con 13 bandas multiespectrales, las cuales tienen una resolución espacial de hasta 10 m. Las imágenes de Sentinel-2 son de acceso libre (ESA, 2015). El objetivo del presente estudio fue monitorear la humedad del suelo en tierras de cultivo aplicado a una parcela y correlacionar los datos obtenidos *in situ* con datos de índices de humedad. El monitoreo se realizó a través de imágenes de satélite Sentinel-2, empleando la información de los índices espectrales NDVI, MSI, NDWI Y NDMI.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en la pequeña propiedad “Rancho Palestina” durante el ciclo de cultivo verano 2023. Durante este estudio se realizaron muestreos de humedad a la profundidad de 0 a 30 cm, lo cual permitió dar seguimiento del calendario de riego para observar la humedad en los cultivos. El cultivo establecido fue Maíz forrajero (*Zea mays* L.) (Figura 1). Se establecieron nueve puntos de muestreo sistemático, los cuales fueron georreferenciados.

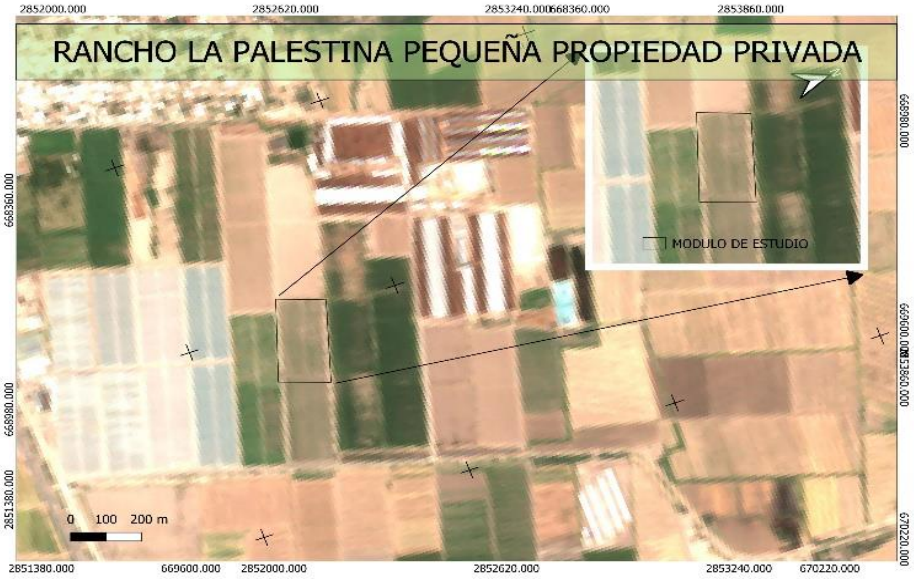


Figura 1. Localización del área de estudio.

Se descargó de la página https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home, la imagen del satélite Sentinel-2, del 15 de agosto de 2023. La imagen seleccionada tuvo un máximo de 20% de nubosidad para observar cambios a lo largo del ciclo del cultivo. Se calcularon cuatro índices que representarán la humedad en el suelo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Índice de estudio

Índice	Acrónimo	Tipo de índice	Fórmula	Bandas Sentinel-2
Índice de vegetación de diferencia normalizad	NDVI	Vegetación	$\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$	NIR: B8 RED: B4
Índice de estrés hídrico	MSI	Humedad en suelo	$\frac{(SWIR)}{(NIR)}$	SWIR B11 NIR B8
Índice de agua de diferencia normalizada	NDWI	Humedad en suelo	$\frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)}$	NIR: B8 GREEN: B3
Índice de humedad de diferencia normalizada	NDMI	Humedad en vegetación	$\frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$	NIR: B8 SWIR: B11

Se realizaron análisis geoestadísticos de NDVI, MSI, NDWI Y NDMI para la parcela en Sentinel-2, mediante el algoritmo Point Sampling tool en el software QGis versión 3.21, este algoritmo calcula las estadísticas de una capa ráster para cada característica de una capa vectorial de puntos sobrepuestos.

A través de Minitab se realizó una estandarización de los datos obtenidos de los índices calculados (Cuadro 2).

Cuadro 2. Estandarización de datos obtenidos mediante cálculos de índices espectrales.

0-30	NDMI_150823	MSI_150823	GVMI_150823	NDWI_150823	NDVI_150823
-0.15075849	1.54432743	-1.48087959	1.54437503	-1.11901167	1.09162609
-0.37665775	-1.17644463	1.23299988	-1.17641481	0.69056194	-0.74638224
0.39543135	-0.73989214	0.73031185	-0.74002828	0.90861022	-0.97792541
0.34574618	-0.33980343	0.29489457	-0.33976813	0.17610427	-0.07254143
-1.57914872	-0.81467666	0.81427383	-0.81464446	0.53656534	-0.58061023
2.01679872	0.92866349	-0.94538715	0.92870707	-1.74590048	1.69557384
0.51410625	1.04970298	-1.05369955	1.04957854	-0.96206233	1.02029933
-0.74826693	-0.87325504	0.88060524	-0.87322324	0.70805123	-0.6311483
-0.41725061	0.42137801	-0.47311908	0.42141828	0.80708149	-0.79889165

Resultados y Discusión

El análisis mediante Point sampling tool de los índices estudiados mostraron la correlación que existe con el contenido de humedad en el suelo. Los índices NDWI y NDVI mostraron una correlación negativa fuerte (-0.675), lo que implica que un aumento en NDWI se asocia con una disminución en humedad, mientras que una correlación positiva moderada (0.671), indicando que un aumento en NDVI está relacionado con un aumento de la humedad en el suelo. NDWI y NDVI ($p = 0.046$ y 0.047) tienen correlaciones significativas (Cuadro 3).

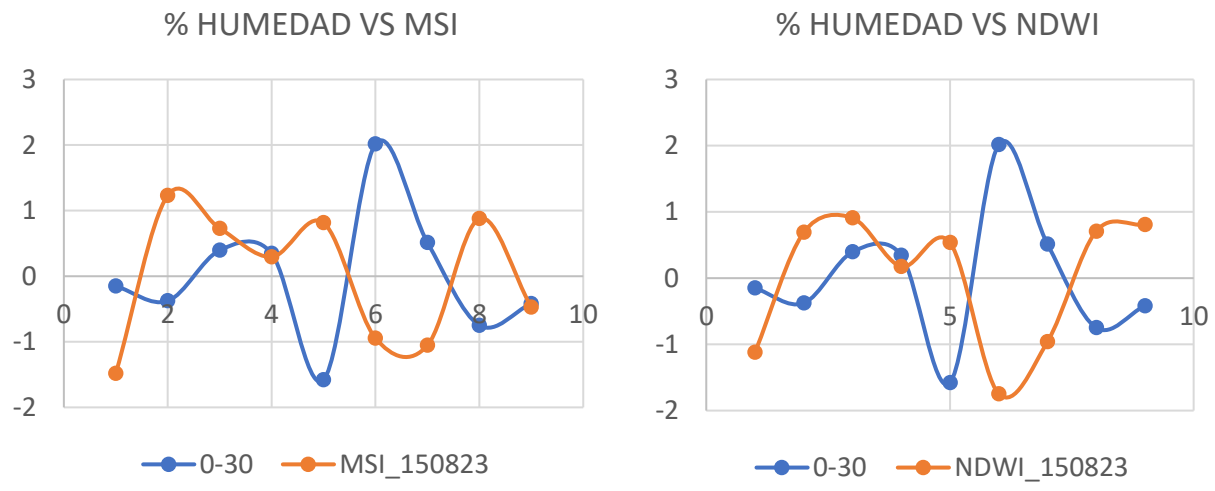


Figura 2. Comportamiento de la humedad a través de los índices espectrales

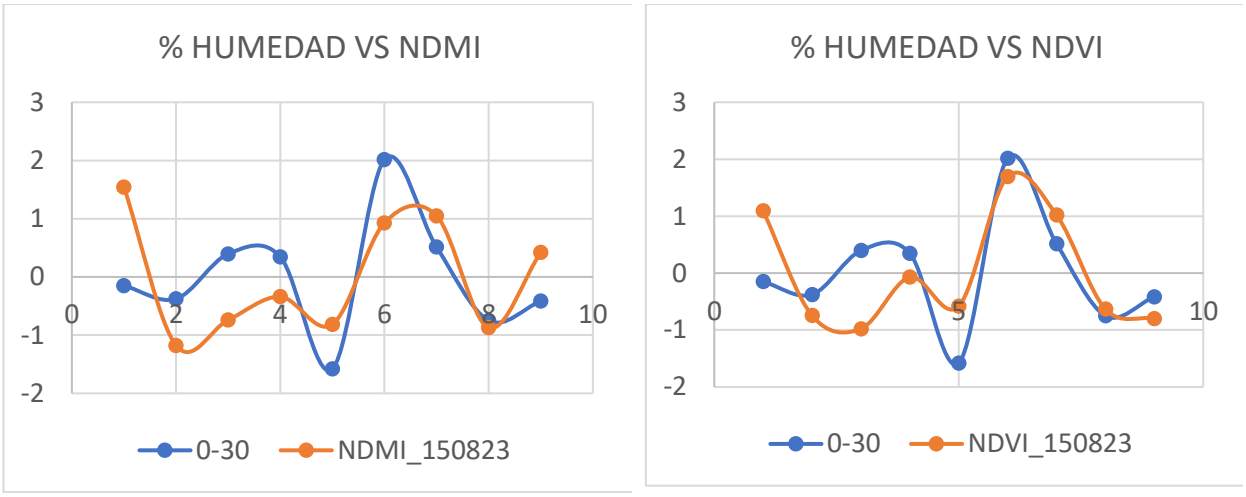


Figura 3. Comportamiento de la humedad a través de los índices espectrales

Cuadro 3. Correlación de Pearson para los datos obtenidos

	NDMI_150823	MSI_150823	NDWI_150823	NDVI_150823
corr	0.49711546	-0.50577051	-0.67510497	0.67142803
std err	0.32795388	0.32605788	0.27883259	0.28009805
t	1.51580905	-1.55116786	-2.42118392	2.39711785
p-value	0.17334702	0.16479913	0.04601213	0.04766759
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05

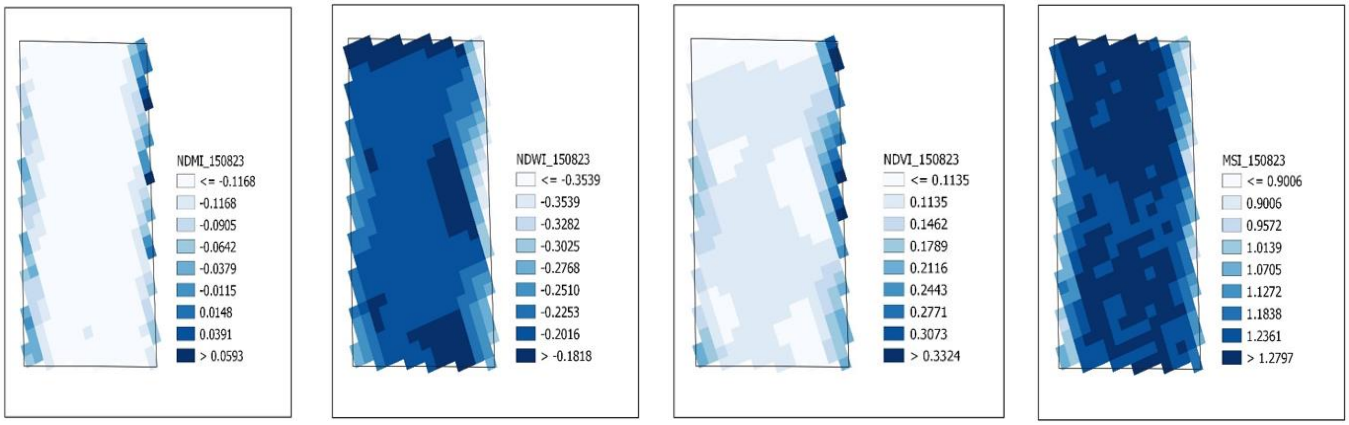


Figura 4. Zonas y rangos de humedad dentro de la parcela de estudio para la fecha seleccionada

Los mapas zonales (figura 4) muestran el comportamiento de la humedad en la parcela de estudio, mostrando valores para NDWI (rango -0.2016 a -0.1818) y de NDVI (rango 0.1135-0.1462) valores que nos representan la humedad a través de estos índices espectrales.

Conclusiones

Los resultados sugieren que hay relaciones significativas entre algunos de los índices. La correlación negativa mostrada entre NDWI y NDVI con la humedad presente en el suelo se representa significativamente, y las gráficas mostradas representan el comportamiento de la humedad en el suelo con el cálculo de estos índices. Los índices espectrales de humedad podrían indicar que en áreas donde hay más agua, o que la humedad del suelo está influyendo positivamente en la vegetación. En este caso, el comportamiento de los índices NDWI y NDVI para la identificación de humedad en el suelo, es de gran importancia para realizar un monitoreo de la humedad presente en el suelo, esto podría ser relevante para estudios de gestión del agua y monitoreo de la salud de los ecosistemas.

Referencias

ESA (European Spatial Agency) (17-06-2015). https://www.esa.int/Space_in_ Member _States/Spain/SENTINEL_2

Gago, J.; Douthe, C.; Coopman, RE; Gallego, PP; Ribas-Carbo, M.; Flexas, J.; Escalona, J.; Medrano, H. El desafío de los UAVs para evaluar el estrés hídrico para la agricultura sostenible. *Agric. Water Manag.* 2015 , *153* , 9–19.

Guamán Chiluisa, A. F. (2018). Monitoreo de maíz duro mediante índices de vegetación obtenidos por imágenes satelitales en Loja y Manabí (Bachelor's thesis, Quito: UCE).

Luo, W.; Xu, X.; Liu, W.; Liu, M.; Li, Z.; Peng, T.; Xu, C.; Zhang, Y.; Zhang, R. Teledetección de la humedad del suelo basada en vehículos aéreos no tripulados en una cuenca montañosa kárstica. *Catena* 2019 , *174* , 478–489.

McColl, KA; Alemohammad, SH; Akbar, R.; Konings, AG; Yueh, S.; Entekhabi, D. Distribución global y dinámica de la humedad superficial del suelo. *Nat. Geosci.* 2017 , *10* , 100–104.

Seneviratne, SI; Corti, T.; Davin, EL; Hirschi, M.; Jaeger, EB; Lehner, I.; Orlowsky, B.; Teuling, AJ Investigación de las interacciones entre la humedad del suelo y el clima en un clima cambiante: una revisión. *Earth-Sci. Rev.* 2010, *99*, 125–161.

Ueno, M., Kawamitsu, Y., Sun, L., & Maeda, K. (2005). Combined applications of NIR, RS, and GIS for sustainable sugarcane production. Sugarcane International, 23, 8-11.

ANÁLISIS CLIMÁTICO DE LA MORTALIDAD Y DECAIMIENTO DE *PINUS ARIZONICA* EN EL NORESTE DEL MÉXICO

Vicenta Constante-García*[1], José Villanueva-Díaz[1], Erika Nava Reyna[1], Diana Yemilet Ávila-Flores[2], Arian Correa-Díaz[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CENID-RASPA. Canal Sacramento Km. 6.5, Gómez Palacio, Durango. [2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Saltillo. Carretera Saltillo-Zacatecas Km. 342. Hacienda de Buenavista No. 9515, Saltillo Coahuila. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CENID- COMEF. Av. Progreso No. 5, Barrio Sta. Catarina, Del Coyoacán, Ciudad de México. *Autor de correspondencia: constante.garcia@inifap.gob.mx

Introducción

Los bosques son ecosistemas potencialmente susceptibles a diversos tipos de eventos climáticos extremos, donde la sequía es el factor que más afecta el balance de carbono; y donde el déficit de precipitación, más que la temperatura, es el factor de mayor peso, que reduce los flujos de agua y carbono en los ecosistemas forestales templados (Granier et al., 2007; Reichstein et al., 2007) causando un decaimiento y muerte en el arbolado (Allen et al., 2015; Anderegg et al., 2016). Scheidegger et al., (2000) indica que la mortalidad de las plantas está controlada por el balance de carbono; de esta manera, cuando la planta no puede transferir agua debido a una embolia de xilema, deja de adquirir carbono y en consecuencia, deja de recibir carbono por el cierre de las estomas debido a una ineficiencia en el uso del agua, exponiendo al árbol a morir por falta de este elemento (Petrucco et al., 2017; Scheidegger et al., 2000) una vez que se agotadas las reservas (Bréda et al., 2006; Le Dantec et al., 2000).

Así, estudios como el de Manion (1991), indican que la muerte del arbolado es ocasionado por el factor climático. No obstante, en México, la mortalidad del arbolado se ha atribuido principalmente a factores bióticos (plagas) (Almaraz-Sánchez et al., 2013; Uribe-Salas et al., 2019); aunque a nivel local se desconoce cuáles son los factores abióticos y bióticos que inciden, y el orden y magnitud en que se desarrolla el proceso (Uribe-Salas et al., 2019). Por lo que, la presente investigación forma parte de un estudio más completo, cuya hipótesis consiste en demostrar si el factor climático es el principal detonante de mortalidad en la especie de *Pinus arizonica* en la Sierras Madre Oriental, en el municipio de Galena, en el estado de Nuevo León.

Para indagar al respecto, se realizó una cronología de anillos de árboles en una población de *P. arizoncia* que presenta decaimiento y mortalidad masiva, esta especie actualmente suscrita en la categoría de amenazada, por lo que, investigaciones sobre su mortalidad deben ser tema de estudio, para su futura protección y/o restauración. El objetivo principal consistió en indagar en el comportamiento de la temperatura, y precipitación en una estación climática cercana al área de estudio, así como determinar las sequias de la región utilizando el SPEI (Por sus siglas en Inglés, Estándardized Precipitation-Evapotranspiration Index), el cual toma en cuenta los posibles efectos de la variabilidad térmica y extremos de temperatura bajo un contexto de cambio climático en el área de estudio. El índice establece que a mayor temperatura mayor es el efecto de la sequía para una misma cantidad de precipitación (Vicente-Serrano et al., 2010).

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. En el área predominan los suelos de tipo Litosol de color grisáceo oscuro, con textura media y pH ligeramente alcalino; generalmente asociado al Feozem calcárico, Feozem luvico que presentan un horizonte superficial de color gris, de 30-50 cm. 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.* (INEGI., 2024).

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 (Holmes, 1983). Se empleó el programa ARSTAN para desarrollar la cronología de los crecimientos anuales eliminando la tendencia de crecimiento biológico y conservar la señal climática de baja frecuencia, para ello se utilizando curvas de regresión lineal o exponencial negativa para ajustar cada serie de medición del ancho del anillo (Cook & Kairiukstis, 1992). Se identificó la parte más confiable de la cronología empleando la intensidad de la señal submuestral (SSS) mayor a 0.85 para determinar el periodo más confiable (Wigley et al., 1984). Finalmente, la sección más confiable de la serie del índice de anillo total (IAA) se asoció con el índice de sequía SEPI.

La obtención de datos climáticos se obtuvo de la estación climática “El Potosí” (No. 19020) ubicada en el estado en el municipio de Galeana, N.L. a una latitud de 24.8433333 y longitud -100.3208333. Para esto se analizaron las tendencias en el tiempo desde 1975 a 2022 de temperatura promedio, temperatura mínima, temperatura máxima, y precipitación. Los datos obtenidos de esta estación también se utilizaron para calcular el SPEI, resultado de la diferencia entre la precipitación acumulada y la evaporación, en una escala de tiempo de 12 meses (Vicente-Serrano et al., 2010). Finalmente se realizó una asociación gráfica entre la cronología de ancho de anillo del *P. arizonica* y el SPEI para analizar la difluencia de los eventos secos sobre el crecimiento de la especie bajo estudio. La obtención del SPE y el análisis de variables climáticas fueron realizadas bajo la versión 4.1.3 de Rstudio.

Resultados y discusión

La cronología se extiende por 154 años (1870- 2023). Los parámetros dendrocronológicos indican una intercorelacion entre series de 0.690, con sensibilidad de 0.511. Se utilizó una intensidad de señal común (SSS) mayor a 0.85 para determinar el periodo más confiable corresponde a un mínimo de 5 muestras. El mejor periodo de la cronología consta de 1875 a 2023, acorde al SSS.

En general se puede observar que *P. arizonica* ha sufrido períodos de escaso crecimiento, dependiendo de las condiciones del clima; así la primera reducción ocurrió antes de 1900 hasta aproximadamente 1925, posteriormente de 1950 a 1965, de 1995 a 2003 y la más reciente de 2017 a 2023. Múltiples trabajos para el norte y en específico para el noreste de México sustentan los resultados obtenidos en el trabajo en discusión (Cerano-Paredes et al., 2011; Constante-García, 2016; Villanueva-Diaz et al., 2007; Villanueva-Díaz et al., 2020).

El periodo analizado de las variables climáticas de 1975 a 2022 indica una disminución de la precipitación a partir de 1995 hasta el año 2003; en el mismo periodo de tiempo se puede apreciar un aumento en la temperatura máxima, así como una disminución de la temperatura mínima indicando con ello, un claro aumento de la temperatura y la disminución de la precipitación, lo cual perjudicaría directamente los crecimientos anuales del arbolado. Al mismo tiempo, el SPEI muestra la presencia de una sequía de 1995 al 2005, confirmando la fuerte sequía ocurrida para la región (Figura 1).

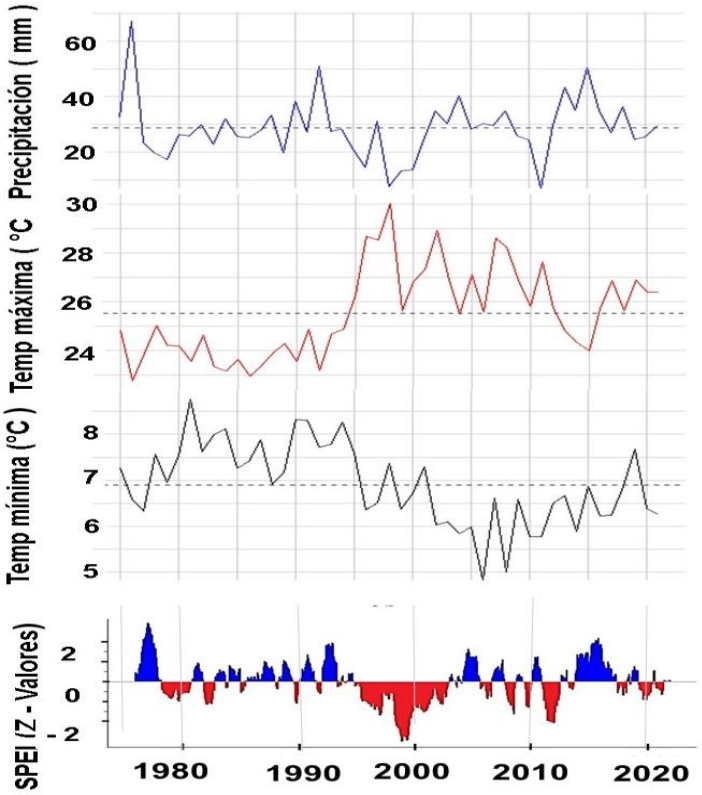


Figura 1. Promedios de Precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima e índices de SPEI, utilizando los datos climáticos de la estación meteorológica “El Potosí.

En definitiva, el periodo más crítico para la región es la sequía ocurrida 1995 hasta el año 2003, en el cual, de acuerdo a un análisis de los escurrimientos en las presas del noreste de México, ocasionaron sequías recurrentes a lo largo de 14 años del año 1992 a 2005 (Ortega-Gaucin et al., 2015) ,el cual, viene a sustentar el último periodo de poco crecimiento que los arboles padecieron de 1995 al 2003. El análisis muestra un claro impacto de las variables climáticas sobre el crecimiento que pudieron haber contribuido en la declinamiento y mortalidad de forma masiva en el área de estudio.

Para una mejor apreciación del impacto de las sequias sobre los crecimientos de la especie en estudio se realizó una comparación entre la cronología de ancho de anillo total de la especie *P. arizonica* y el índice de sequía SPEI, los resultados indican una fuerte asociación entre ambas series de crecimiento, denotando un fuerte impacto sobre los crecimientos en el periodo crítico de 1995 y 2003 (Figura 2).

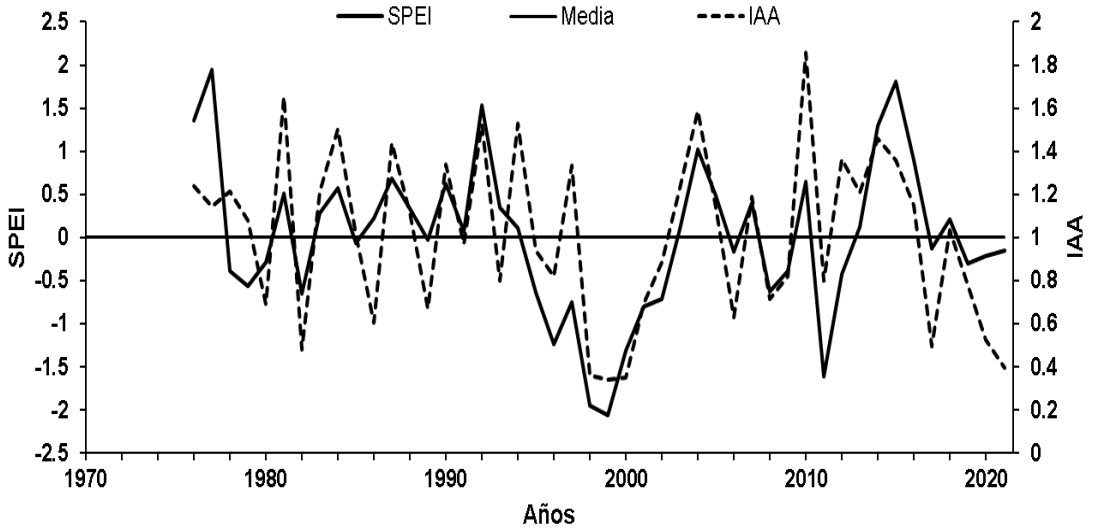


Figura 2. Asociación entre la precipitación y el SPEI, tomando en cuenta 12 meses. Las línea punteada muestra el Índice de ancho de anillo (IAA) de *P. arizonica* y la línea solida el índices de sequía SPEI al noreste del México.

Existe una gran probabilidad de que las altas temperaturas y el déficit de precipitación prolongado por aproximadamente una década ocurrida en el periodo de 1995-2005, hayan propiciado el decaimiento y mortalidad del arbolado en el área de estudio, ya que estos procesos pueden llevarse desde 1 hasta 100 años para que una especie llegue a decaer (Puchi et al., 2021). Sin embargo, el tema es altamente complejo debida a los mecanismos interdependientes que desempeñan papeles importantes en este proceso, los cuales pueden ser, el fallo de transporte del agua en el xilema, el agotamiento de las reserva de carbohidratos durante una sequía prolongada, así como una mayor vulnerabilidad a las plagas y patógenos (Choat et al., 2018), por lo que, es necesario realizar otros estudios que ayuden a un mejor entendimiento del el impacto de los factores climáticos y su asociación con otros factores en la mortalidad de las especies afectadas ante un cambio climático amenazante para algunas especies de coníferas que requieren de protección, como lo es el *P. arizonica*.

Conclusión

La serie dendrocronológica de P. arizonica en el área de Galeana Nuevo León, constituye una de las especies más severamente afectadas por sequía en esa región, lo cual se corrobora con registros climáticos de precipitación, temperatura y el SPEI calculado con registros de la estación climática el Potosí. Este índice constituye de gran valía para analizar la dinámica del crecimiento de esta especie en la región; particularmente considerando los incrementos en temperatura asociados al calentamiento global.

Referencias

Allen, C. D., Breshears, D. D., & McDowell, N. G. (2015). On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, *6*(8), 1–55. https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1

Almaraz-Sánchez, A., Alvarado-Rosales, D., & Saavedra-Romero, L. de L. (2013). Trampeo de Phytophthora cinnamomi en bosque de encino con dos especies ornamentales e inducción de su esporulacion. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, *XIX*(1), 5–12. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.09.062

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

Bréda, N., Huc, R., Granier, A., & Dreyer, E. (2006). Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science*, *63*(6), 625–644. https://doi.org/10.1051/forest:2006042

Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Valdez-Cepeda, R. D., Méndez-González, J., & Constante-García, V. (2011). Sequías Reconstruidas En Los Últimos 600 Años Para El Noreste De México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *Publicació*(2), 235–249. file:///C:/Users/Vicenta/Downloads/document.pdf

Choat, B., Brodribb, T. J., Brodersen, C. R., Duursma, R. A., López, R., & Medlyn, B. E. (2018). Triggers of tree mortality under drought. *Nature*, *558*(7711), 531–539. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0240-x

Constante-García, V. (2016). *Aplicación De Técnicas Dendrocronológicas en Pinus Pseudostrobus Lindl. y Quercus canbyi Trel. Para Analizar la Influencia Climática y el cambio de uso de suelo*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Subdirección de Posgrado. Linares N.L 123p.

Cook, E. R., & Kairiukstis, L. A. (1992). *Methods of dendrochronology*.

Granier, A., Reichstein, M., Bréda, N., Janssens, I. A., Falge, E., Ciais, P., Grünwald, T., Aubinet, M., Berbigier, P., Bernhofer, C., Buchmann, N., Facini, O., Grassi, G., Heinesch, B., Ilvesniemi, H., Keronen, P., Knohl, A., Köstner, B., Lagergren, F., … Wang, Q. (2007). Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003. *Agricultural and Forest Meteorology*, *143*(1–2), 123–145. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.12.004

Holmes, R. (1983). Computer-Assisted Quality Control in Tree-Ring Dating and Measurement. *Tree-Ring Bulletin*.

INEGI. (2024). *Instituto Nacional de Estadística Geografia e Informatica*. Geografia y Abiente. Cartas Temáticas. Recuperada 3 Marzo Del 2024 En La Pág. https://www.inegi.org.mx/temas/

Le Dantec, V., Dufrêne, E., & Saugier, B. (2000). Interannual and spatial variation in maximum leaf area index of temperate deciduous stands. *Forest Ecology and Management*, *134*(1–3), 71–81. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00246-7

Manion, P. (1991). *Tree diseases concepts.* (2nd ed.). Prentice Hall. New Jersey. 416. p. https://books.google.com.mx/books

Ortega-Gaucin, D., Rendón-Pimentel, L., Morales-Bravo, I., & Olivares-Alva, R. (2015). Hydrological Drought in the Rio Grande Basin (Mexican Section). *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, *3*(2), 41–48. https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2011.11.016

Petrucco, L., Nardini, A., Von Arx, G., Saurer, M., & Cherubini, P. (2017). Isotope signals and anatomical features in tree rings suggest a role for hydraulic strategies in diffuse drought-induced die-back of Pinus nigra. *Tree Physiology*, *37*(4), 523–535. https://doi.org/10.1093/treephys/tpx031

Puchi, P. F., Camarero, J. J., Battipaglia, G., & Carrer, M. (2021). Retrospective analysis of wood anatomical traits and tree-ring isotopes suggests site-specific mechanisms triggering Araucaria araucana drought-induced dieback. *Global Change Biology*, *27*(24), 6394–6408. https://doi.org/10.1111/gcb.15881

Reichstein, M., Ciais, P., Papale, D., Valentini, R., Running, S., Viovy, N., Cramer, W., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Bernhofer, C., Buchmann, N., Carrara, A., Grünwald, T., Heimann, M., Heinesch, B., Knohl, A., Kutsch, W., … Zhao, M. (2007). Reduction of ecosystem productivity and respiration during the European summer 2003 climate anomaly: a joint flux tower, remote sensing and

modelling analysis. *Global Change Biology*, *13*(3), 634–651. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01224.x

Scheidegger, Y., Saurer, M., Bahn, M., & Siegwolf, R. (2000). Linking stable oxygen and carbon isotopes with stomatal conductance and photosynthetic capacity: a conceptual model. *Oecologia*, *125*(3), 350–357. https://doi.org/10.1007/s004420000466

Stokes, M. A., & Smiley, T. I. (1996). *An introduction to tree-ring dating.* (2 nd). University of Arizona Press.

Uribe-Salas, M. D., Rocha-Ramírez, V., Gregorio-Cipriano, R., Fernández-Pavia, S. P., & Alvarado-Rosales, D. (2019). Declinamiento y muerte de los encinos (Quercus spp.) en México, estado actual del conocimiento. *Tecnociencia*, *XIII*(595), 50–59.

Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, *23*(7), 1696–1718. https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1

Villanueva-Diaz, J., Stahle, D. W., Luckman, B. H., Cerano-Paredes, J., Therrell, M. D., Cleaveland, M. K., & Cornejo-Oviedo, E. (2007). Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast Mexico. *Climatic Change*, *83*(1–2), 117–131. https://doi.org/10.1007/s10584-006-9144-0

Villanueva-Díaz, J., Stahle, D. W., Therrell, M. D., Beramendi-Orosco, L., Estrada-Ávalos, J., Martínez-Sifuentes, A. R., Astudillo-Sánchez, C. C., Cervantes-Martínez, R., & Cerano-Paredes, J. (2020). The climatic response of baldcypress (Taxodium mucronatum Ten.) in San Luis Potosi, Mexico. *Trees - Structure and Function*, *34*(2), 623–635. https://doi.org/10.1007/s00468-019-01944-0

Wigley, T. M. L., Briffan, K. R., & Jones, P. . (1984). On the average value of correlated time series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. *American Metodolgical Society*, *23*, 2001–2213. https://doi.org/doi/pdf/10.1175/1520-0450(1984)023%3C0201:OTAVOC%3E2.0.CO;2

PRODUCCIÓN Y VALOR NUTRITIVO DE TRITICALE (*X. triticosecale* Witt.) Y AVENA (*Avena sativa*) FORRAJEROS EN EL RANCHO EL CARMEN

Miguel Ángel Mata-Espinosa[1*], Eduardo Huerta-Luna[1], Sandra Patricia Maciel-Torres[1], José Ramón Hernández-Salgado[1], Mauricio Velázquez-Martínez[2], David Hernández-Sánchez[3], Neiry Manuel Alvarado-Ruacho[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]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. [3]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Edo. México. CP 56230. * 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 la alimentación. Por lo que cuenta con una superficie sembrada de cultivos forrajeros de 115,055 ha, lo que representó el 59% de la superficie agrícola total, destacando maíz, alfalfa y avena (SAGARPA, 2017). Los principales patrones de forrajes usados para alimentar el ganado 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 y trigo (Flores et al., 2016). El triticale (*X. triticosecale* Wittmack), es considerada una opción forrajera que se adapta fácilmente a las condiciones adversas; originalmente se desarrolló como un cereal para el consumo humano (Ochoa et al., 2022). El triticale 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). La avena (*Avena sativa*) en México es uno de los forrajes más importantes que se establecen en el ciclo otoño-invierno, tan solo en el año 2014 la superficie destinada a la producción de avena forrajera fue de aproximadamente 58,000 ha y una producción de 4 millones de toneladas, seguidos por la siembra de triticale y centeno (Celis et al., 2017). El objetivo de este trabajo fue determinar rendimiento y calidad nutritiva de triticale (*X. triticosecale Wittmack*) y avena (*Avena sativa*) en las distintas épocas de corte, para recomendar la especie forrajera de comportamiento productivo mejor.

Materiales y métodos

Lugar de 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 los 101° 41’ y 104° 61’ LO y 24° 22’ y 26° 23’ LN, a 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 (Medina et al., 2005). 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 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 otoño - invierno 2022 - 2023, la siembra para ambos cultivos (triticale y avena) se realizó en seco el día 26 de noviembre de 2022 con una sembradora de grano pequeño de 17 hileras, a una profundidad de 3 cm, a una densidad de 120 kg por hectárea y fertilización base de 150 kg de fertilizante MAP (12-52-00). Las variedades que se establecieron fue Cuauhtémoc para avena y Triticale MS. El riego de aniego se realizó el 27 de noviembre de 2022, 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 2022, 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 2023 y el tercer riego de auxilio de 18.35 cm el 13 de febrero de 2023.

Diseño experimental y de tratamiento. Se establecieron parcelas con 2 tratamientos, Avena (T1) y Triticale (T2), se realizaron 5 muestreos (repeticiones) en cada cultivo (tendida) durante 8 periodos. Cada muestreo consistió en lanzar al azar el cuadrante metálico cuyas dimensiones eran de 65 cm de diámetro y un área de 0.3318 m^2, cortar todo el forraje verde dentro del cuadrante a 2 cm del suelo y depositarlo en bolsas de plástico y registrar el peso en fresco o materia verde (MV). Para determinar el contenido de materia seca (MS), se tomaron submuestras de 100-150 g de materia verde (MV) previamente picado a 2 cm con ayuda de una guillotina manual y se deshidrato el forraje en una estufa de aire forzado (BINDER®), por 48 horas a 65°C, hasta obtener peso constante. Posteriormente, las muestras fueron pesadas en una báscula granataria OHAUS® y por diferencia de peso, se obtuvo la cantidad de MS. Las muestras deshidratadas fueron molidas en un molino Thomas Willey® utilizando un tamaño de criba de 2 mm. Luego se colocaron en bolsas de papel previamente identificadas para su análisis en el laboratorio de la institución. Por medio del método de Kjeldahl, se determinó la Proteína Cruda (PC) según la metodología de Van Soest et al.(1991*)* . Asi mismo se determinó la Digestión de Materia Orgánica (DMO) con la ecuación recomendada por (Vicente et al., 2015) y Digestibilidad de Materia Orgánica (DMO) obtenida con la ecuación de Tatli (2006) y asi mismo asumiendo que la eficiencia en la utilización de EM para lactancia es de 60%, entonces EM*0.60= ENl y por lo tanto EM= ENl / 0.60. Así la DMO=53.37+0.17*PC (Tatli, 2006) y ENl (Mcal/kg MS)= - 0.12 + 0.0245 * (% DMO * % MO /100). El modelo estadístico empleado fue un trasversal repetido por periodos, se realizó la prueba de Shapiro-Wilks y se determinó que los errores aleatorios se distribuyen de forma normal (P>0.54).

Resultados

Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 1, en donde se pueden observar rendimientos de materia seca para la avena de 7.54 Ton MS ha^{-1} a los 114 DDS, mientras que para triticale es de 11.49 Ton MS ha^{-1}. Celis et al*.* (2017), por su parte en la evaluación de producción de materia seca (MS) de avena y triticale, encontró que los rendimientos en kg MS ha^{-1} para avena común de 5.2 Ton MS ha^{-1} y para triticale eran 5.4 Ton MS ha^{-1}, en la región centro del país, los cuales son mayores a los encontrados en este trabajo, considerando la fecha de cosecha de los forrajes que se realizó a los 72 días post-siembra y que corresponde al segundo periodo del presente estudio en donde los rendimientos para avena eran de 1.86 MS ha^{-1}, mientras que para triticale eran de 4.21 Ton MS ha^{-1}, dicha diferencia se le atribuye a las bajas precipitaciones del lugar en donde se realizó este estudio.

En otro trabajo realizado por Espitia et al. (2012) en el altiplano semiárido reporta producciones de avena y triticale de 2 Ton MS ha^{-1} y 2.2 Ton MS ha^{-1}, y determina que la mejor etapa fenológica para cortar la avena es en estado lechoso y masoso, para alcanzar producciones de 19 ton MS ha^{-1}; sin embargo, si se desea calidad la mejor etapa es embuche (espigas al 50% y grano lechoso), ya que alcanza el 24% de proteína, dicho rendimiento de avena es muy elevado, ya que en el estudio solo se alcanzó el 2.52% de la producción de MS esperada por Espitia et al. (2012), esto como consecuencia de las variedades de avena utilizadas en los estudios (Saia *vs* Cuauhtémoc).

Los rendimientos esperados para la avena Cuauhtémoc son de 7.09 ton ha^{-1} a los 111 días, según datos del INIFAP (2013) por lo que el presente trabajo alcanza los rendimientos esperados de 7.54 Ton MS ha^{-1} a los 114 días y tienen una producción optima si se compara con avenas de la misma variedad. López et al. (2022) evaluó la producción de materia seca (MS) de triticale en 3 periodos de invierno y encontró que en el mes de noviembre los rendimientos fueron de 11.9 Ton MS ha^{-1}, en diciembre de 9 Ton MS ha^{-1} y 10.7 Ton MS ha^{-1}, y así mismo para el mes de enero de 8.1 Ton MS ha^{-1} en el ciclo productivo 2018-2019. Lo que demuestra la capacidad del triticale para producir materia seca en un periodo corto, ya que estos rendimientos fueron muy semejantes a los encontrados en el presente trabajo, el triticale alcanzo a producir 11.49 Ton MS ha^{-1} a los 114 días post-siembra.

Cuadro 1. Producción de Materia Seca, ton ha^{-1}.

	Periodos (DDS)								General
	65	72	78	85	92	100	106	114	
Avena	1.22^{b}	1.86^{b}	2.37^{b}	2.82^{b}	4.42^{b}	5.54^{b}	7.10^{b}	7.54^{b}	4.11^{b}
Triticale	2.62^{a}	4.21^{a}	4.32^{a}	6.04^{a}	7.11^{a}	8.94^{a}	10.67^{a}	11.49^{a}	6.92^{a}

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes (P>0.05).

Así mismo López et al. (2022) menciona que el contenido de Proteína Cruda (PC) del triticale varia de 905 a 1307 kg PC ha^{-1}, esto en función de la época de corte y la fecha de siembra, mientras que Celis et al. (2017), encontró que el contenido de proteína por hectárea es de 394.8 kg para triticale y 454.2 kg para avena, cuando se tienen rendimientos de materia seca (MS) de 5,434 y 5,214 kg MS ha^{-1} respectivamente a los 72 días post-siembra. Por otro lado (Ochoa et al., 2022) encontró que la avena Cuauhtémoc puede llegar a tener hasta 1,450 kg PC ha^{-1} y el triticale Rio Nazas hasta 1,498 kg PC ha^{-1}. En este experimento se alcanzó la producción máxima de proteína al día 106 post-siembra, con 886.41 Kg de PC ha^{-1} para el caso de avena y 1,178.76 Kg de PC ha^{-1} para triticale, cuando el rendimiento de materia seca era de 7.1 y 10.67 Ton MS ha-1 respectivamente y el contenido de proteína cruda era de 12.49 y 10.09%, tal como se muestra en el Cuadro 2, en donde podemos analizar que la diferencia significativa se presenta a partir del día 106 DDS, en donde la avena tiene mayor contenido de proteína PC %.

Cuadro 2. Contenido de Proteína Cruda (PC), %.

	Periodos (DDS)								General
	65	72	78	85	92	100	106	114	
Avena	21.52^{a}	18.44^{a}	18.09^{a}	14.80^{a}	13.82^{a}	10.93^{a}	12.49^{b}	11.03^{b}	15.13^{a}
Triticale	20.42^{a}	20.01^{a}	15.44^{a}	11.73^{a}	14.13^{a}	9.21^{a}	10.09^{a}	8.69^{a}	13.71^{a}

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes (P>0.05).

En cuanto a la Digestibilidad de Materia Orgánica (DMO), aunque en términos generales no presentan diferencia significativa, se puede observar que al finalizar el experimento el panorama se muestra diferente al mostrar mayor digestibilidad la avena, tal como se muestra en el Cuadro 3, en cuanto a los valores encontrados son menores a los presentados por Suarez (2012), en donde para triticale presenta digestibilidades in vitro de 74.69% en promedio y menciona digestibilidad para forrajes de 70% en promedio.

Cuadro 3. Digestibilidad de Materia Orgánica (DMO) %.

	Periodos (DDS)								General
	65	72	78	85	92	100	106	114	
Avena	57.03[a]	56.77[a]	56.44[a]	55.89[a]	55.72[a]	55.23[a]	55.49[b]	55.24[b]	55.94[a]
Triticale	56.82[a]	56.55[a]	56.00[a]	55.36[a]	55.77[a]	54.94[a]	55.09[a]	54.85[a]	55.70[a]

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes (P>0.05).

Para el caso de Energía Metabolizable (EM) se encontraron valores promedio de 1.79 y 1.8 respectivamente para ambos tratamientos, lo cual no muestra diferencia significativa; sin embargo si se analiza el 92 DDS y 114 DDS, se puede observar en el Cuadro 4, que el triticale presenta mayor contenido de energía metabolizable y existe diferencia significativa, pero Gómez (2014) en su trabajo de rendimiento y valor nutritivo del cultivo de triticale reporta valores promedio de 2.1 Mcal kg^{-1} MS en las diferentes épocas de corte, los cuales son valores un poco más altos a los encontrados en este experimento.

Cuadro 4. Energía Metabolizable, Mcal kg^{-1} MS.

	Periodos (DDS)								General
	65	72	78	85	92	100	106	114	
Avena	1.81[a]	1.81[a]	1.84[a]	1.81[a]	1.75[a]	1.77[a]	1.76[a]	1.77[a]	1.79[a]
Triticale	1.80[a]	1.84[a]	1.81[a]	1.79[a]	1.79[b]	1.77[a]	1.80[a]	1.84[b]	1.80[a]

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes (P>0.05).

Conclusiones

El uso de forrajes de invierno que resistan los cambios de temperatura y la baja disponibilidad de agua es una buena estrategia para producir alimento para el ganado en épocas de estiaje, pero con base al estudio, aunque ambos cultivos presentan buen comportamiento productivo, el triticale logro mostrar precocidad acumulando mayor materia seca en un periodo corto de tiempo, mientras que la avena presento un incremento exponencial al finalizar el experimento al día 92 DDS, en cuanto a las demás variables no existe diferencia significativa, pero en los últimos periodos se pudo observar mayor contenido de proteína para avena y en el caso de energía metabolizable se pudo observar mayor energía en 92 y 114 DDS para triticale y en Digestibilidad de Materia Orgánica no existió diferencia significativa. En general, por su rendimiento de materia seca y tomando en cuenta que no existe diferencia significativa en las demás variables es recomendable el establecimiento de triticale para producción de forraje en la época de invierno.

Referencias

CIRNOC-INIFAP. 224 p. Celis-Álvarez, M. D., López-González, F., Estrada-Flores, J. G., Domínguez-Vara, I. A., Heredia-Nava, D., Munguía-Contreras, A. y Arriaga-Jordán, C. M. (2017). Evaluación nutricional in vitro de forrajes de cereales de grano pequeño para sistemas de producción de leche en pequeña escala. Agroecosistemas tropicales y subtropicales, 20(3), 439-446.

Espitia-Rangel, E., Villaseñor-Mir, H. E., Tovar-Gómez, R., De la O-Olán, M. y Limón-Ortega, A. (2012). Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 3(4), 771-783. Recuperado en 04 de septiembre de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000400012&lng=es&tlng=es

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. Recuperado de: https://www.igg.unam.mx/geoigg/biblioteca/archivos/memoria/20190917100949.pdf

Gómez-Valdez, M.G. (2014). *Rendimiento y valor nutritivo del cultivo de triticale (X Triticosecale Whittmack) a diferentes fechas de corte en el rancho El Carmen.* [Tesis de Licenciatura]. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Universidad Autonoma Chapingo.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) (2013). Tecnología para la producción de avena forrajera en el altiplano de Tamaulipas. Recuperado de: http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/956.pdf Consultado: 04 de septiembre 2023.

López-Jara, A.G., Reta-Sánchez, D.G., Reyes-González, A., Santana, O.I., López-Calderón, M.J., y Sánchez-Duarte, J.I. (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

Medina-Guillermo, G., Díaz-Padilla, G., López-Hernández, J. A., Ruíz-Corral, J.A y Marín-Silva, M. (2005). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango. (Periodo 1961 – 2003). Libro Técnico № 1. Campo Experimental Valle del Guadiana. Recuperado de: https://docplayer.es/53782106-Estadisticas-climatologicas-basicas-del-estado-de-durango-periodo.html Consultado: 04 de septiembre de 2023.

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.

SAGARPA (2017). Secretaría de Agricultura y Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Atlas Agroalimentario 2017. Recuperado de: https://online.pubhtml5.com/clsi/ibhs/#p=7 Consultado el 04 de septiembre de 2023.

SIAP (Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera) (2022). 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.

Suárez-Hernández, E.B. (2012). *Digestibilidad in vitro de la materia seca y materia orgánica de 15 genotipos de triticale forrajero (X Triticosecale Whittmack) cosechados en la localidad "Campo Sagrado", Torreón, Coahuila, durante el ciclo 2009-2010*. [Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4844/T19431%20SUAREZ%20HERNANDEZ%2C%20ELISEO%20BERNABEL%20%20TESIS.docx.pdf?sequence=1

Tatli, P.S y Çerç, I. (2006). Relationship between nutrient composition and feed digestibility determined with enzyme and nylon bag (in situ) techniques in feed sources. Bulgarian Journal of Veterinary Medicine. 9(9). 107-113.

Van-Soest, P. J., Robertson, J. B. y Lewis, B. A. (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. Journal of Dairy Science, 74(10), 3583-3597. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

Vicente-Pérez, R., Avendaño-Reyes, L., Álvarez, F. D., Correa-Calderón, A., Meza-Herrera, C. A., Mellado, M., Quintero-Elisea, J. A. y Macias-Cruz, 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.

USO DEL MODELO ALMANACMEX EN EL CULTIVO DE MAÍZ BAJO DIFERENTES MÉTODOS DE LABRANZA EN CONDICIONES DE SECANO

Ana Cecilia Portillo Baez[1], Ignacio Sánchez-Cohen[2*], Ricardo Trejo Calzada[1], Adolfo López-Pérez[3]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Carretera Gómez Palacios-Cd. Juárez km 40, C.P. 35230, Bermejillo, Mapimí, Durango. [2] Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Canal Sacramento, kilómetro 6.5, Zona Industrial, C.P. 35140, Gómez Palacio, Durango. [3]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillos, Texcoco. C. P. 56230. Estado de México. [*]Autor para correspondencia: sanchez.ignacio@inifap.gob.mx

Introducción

A lo largo de los siglos se han aplicado y diseñado modelos para el desarrollo de la ciencia, sin embargo, las medidas relacionadas con los procesos agrícolas y ambientales sólo se han implementado en las últimas décadas (Gormley y Sinclair, 2003). Un modelo es una representación simplificada de un sistema que utiliza símbolos, diagramas y ecuaciones para describir las variables dependientes e independientes de interés, sus características y restricciones. Estos pueden ser descriptivos o de simulación, los primeros representan sólo los componentes del sistema, mientras que los segundos simulan el funcionamiento del sistema y obtienen los resultados previstos en forma de datos numéricos o gráficos (Candelaria, 2011).
Un modelo de simulación es un conjunto de ecuaciones que describe los procesos, variables y relaciones entre estas en un fenómeno real y proporciona indicaciones aproximadas del comportamiento bajo diferentes controles de las variables (Pérez et al., 2006). Los modelos de simulación de cultivos son una categoría de modelos ambientales que normalmente predicen los rendimientos de los cultivos, el crecimiento y desarrollo de las plantas, la humedad del suelo, nutrientes y otras variables (Soto et al., 2004).

Flores et al. (2014), realizaron un trabajo donde se estudió el efecto de las prácticas de manejo y cambio climático sobre el rendimiento del cultivo de maíz de temporal para las regiones Altos-Sur y Ciénega del estado de Jalisco con el modelo de simulación EPIC (William, 1990); sin embargo, no se tienen reportes de la evaluación de diferentes métodos de labranza con el modelo ALMANACMEX. Báez et al. (2020) utilizaron el modelo para evaluar tres variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris L*.) establecidos bajo condiciones de secano sembrados a diferentes densidades, siendo este el único reporte que se tiene con el uso del modelo ALMANAC versión México. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar las ventajas del modelo ALMANACMEX para predecir efectos de manejo de labranza sobre la productividad del cultivo de maíz.

Materiales y métodos

El experimento se estableció en el ejido La Purísima, municipio de Mapimí, Durango, México. Geográficamente se encuentra en las coordenadas latitud 25°52'19.48" norte y longitud 103°42'52.15" oeste y una altitud de 1191 metros. La siembra de maíz se realizó el 15 de julio de 2023, la variedad que se utilizó es criolla de la región, se estableció en parcelas de 30 m de ancho por 15 m de largo, a una distancia entre surcos de 70 cm y una distancia entre plantas de 15 cm, con una densidad de siembra aproximada de 95,238 plantas ha^{-1}.

Para la preparación del terreno previo a la siembra se dispuso de tres tipos de labranza, los cuales fueron los tratamientos: Labranza Convencional (LC), Labranza Mínima (LM) y Labranza Cero (L0). En la labranza convencional para la preparación del terreno se realizó barbecho y seguido se pasó la rastra, en labranza mínima solo se realizó un rastreo y en la labranza cero no se realizó paso de maquinaria, solo la siembra.

Las variables medidas fueron precipitación con un pluviómetro (HOBO - Tipping-Bucket ®), crecimiento en planta (altura, diámetro de tallo, número de hojas, peso seco, área foliar, contenido relativo de agua), humedad del suelo con el método gravimétrico, características fisicoquímicas del suelo, también se midió el índice de área foliar con el medidor de índice de área foliar LAI-2000 Plant Canopy Analyzer LI-COR®.

Para la simulación del cultivo de maíz se empleó el modelo ALMANACMEX, se usaron datos climatológicos de la estación climática 10045 del municipio de Mapimí, estado de Durango, México, también se tomaron datos de las variables medidas en campo. El modelo de simulación de cultivos ALMANACMEX (ALMANAC México) es una versión mexicana del modelo ALMANAC (Agricultural Land Management Alternatives with Numerical Assessment Criteria Model) (Kiniry, 2019). El análisis estadístico que se realizó fue una correlación de Pearson en Minitab, donde se compararon datos observados y calculados.

Resultados y discusión

En la Figura 1, se puede observar que los datos calculados de biomasa en el cultivo de maíz bajo las condiciones del experimento fueron muy parecidos a los datos observados, además se encontró una correlación positiva relativamente alta entre los datos observados y calculados (r = 0.570). Sin embargo, se puede observar que el modelo tiende a sobreestimar el valor de la biomasa en la labranza cero, pasando de un valor observado de 2.61 t ha^{-1} a un valor calculado de 3.99 t ha^{-1}. En la labranza mínima se acerca en mayor medida el valor observado (4.09 t ha^{-1}) con el valor calculado (4.03 t ha^{-1}). Por último, en la labranza convencional el acercamiento fue un poco menor que en la labranza mínima, dando como resultado un valor observado de 3.90 t ha^{-1} y un valor calculado de 4.18 t ha^{-1}.

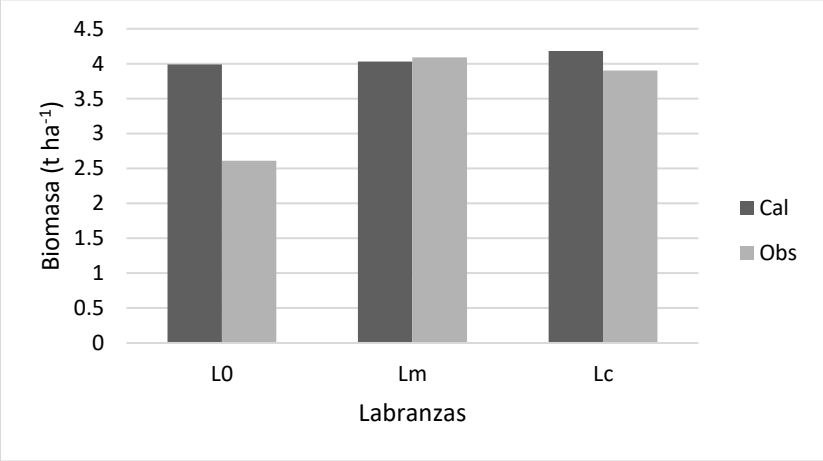


Figura 1. Biomasa observada y calculada con el modelo ALMANACMEX en el cultivo de maíz en tres tratamientos de labranza: Labranza cero (L0), Labranza Mínima (LM) y Labranza Convencional (LC), Cal (Calculado) y Obs (Observado).

En cuanto a la variable precipitación, la correlación entre los datos observados y calculados fue negativa (r = -0.446). Esto puede deberse a que el modelo emplea un histórico del clima de 40 años en el periodo de 1970 a 2010 y la precipitación mensual en ese periodo tendió acumularse en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, mientras que los datos observados que corresponden al año 2023 muestran una acumulación de la precipitación en los meses de septiembre, octubre y noviembre, lo cual evidencia un desplazamiento de la estacionalidad de la lluvia en esta región hacia el otoño (Figura 2).

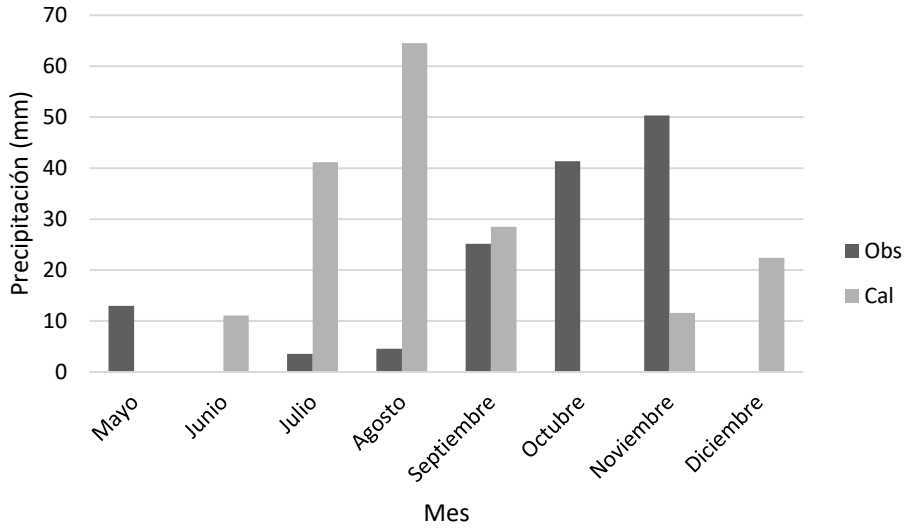


Figura 2. Precipitación observada y calculada con el modelo ALMANACMEX.

El desplazamiento de la precipitación hacia los meses finales del año se ha atribuido al cambio climático. Según informes con el inicio de las temporadas de lluvias en 2023, se observó un retraso muy significativo en la temporada de lluvias en el norte y noroeste del país, principalmente en los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí y específicamente al norte de Coahuila, norte de Nuevo León y sur de Tamaulipas, en los cuales la temporada de lluvias comienza de septiembre a octubre. En el año 2023 la temporada de lluvias duró menos de lo normal, entre 30 y 90 días menos de lo habitual (Servicio Meteorológico Nacional, 2024). El 2023 está marcado por la falta de lluvias y un año extremadamente caluroso, estableciendo un récord como el año más seco y caluroso desde que se iniciaron los registros en 1941, el promedio de precipitación anual es de 747.6 mm y solo se acumularon 589.9 mm. Esto también iguala el récord de temperatura más alta jamás registrada en el mundo durante los últimos 80 años (Miranda, 2024).

Conclusiones

El modelo de simulación ALMANACMEX puede proyectar la producción de biomasa del cultivo de maíz en diferentes tipos de labranza, sin embargo, en la labranza cero no es tan aproximado el valor observado con el calculado. El tratamiento en que se simuló de manera más aceptable la producción de biomasa fue el de labranza mínima. La correlación negativa entre los datos observados y calculados de precipitación indican la necesidad de trabajar con un periodo climático más actualizado para que se consideren las tendencias de cambio en el desplazamiento de la precipitación por el cambio climático. La correlación climática puede incrementarse sustancialmente ya que solo se está considerando un año siendo que el modelo ALMANACMEX es continuo y genera los datos de precipitación de funciones probabilísticas de datos históricos.

Referencias

Báez G., A. D., Fajardo D., R., Garcia R., G., Osuna C., E., Kiniry, J. R., y Meki, M. N. (2020). High Sowing Densities in Rainfed Common Beans (Phaseolus vulgaris L.) in Mexican Semi-Arid Highlands under Future Climate Change. *Agronomy*, 10(3), 442. https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10030442

Candelaria M., B., Ruiz R., O., Gallardo L., F., Pérez H., P., Martínez B., A., y Vargas V., L. (2011). Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión. *Tropical and subtropical agroecosystems*, *14*(3), 999-1010.

Flores L., H. E.; Ruíz C., J. A.; Mora O., C.; De la, Zarazúa V., P., Chávez Durán, Á. A.; Ramírez Vega, H. y Velásquez V., M. A. (2014). Aplicación del modelo EPIC para evaluar el efecto del cambio climático y prácticas de manejo sobre el rendimiento de grano en maíz de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(SPE10), 2007–2020.

Gormley H., L. L. y Sinclair, L.F. (2003). Modelaje participativo del impacto de los árboles en la productividad de las fincas y la biodiversidad regional en paisajes fragmentados en América Latina. *Agroforestaría en las Americas*, 10: 103-108.

Kiniry, J. R. (2019). *Agricultural Land Management Alternative with Numerical Assessment Criteria (ALMANAC) Simulation Model*. NAL USDA. https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US2019X00169

Miranda F. (9 enero 2024). En México, 2023 fue el año más seco desde que se tiene registro, dice Meteorológico Nacional. *Telediario*. https://www.telediario.mx/nacional/mexico-tuvo-en-2023-el-ano-mas-seco-desde-que-hay-registros

Pérez, M. O., Delfín, C, Fregoso, A. y H. Cotler. (2006). Modelos de simulación para la elaboración y evaluación de los programas de servicios ambientales hídricos. *Gaceta Ecológica*, 78: 65-84.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (2024). *Reporte anual del clima en México 2023*.Comisión Nacional del Agua. Año 13, N° 13. 98 p.

Soto, O.; Galvéz, G. y Sigarroa, A. (2004). Estudio y modelación de algunas variables que influyen en el rendimiento agrícola de la caña de azúcar. Evento ATAC.

Williams, J.R. (1990). EPIC- Erosion Productivity Impact Calculator. Model Documentation. Vol. 2. User Manual. Submitted as USDA-ARS. Technical Bulletin. 236 p.

EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA AL ESTRÉS HÍDRICO DE DOS VARIEDADES DE MELÓN COMO PORTAINJERTO DE PEPINO

Yuridia Cortes-Ortiz[1*], Luis G. Yáñez-Chávez[1], Azareel Angulo-Castro[2], José A. Urrieta Velázquez[3], Sandy Cortes-Ortiz[4]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Carr. Gómez Palacio – Cd. Juárez Km 40, Bermejillo, Durango, México. [2]Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía, Carr. Culiacán – El Dorado Km 17.5, Culiacán, Sinaloa, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENID-RASPA, Canal de Sacramento, Km 6.5 margen derecha, Gómez Palacio, Durango. [4]Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología, Ciudad Universitaria, Ciudad de México. *Autor de correspondencia: al18104807@chapingo.mx

Introducción

A través de investigaciones se ha buscado disminuir el impacto de las sequías en la agricultura y a su vez abastecer los requerimientos de las poblaciones con el uso de especies tolerantes a las sequías (Schwarz et al., 2010). Las especies que sobresalen en producción de materia seca son importantes para desarrollar nuevas estrategias de manejo, en especial cuando se trata de especies que son capaces de producir en condiciones de estrés (Ojeda et al., 2013).

Un método especial para adaptar las plantas y contrarrestar el estrés ambiental es injertar cultivares comerciales de élite en portainjertos vigorosos seleccionados (Lee y Oda, 2003), pues ha demostrado ser una alternativa rápida comparada con otras metodologías de mejoramiento. Los injertos presentan varias ventajas entre las que se le atribuye la tolerancia al estrés por temperaturas extremosas, salinidad y sequía (Schwarz et al., 2010). El método de injerto ha aumentado su importancia en la producción de hortalizas (Giles, 2009) debido a que no es costoso y no implica el uso de productos químicos, siendo por tanto, uno de los métodos efectivos más generosos con el ambiente (Zhou et al., 2007).

Las principales dificultades en las zonas áridas y semiáridas es el manejo de cultivos en condiciones ambientales extremas, salinidad del agua y la escasa disponibilidad del recurso hídrico. Especies cultivadas como el pepino (*Cucumis sativus L*.) son más vulnerables que otras en estas condiciones, lo que refleja una disminución productiva. Por otro lado, en melón (*Cucumis melo L*.) (Guzmán, 2015) existen dos variedades mayormente cultivadas en condiciones de zonas áridas y semiáridas descritas por López (2014), que presentan las características de interés para este estudio: 1) El melón Cantoloupe: presenta plantas precoces (85-95 días), peso de fruto entre 700 y 1200 gramos, pulpa color naranja, dulce (11-15 °Brix) y aromático. 2) El melón Honey Dew: está adaptado a climas secos y cálidos, de madurez tardía. El objetivo de del estudio fue evaluar el comportamiento morfológico en el cultivo de pepino injertado en dos portainjertos diferentes de melón en condiciones de estrés hídrico.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo bajo malla sombra en el campo experimental, de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa en Culiacán, Sinaloa. El injerto se realizó el 8 de abril de 2024, y el trasplante el 17 de abril de 2024. El lugar presenta un clima BS1 (h´) w; cálido semiárido con lluvias en verano, precipitación media anual de 800 mm, temperatura máxima de 41 °C, media anual de 24.8 °C y mínima de 3 °C (García, 1988). Las plantas tuvieron una distancia entre planta y planta de 30 cm y fueron plantadas a una sola hilera.

Los tratamientos consistieron en aplicar riegos a capacidad de campo (óptimo) y riegos al 50% de la capacidad de campo (subóptimo), en plantas de pepino injertadas con melón de las variedades Cantaloupe y Honey Dew como portainjertos. Se utilizó sistema de riego por goteo y el tratamiento inició 14 DDT (días después del trasplante). El diseño experimental fue un factorial 2 x 2 con 6 repeticiones.

Las variables a evaluar fueron: altura de planta, número de hojas y número de brotes florales. Las mediciones se tomaron 13 días trasplante y se midieron del 30 de abril al 21 de mayo. La altura de las plantas se midió con flexómetro desde el inicio del tallo sin considerar raíces, hasta la terminación del crecimiento apical. El número de hojas fue conteo directo considerando todas aquellas hojas bien desarrolladas desde la más madura hasta las hojas jóvenes. El número de brotes florales se obtuvo mediante el conteo directo de yemas florales bien diferenciadas en toda la planta. La información fue procesada con el software R Studio versión 4.4.1.

Resultados y discusión

La variable dependiente fue el crecimiento de plantas, el número de hojas, y el número de brotes florales, mientras que las variables independientes fueron el riego y el tipo de injerto.

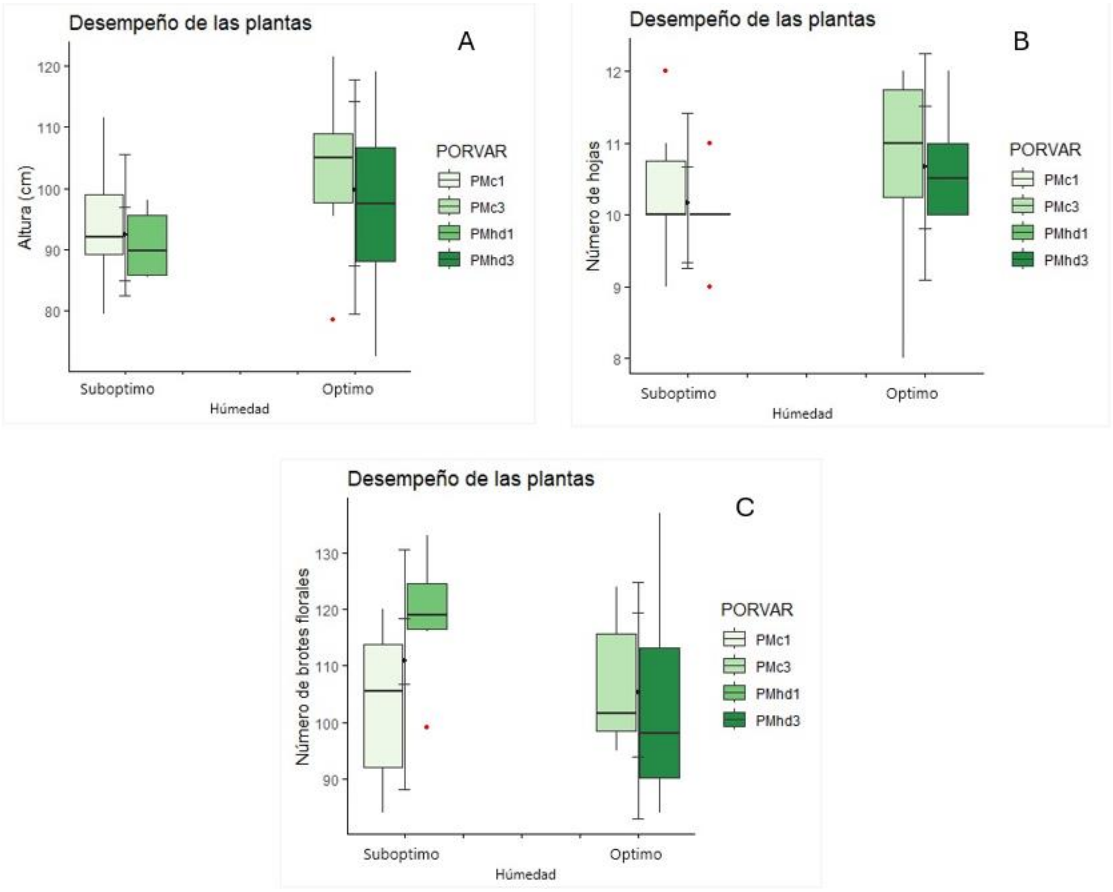


Figura 1. Altura (A), número de hojas (B) y número de brotes florales (C) de plantas de pepino (*Cucumis sativus*) injertadas con dos variedades de melón (*Cucumis melo.* Var. Cantaloupe y Honey Dew) bajo dos condiciones de riego (óptimo y subóptimo). PORVAR: variedades de portainjerto de melón; PMc: pepino injertado con melón variedad Cantaloupe; PMhd: pepino injertado con melón variedad Honey Dew; 1: tratamiento subóptimo; 3: tratamiento óptimo.

En trabajos realizados anteriormente, al aplicar riegos óptimo y subóptimo (100% y 50%) en pepino se presentaron diferencias significativas en el número de flores (Zamora, 2014).

Para evaluar el crecimiento de las plantas a partir del injerto al día 22 mediante respecto a la condición riego más la variedad del portainjerto se realizó un ANOVA donde el valor p es menor que 0.03, lo que indica que hay una diferencia significativa en el crecimiento evaluando el número de hojas entre los diferentes niveles del factor tratamiento. Esto sugiere que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto significativo sobre el crecimiento.

Por ello se recurrió a realizar una prueba de Tukey donde entre el tratamiento óptimo y subóptimo no se mostraron diferencias significativas, así como entre las variedades de portainjertos que se utilizaron.

Conclusiones

De acuerdo a lo evaluado, no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos y portainjertos, lo que significa que ambos injertos se comportan igual en condiciones de estrés y no estrés, además de que edad de la planta puede influir en los resultados.

El número de hojas no genera información conducente, sin embargo, en otros trabajos posteriores se puede evaluar el comportamiento del agua en las hojas, la producción, calidad de frutos, entre otros, para corroborar si se presentan comportamientos diferentes.

Referencias

Guzmán Vega, I. (2015). Evaluación de materiales como patrón para injerto de cucurbitáceas [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Ojeda Silvera, C. M., Nieto Garibay, A., Reynaldo Escobar, I. M., Troyo Dieguez, E., Ruiz Espinoza, F. H. y Murillo Amador B. (2013). Tolerancia al estrés hídrico en variedades de albahaca Ocimum basilicum L. Terra Latinoamericana vol.31 no.2.

Schwarz, D.; Rouphael, Y.; Colla, G.; Venema, J.H. (2010). “Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: thermal stress, water stress and organic pollutants”. Scientia Horticulturae, vol 127, 2.

Lee, J. M. y Oda, M. (2003). Injerto de cultivos herbáceos, hortícolas y ornamentales. Hortico. Rev., 28, págs. 61-124.

López Pérez, E. O. (2014). Evaluación de la producción y calidad de cuatro genotipos de melón (Cucumis melo L.) bajo condiciones de la Comarca Lagunera [Tesis de ingeniería]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila.

Giles, F. (2009). Tomates injertados. Una alternativa al Bromuro de metilo para combatir patógenos del suelo. Productores de Hortalizas CA, Tercer trimestre.

Zamora Pérez, M., Peña Figueredo, R., & Verdecía Rondón, M. (2014). Respuesta del pepino a un manejo variable del riego. Centro Agrícola, 41(1), 5-11.

Zhou Y., Huang L., Zhang Y., Shi K. y Yu J. Nogués S. (2007). Chill-Induced Decrease in Capacity of RuBP Carboxylation and Associated H2O2 Acumulation in Cucumber Leaves are Alleviated by Grafting onto Figleaf Grourd. Annals of Botany 100 (4): 839-848.

CONTENIDO DE NITRÓGENO EN SUELOS DE ECOSISTEMAS FORESTALES EN EL NORTE DE MÉXICO

María del Rosario Jacobo-Salcedo[1], Luis Ángel González-Espíndola[2], Erika Nava-Reyna[1*], Erickson Basave-Villalobos[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]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional de Zonas Áridas, Carretera Gómez Palacio - Cd. Juárez, km 40. C.P. 35230 Bermejillo, Durango, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana, 34170 Durango, Durango, México. *Autor de Correspondencia: nava.erika@inifap.gob.mx

Introducción

La evaluación del estado de los ecosistemas confiere evidencia del grado de impacto y el potencial productivo de estos (Basso, et al., 2019). La calidad del suelo varía según las condiciones y el grado de perturbación de este (Bowles, et. al., 2020). Es por ello por lo que es posible categorizarlos en suelos degradados, conservados o restaurados.

Los procesos de conservación y restauración ecológica representan dos acercamientos importantes para preservar la biodiversidad (FAO, 2021). Aunque en la mayoría de los trabajos en estas áreas se define el grado de conservación tomando como indicador el carbono, es importante retomar que la interacción C/N es esencial para el crecimiento de los cultivos y la salud microbiana del suelo. Esta interacción se considera un indicador de una condición de equilibrio dinámico que puede y debe mantenerse para que la población microbiana favorezca la solubilidad de nutrientes para las plantas (Farm Service Agency, 2011).

Un elemento importante en el suelo es el Nitrógeno (N), que es un macronutriente. El N inorgánico puede encontrarse en el suelo en forma de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y amonio (NH_4^+). La disponibilidad de este elemento es extremadamente variable, por lo que su evaluación permitirá determinar el grado de mineralización y de enriquecimiento de los diferentes sitios con diversos grados de perturbación y condicionar el grado de recuperación.

Materiales y métodos

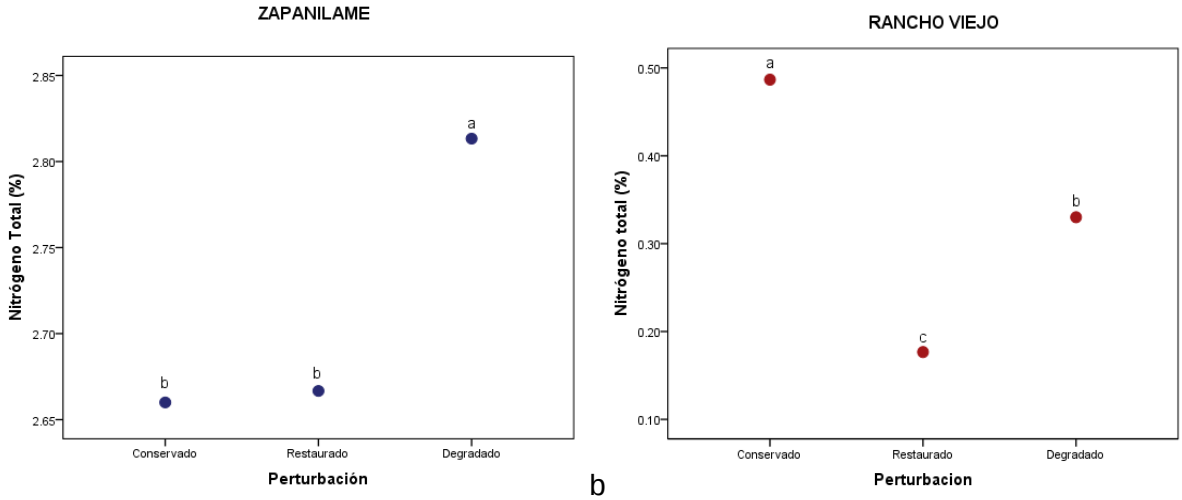
El estudio se realizó comparando dos sitios experimentales forestales: Rancho Viejo en Echeverría de la Sierra, Durango México y Zapaliname, Saltillo, México. En cada sitio se realizó el levantamiento de datos y la evaluación de propiedades fisicoquímicas de cada uno. La selección de los sitios de estudio se realizó considerando diferente grado de perturbación: a) suelos conservados, b) suelos degradados y c) suelos restaurados.

Para obtener las diferentes muestras de suelo se utilizó el método simple aleatorio en zig-zag a una profundidad de 0-20 cm, se recolectaron seis muestras simples de aproximadamente 500 g y para realizar los diferentes análisis se perpetraron muestras compuestas de cada parcela (conservado, restaurado y degradada), como lo indica la NOM-021-RECNAT-2000. Cada muestra se secó a temperatura ambiente y a la sombra, se tamizó con una malla de 2 mm de abertura para homogeneizar el tamaño de partícula. El contenido de nitrógeno total se determinó empleando Analizador Elemental para su cuantificación.

Resultados y discusión

Como se menciona en el apartado anterior la selección de los sitios de estudio se realizó considerando diferente grado de perturbación, En el caso de los suelos conservados se tomó en cuenta que el sitio careciera de algún tipo de manejo. En los suelos degradados para el sitio ubicado en “Zapalinamé” la deforestación tiene sus orígenes en la agricultura de temporal y el pastoreo, mientras que el sitio de “Rancho Viejo” la degradación fue originada por el aprovechamiento forestal. Finalmente, en los suelos restaurados en “Zapalinamé” este sitio se originó por la exclusión de pastoreo y por la reforestación con *Pinus cembroides* y pastos nativos, en el caso de “Rancho Viejo” este dado por la reforestación con *Pinus engelmannii*.

Las tierras degradadas a menudo son resultado de una menor fertilidad del suelo como consecuencia de una gestión intensiva, medidas deficientes de conservación del suelo y el cambio climático (Giller, 2021). Por lo tanto, las condiciones de manejo son de suma importancia en cada sitio como es posible observar en la Figura 1. En los ecosistemas conservado y restaurado, la cantidad de nitrógeno es menor que en el degradado en la Sierra de Zapaliname. Caso contrario se observa en Rancho Viejo, donde el ecosistema conservado presentó mayor proporción de Nitrógeno total (Nt, %), en comparación con los otros dos tipos de perturbación. Adicionalmente, se pudo observar que la proporción de Nt es cinco veces mayor en Zapaliname en contraste con Rancho Viejo.



a b

Figura 1. Valor medio de Nitrógeno total (%) en ambos sitios de evaluación bajo las tres diferentes condiciones de perturbación del suelo (Conservación, Restaurado y Degradado). Medias con letras diferentes en cada punto son diferentes estadísticamente (Tukey, P≤ 0.95).

Algunos aspectos específicos de la producción intensiva de cultivos anuales pueden conducir a la degradación del suelo que incluyen eventos de perturbación como la labranza, la ausencia de cubierta vegetal, la falta de sistemas de raíces profundas, la diversificación de cultivos y la fertilización equilibrada (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019). La degradación del suelo se ha exacerbado en suelos en regiones donde los suelos expuestos a inundaciones y sequias.

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado-corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	0.990[a]	0.981	0.980	0.165	0.981	976.924	1	19	0.001	1.212

a. Variables predictoras: (Constante), Sitio b. Variable dependiente: Nitrógeno total

ANOVA						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	26.904	1	26.904	976.924	0.001[a]
	Residual	0.523	19	0.028		
	Total	27.428	20			

a. Variables predictoras: (Constante), Sitio b. Variable dependiente: Nitrógeno total

Figura 3. Análisis de Regresión entre el contenido de Nitrógeno total (%) en ambos sitios de evaluación bajo las tres diferentes condiciones de perturbación del suelo (Conservación, Restaurado y Degradado).

A partir del análisis es posible observar que se tiene una relación excelente positiva (R^2=0.981) entre el contenido de nitrógeno y el grado de conservación de los sitios analizados. La prueba de Durbin-Watson nos indica una autocorrelación positiva. El análisis de regresión muestra que el 98 % de la varianza de la de la variable nitrógeno total depende de forma significativa, tal como se puede observar en el ANOVA. La cantidad de Nt asociada a los diferentes tipos de manejo representan una importante asociación, lo que puede favorecer a las prácticas de manejo forestal.

Conclusiones

Existe una gran cantidad de tierras degradadas en todo el mundo cuya fertilidad necesita ser restaurada para satisfacer las necesidades de seguridad alimentaria y climática actuales y futuras. La conservación del Nt puede resultar de prácticas que mejoran la eficiencia del uso de N en todo el sistema y su translocación de las raíces al suelo. La principal concentración de Nt se observó en el sitio de “Zapaliname”, que se encuentra enmarcada una zona de ladera y bosque de pinos, lo que favorece a la concentración de N en el suelo en los diferentes niveles de perturbación. El ecosistema restaurado presentó en ambos sitios la menor proporción de N, lo que hace referencia a la necesidad de establecer practicas de manejo que favorezcan la mineralización de la materia orgánica y con ello se dé una apropiada relación C/N para su aprovechamiento por las plantas.

Referencias

Basso, B., Shuai, G., Zhang, J., and Robertson, G. P. (2019). Yield stability analysis reveals sources of large-scale nitrogen loss from the U.S. Midwest. Sci. Rep. 9:5774. doi: 10.1038/s41598-019-42271-1

Bowles, T. M., Mooshammer, M., Socolar, Y., Calderón, F., Cavigelli, M. A., Culman, S. W., et al. (2020). Long-term evidence shows crop rotation diversification increases agricultural resilience to adverse growing conditions in North America. One Earth 2, 284–293. doi: 10.1016/j.oneear.2020.02.007

FAO., IFAD., UNICEF., WFP., and WHO. (2021). The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Transforming Food Systems for Food Security, Improved Nutrition and Affordable Healthy Diets for all. Rome: FAO.

Farm Service Agency (2011). The Environmental Benefits of the Conservation Reserve Program- United States 2011. USDA. Available online at: //www.fsa. usda.gov/Assets/USDA-FSA-Public/usdafiles/EPAS/PDF/us_benefits_2011.pdf

Giller, K. E., Hijbeek, R., Andersson, J. A., and Sumberg, J. (2021). Regenerative agriculture: an agronomic perspective. Outlook Agric. 50, 13–25. doi: 10.1177/0030727021998063

Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). Climate Change and Land, eds P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, et al. Available online at: https://www.ipcc.ch/srccl/

IMPACTO DE LA FORTIFICACIÓN CON SELENIO EN LA CONCENTRACIÓN DE PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS EN FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) VARIEDAD PINTO SALTILLO

Jacobo-Salcedo M d R[1]; González-Espíndola L Á[2*]; Trejo-Calzada R[2]; Valdez-Cepeda R[3]; Nava-Reyna E[1*].

[1]INIFAP, 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]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional de Zonas Áridas, Carretera Gómez Palacio-Cd. Juárez, km 40. C.P. 35230 Bermejillo, Durango, México. [3]Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro - Norte, Apdo. Postal 196, C.P. 98001, Zacatecas, México. *Autor de Correspondencia: qfbgonzalez_espindola@hotmail.com

Introducción

La fortificación consiste en la adición de micronutrientes o elementos no esenciales al suelo o la aplicación de fertilizantes foliares (Beddington et al., 2015). La cuantificación de los pigmentos fotosintéticos es una herramienta esencial en los procesos de mejoramiento nutrimental o biofortificación (Morelli & Rodriguez-Concepcion, 2023). La concentración de clorofilas y carotenos proporcionan información crítica sobre la salud de la planta, la eficiencia del proceso fotosintético, y la calidad nutricional del cultivo (Chávez et al., 2018). Monitorear estos pigmentos asegura que el enriquecimiento del cultivo no solo mejore el contenido de nutrientes en los alimentos, sino que también mantenga o mejore la vitalidad de las plantas, garantizando la sostenibilidad y eficacia del proceso (Dhaliwal et al., 2022). La cuantificación de los pigmentos fotosintéticos permite evaluar cómo estas prácticas afectan la fisiología de la planta, asegurando que no se reduzca la capacidad fotosintética y que las plantas continúen su desarrollo de manera óptima (Vergara & Trapido, 2014). A su vez, la cuantificar los pigmentos fotosintéticos puede favorecer la identificación y seleccionar materiales resilientes y adecuados para su uso en diferentes entornos agrícolas.

El mejoramiento nutrimental debe estar enfocado en los cultivos de mayor impacto en la población, ejemplo de ello es el frijol. El frijol es uno de los granos más importantes en la nutrición de la población de México (Sanchez-Valdez et al., 2009; Ulloa et al., 2011). El frijol está considerado como uno de los productos de la canasta básica de alimentación por lo que incidir sobre la calidad del frijol permitiría favorecer la condición nutricional de gran parte de la población mexicana. Por lo que hipotetizamos que las plantas de frijol no disminuyen su contenido de clorofilas y carotenos por la adición de selenio vía foliar. Para ello se plantea el objetivo de evaluar la variación de los clorofilas y carotenos en plantas de frijol tratadas con selenio en diferentes formas químicas durante dos etapas de desarrollo del cultivo.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera (CENID-RASPA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Gómez Palacio, Durango, ubicado a 283° 10´ 76.51” LN, 65° 55´ 04.77” LE. El experimento se llevó a cabo en condiciones controladas de invernadero, a una temperatura media de 30 °C, una altura de 1.10 m sobre el piso y a una humedad relativa de 50-60%. Las partes laterales del invernadero estuvieron cubiertas por policarbonato de doble pared y el techo con plástico color verde clorofila calibre 720. El control de la temperatura y humedad relativa (monitoreados con sensores ambientales) se regularon usando extractores y pared húmeda. El diseño experimental fue un bloque al azar con siete repeticiones.

Los nueve tratamientos producto de la combinación de tres formas químicas de Se: selenito de sodio (Na_2SeO_3), selenato de sodio (Na_2SeO_4) y dióxido de selenio (SeO_2) en tres concentraciones cada una (5,10 y 20 mg L^{-1}) más el testigo fueron aplicados disueltos en agua desionizada. Un sustrato a base de Peat Moos y Perlita (v/v=80/20) fue empleado en macetas de 18 L de capacidad. La suplementación de Se fue vía foliar con una frecuencia de 15 días hasta la fase de maduración de grano. Las variables evaluadas son: pigmentos fotosintéticos (clorofila a [Chl a], clorofila b [Chl b], y carotenos [Car]).

La cuantificación de los pigmentos fotosintéticos se llevó a cabo de acuerdo con el método de Lichtenthaler y Wellburn (1983). Tejido de hoja (0.5 g) se maceró en 2 ml de metanol al 80% (4°C). El extracto fue centrifugado a 2500 g por 10 min. El sobrenadante se recolectó ajustando el volumen de 2 ml. Las mediciones se realizaron a diferentes absorbancias (470, 653 y 666 nm). La concentración de clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b) y carotenos (Car).

$$Chl_a = 15.65\ A_{666} - 7.34\ A_{653}$$
$$Chl_b = 27.05\ A_{653} - 11.21\ A_{666}$$

Los resultados obtenidos se expresan en mg g^{-1} de peso fresco (PF).

Los datos fueron analizados estadísticamente mediante pruebas de normalidad y ANOVA de una vía con una prueba de rango múltiple de Tukey HSD ($p \leq 0.05$). Estos se procesaron en el programa estadísticos PASW Statistics for Windows 18.0.0 Chicago, SPSS Inc.

Resultados y discusión

Los resultados muestran una mayor concentración en el contenido de Chl a careció de diferencias significativas durante la etapa de floración así mismo se observó el mismo comportamiento durante la etapa de llenado de grano (Figura 1). Una de las principales observaciones se logra apreciar en la importando disminución del contenido de este pigmento durante la etapa de llenado de grano. Una importante conclusión se observa en el análisis de los tratamientos donde el contenido de este pigmento no vario con relación a la adición de Se en ninguna de las tres formas químicas adicionadas.

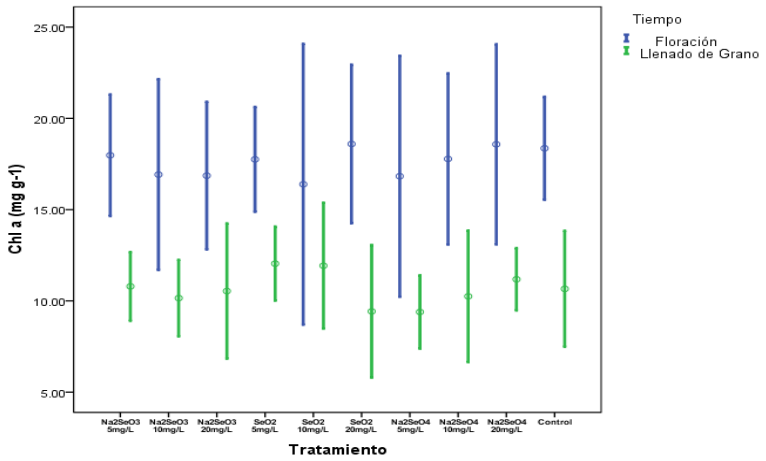


Figura 1. Concentración media de clorofila a (Chl a) ± desviación estándar (DE) de las 80 observaciones derivadas del proceso experimental en frijol variedad Pinto Saltillo adicionado con tres formas químicas de Se en tres concentraciones en dos etapas de muestreo (floración y llenado de grano).

La mayor concentración de Chl b se observó en las plantas tratadas con Na_2SeO_4 con 5 mgL^{-1} en la etapa de floración (Figura 2). Sin embargo, las diferencias entre los diferentes tratamientos y el control no mostraron ser significativos durante la etapa de Floración. Mientras que una respuesta similar se observó en las mediciones desarrolladas en la etapa de llenado de grano. Al realizar el análisis en el contenido de Chl b durante estas dos etapas fue diferente estadísticamente.

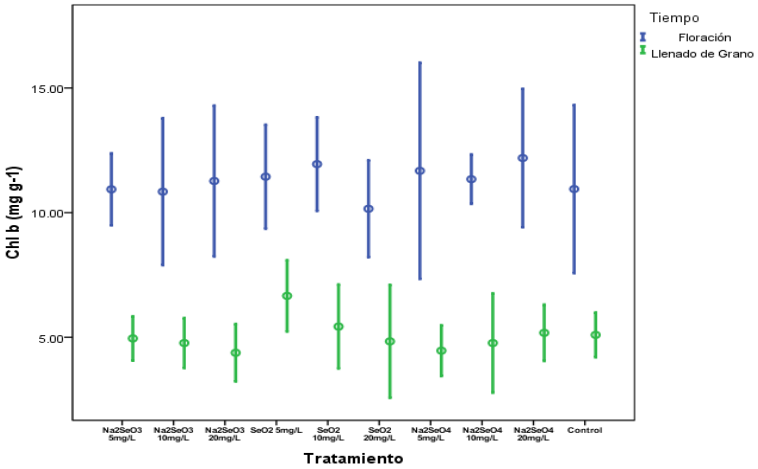


Figura 2. Concentración media de clorofila b (Chl b) ± desviación estándar (DE) de las 80 observaciones derivadas del proceso experimental en frijol variedad Pinto Saltillo adicionado con tres formas químicas de Se en tres concentraciones en dos etapas de muestreo (floración y llenado de grano) experimental en frijol variedad Pinto Saltillo adicionado con tres formas químicas de Se en tres concentraciones en dos tiempos de muestreo (floración y llenado de grano).

Los resultados que observados en la Figura 3 indican que el contenido de Car durante las evaluaciones de ambas etapas fenológicas del cultivo de Frijol fueron similares estadísticamente tanto en relación con el tratamiento, así como entre etapas de evaluación. Adicionalmente, es posible observar que el mayor contenido de Car se observa en el tratamiento de Na_2SeO_3 en la concentración de 20 mg L^{-1}.

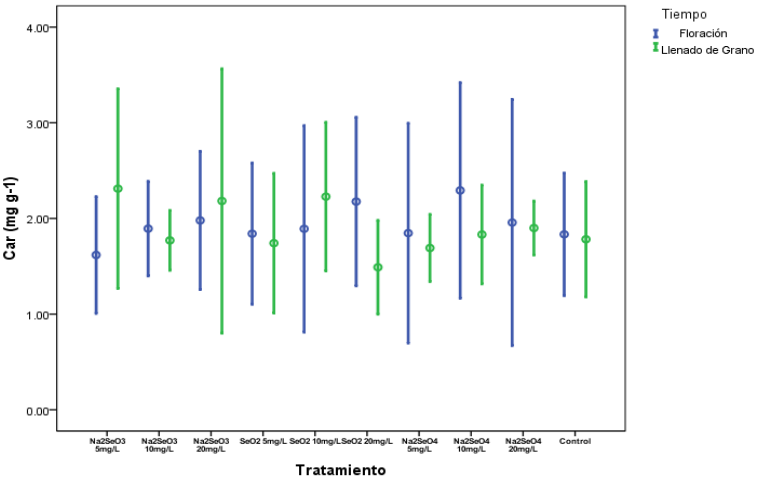


Figura 3. Concentración media de carotenos (Car) ± desviación estándar (DE) de las 80 observaciones derivadas del proceso experimental en frijol variedad Pinto Saltillo adicionado con tres formas químicas de Se en tres concentraciones en dos etapas de muestreo (floración y llenado de grano).

Conclusiones

La fortificación de cultivos mediante la adición de selenio foliar en diferentes formas químicas y concentraciones no afectó significativamente la concentración de clorofilas y carotenos en plantas de frijol variedad Pinto Saltillo durante las etapas de floración y llenado de grano. Este resultado sugiere que la aplicación de selenio no interfiere con la capacidad fotosintética de la planta, lo cual es fundamental para mantener su salud y productividad.

La variabilidad en la respuesta de los pigmentos fotosintéticos observada entre las etapas fenológicas destaca la importancia de monitorear estos componentes durante diferentes fases del desarrollo del cultivo. A pesar de que se registraron cambios en las concentraciones de clorofila a y b y carotenos entre los tratamientos, estos no fueron significativos, lo que refuerza la hipótesis de que la fortificación con selenio no compromete el proceso fotosintético ni el valor nutricional del cultivo.

Por lo tanto, la adición de selenio puede considerarse una estrategia viable para mejorar el contenido nutricional sin detrimento de la fisiología del frijol, beneficiando potencialmente a la población dependiente de este grano en su dieta básica.

Referencias

Beddington, J., Graziano Da Silva, J., Hossain, M., Karuku, J., Kyte, R., & Lake, A. (2015). BIOFORTIFICATION: An Agricultural Investment for Nutrition Global Panel members: About the Global Panel on Agriculture and Food Systems for Nutrition. In POLICY BRIEF (Issue 1).

Chávez, E. S., Ruiz, J. M., Romero, L., Preciado-Rangel, P., Flores-Córdova, M. A., & Márquez-Quiroz, C. (2018). ¿Son los pigmentos fotosintéticos buenos indicadores de la relación del nitrógeno, fósforo y potasio en frijol ejotero? Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 5(15), 387–398. https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1757

Dhaliwal, S. S., Sharma, V., Shukla, A. K., Verma, V., Kaur, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., & Hossain, A. (2022). Biofortification — A Frontier Novel Approach to Enrich Micronutrients in Field Crops to Encounter the. Molecules, 27(1340), 1–37.

Morelli, L., & Rodriguez-concepcion, M. (2023). Open avenues for carotenoid biofortification of plant tissues. Plant Communications, 4(100466), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100466

Sanchez-Valdez, I., Acosta-Gallegos, J. A., Ibarra-Pérez, F. J., Rosales-Serna, R., & Cuellar-Robles, E. I. (2009). Pinto Saltillo: Variedad Mejorada de Frijol Para el Estado de Durango. Folleto Técnico No. 36, 36, 5–28.

Ulloa, J. A., Rosas-Ulloa, P., Ramírez-Ramírez, J. C., & Ulloa Rangel, B. E. (2011). El frijol (Phaseolus vulgaris): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. Revista Fuente, 3(8), 5–9.

Vergara, W., & Trapido, P. (2014). Agricultura y Clima Futuro en América Latina y el Caribe : Impactos Sistémicos y Posibles Respuestas. In Banco Interamericano de Desarrollo (pp. 1–24).

PIGMENTOS TOTALES EN PLANTAS DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* Var. Pinto Saltillo) FORTIFICADAS CON DISTINTAS FORMAS QUÍMICAS DE SELENIO

Maria del Rosario Jacobo-Salcedo[1], Luis Ángel González-Espíndola[2*], Ricardo Trejo-Calzada[2], Ricardo Valdez-Cepeda[3], Erika Nava-Reyna[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. [2]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional de Zonas Áridas, Carretera Gómez Palacio - Cd. Juárez, km 40. C.P. 35230 Bermejillo, Durango, México. [3]Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro-Norte, Apdo. Postal 196, C.P. 98001, Zacatecas, México. *Autor de Correspondencia: qfbgonzalez_espindola@hotmail.com

Introducción

Los pigmentos fotosintéticos, como las clorofilas (A y B) y los carotenos, son fundamentales para el proceso de la fotosíntesis (Tan et al., 2020). El proceso fotoquímico mediante el cual las plantas convierten la luz solar en energía química se ve reflejado en la cantidad y calidad de estos pigmentos (Allel et al., 2018). Una planta saludable es más eficiente en la absorción y uso de los nutrientes. La condición de bienestar general de las plantas es esencial en los procesos de fortificación (enriquecimiento) para asegurar que los nutrientes añadidos, como el selenio o el hierro, se incorporen efectivamente en los tejidos comestibles de la planta (Beddington et al., 2015).

El enriquecimiento exógeno a menudo implica cambios en la nutrición y el desarrollo de la planta que puede inducir estrés (Lividini et al., 2018). Los pigmentos fotosintéticos, especialmente los carotenos, también actúan como antioxidantes, protegiendo a la planta del daño oxidativo (Sun et al., 2020). La cuantificación de estos pigmentos proporciona información sobre cómo la planta está manejando el estrés durante la fortificación. Así mismo, observar que el proceso no comprometa la salud de la planta. Particularmente, cuando se trata de cultivos de alto impacto como lo es el frijol.

El frijol es uno de los granos más importantes en la nutrición de los mexicanos (Sanchez-Valdez et al., 2009; Ulloa et al., 2011). Siendo este fundamental como parte de los productos de la canasta básica de alimentación. Por lo tanto, incidir sobre la calidad del frijol permitiría favorecer la condición nutricional de gran parte de la población mexicana. Sin embargo, nosotros hipotetizamos que las plantas de frijol no disminuyen su contenido de pigmentos totales por la adición de selenio vía foliar. El objetivo de este estudio fue evaluar la variación de los pigmentos totales y la relación de estos con los carotenoides en plantas de frijol tratadas con selenio en diferentes formas químicas.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera (CENID-RASPA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Gómez Palacio, Durango, ubicado a 283° 10´ 76.51” LN, 65° 55´ 04.77” LE. El experimento se llevó a cabo en condiciones controladas de invernadero, a una temperatura media de 30 °C, una altura de 1.10 m sobre el piso y a una humedad relativa de 50-60%. Las partes laterales del invernadero estuvieron cubiertas por policarbonato de doble pared y el techo con plástico color verde clorofila calibre 720.

El control de la temperatura y humedad relativa fueron monitoreados con sensores ambientales y se regularon usando extractores y pared húmeda. Un sustrato a base de Peat Moos y Perlita (v/v=80/20) fue empleado en macetas de 18 L de capacidad. El diseño experimental fue un bloque al azar con siete repeticiones. Los nueve tratamientos producto de la combinación de tres formulaciones de Se: selenito de sodio (Na_2SeO_3), selenato de sodio (Na_2SeO_4) y dióxido de selenio (SeO_2) en tres concentraciones cada una (5,10 y 20 mg L^{-1}) más el testigo o control fueron aplicados disueltos en agua desionizada vía foliar. La suplementación de selenio se realizó con una frecuencia de 15 días hasta la fase de maduración de grano. Las variables evaluadas fueron pigmentos fotosintéticos totales y carotenos (Car). La cuantificación de los pigmentos fotosintéticos se llevó a cabo de acuerdo con el método de Lichtenthaler y Wellburn (1983). Tejido de hoja (0.5 g) se maceró en 2 mL de metanol al 80% (4°C). El extracto fue centrifugado a 2500 g por 10 min. El sobrenadante se recolectó ajustando el volumen de 2 mL. Las mediciones se realizaron a diferentes absorbancias (470, 653 y 666 nm). $C_{x+C} = (1000\ A_{470} - 2.86\ [Chl_a] - 129.2\ [Chl_b]) / 221$. Los resultados obtenidos se expresan en mg g^{-1} de peso fresco (PF). Los datos fueron analizados estadísticamente mediante pruebas de normalidad y ANOVA de una vía con una prueba de rango múltiple de Tukey HSD ($p \leq 0.05$). Estos se procesaron en el programa estadísticos PASW Statistics for Windows 18.0.0 Chicago, SPSS Inc.

Resultados y discusión

Los pigmentos fotosintéticos son regularmente empleados para determinar el estatus fisiológico de las plantas (Diaz et al., 2005). Los resultados mostraron que los pigmentos totales en ambas etapas de evaluación tanto en floración como en el llenado de grano manifestaron diferencias significativas como se observa en la Figura 1. Los tratamientos en la floración exponen diferencias no significativas entre ellas. Mismo comportamiento se observa en el llenado de grano. Cabe señalar que las plantas de frijol exhibieron una disminución importante en la concentración de pigmentos totales de la floración al llenado de granos, estas diferencias se ven representadas con el asterisco en la Figura 1. El tratamiento de Na_2SeO_4 con una dosis de 10 mg L^{-1} presenta mayor concentración de pigmentos totales en ambas etapas de evaluación. Mientras que el tratamiento SeO_2 en la dosis de 10 mg L^{-1} muestra similitud estadística en ambas evaluaciones.

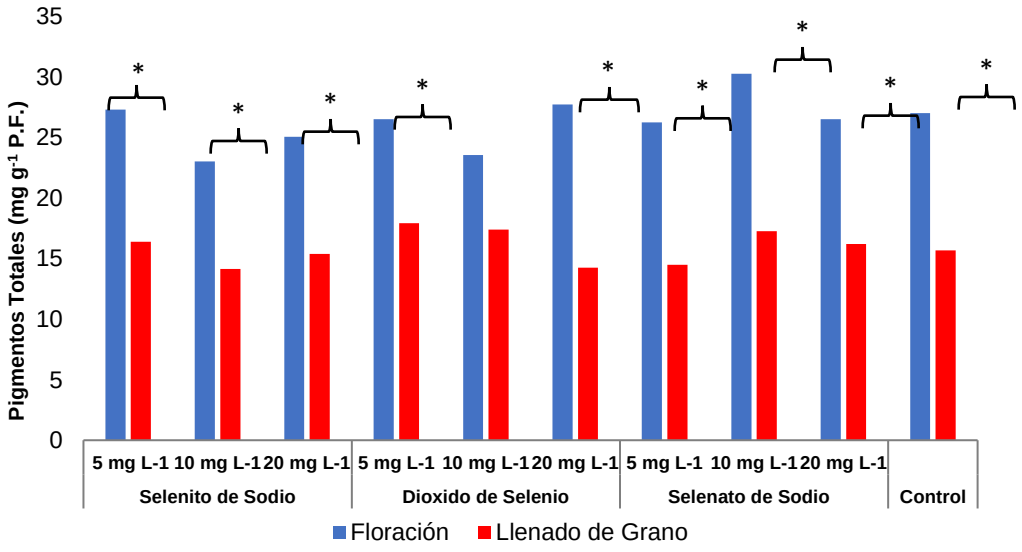


Figura 1. Concentración media de Pigmentos totales (mg g^{-1} PF) en frijol variedad Pinto Saltillo adicionado con tres formas químicas de Se en tres concentraciones en dos tiempos de muestreo (floración y llenado de grano). Los asteriscos (*) muestran diferencias significativas entre las dos etapas de muestreo.

El cociente generado en la relación de pigmentos totales y el contenido de carotenos en las plantas de frijol Pinto Saltillo mostraron diferencias no significativas entre los tratamientos durante la floración (Figura 2). La carencia de diferencias es importante debido a que la concentración de pigmentos no se ve afectada por la adición de Se adicionado vía foliar en ninguna de las fuentes químicas empleadas. Por otra parte, González-Chávez et al., (2022) emplearon la aplicación foliar de Se en plántulas de pimiento, donde la concentración de clorofila *a* y *b*, fue mayor con 10 µM (Na_2SeO_4), pero disminuyó conforme aumentó la concentración de Se.

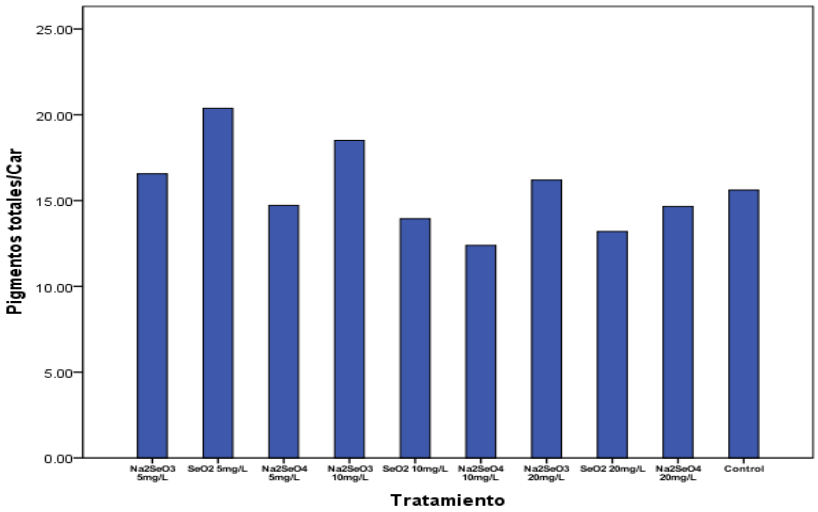


Figura 2. Media del cociente de Pigmentos y Carotenos (Car) en frijol variedad Pinto Saltillo adicionado con tres formas químicas de Se en tres concentraciones en dos tiempos de muestreo en la etapa de floración.

El cociente de la relación de pigmentos totales y carotenoides en el frijol Pinto Saltillo mostró diferencias significativas en la etapa de llenado de grano (Figura 3). La adición de SeO_2 mostró una mayor concentración de pigmentos que el control. El tratamiento de Na_2SeO_3 en la concentración de 5 mg L^{-1} mostró una menor concentración que el resto de los tratamientos, así como el control. Resultados similares fueron observados en haba (*Vicia faba* L.) donde el cociente entre Pigmentos totales / Carotenoides se encuentra en un proporción de 1:3 (Boghdady et al., 2017).

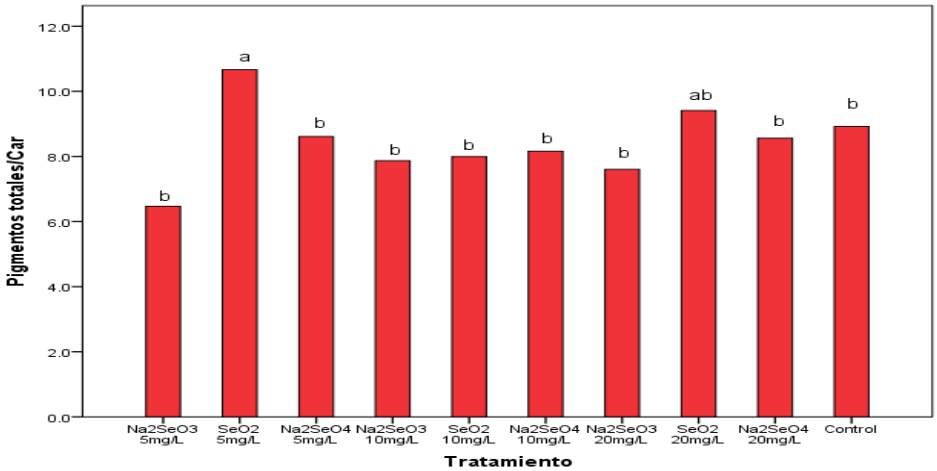


Figura 3. Media del cociente de Pigmentos y Carotenos (Car) en frijol variedad Pinto Saltillo adicionado con tres formas químicas de Se en tres concentraciones en dos tiempos de muestreo en la etapa de llenado de grano.

Conclusiones

Nuestro estudió confirma la hipótesis de que las plantas de frijol no disminuyen su contenido de pigmentos totales causado por la fortificación de selenio por vía foliar. Los resultados demuestran que se careció de diferencias significativas en el contenido de pigmentos totales entre los tratamientos con respecto al control. Sin embargo, la disminución del contenido de pigmentos pudiese ser asociado a la etapa fenológica de las plantas de Frijol. La ausencia de cambios en la concentración de pigmentos nos permite evaluar otros cambios en la planta (traslocación o acumulación) e inclusive rendimiento. Lo cual representaría una posibilidad de la adición de este importante micronutriente en la dieta sin efectos deletéreos en la salud humana.

Referencias

Allel, D., Ben-Amar, A., & Abdelly, C. (2018). Leaf photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ion content of barley (Hordeum vulgare) in response to salinity. Journal of Plant Nutrition, 41(4), 497–508. https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1385811

Beddington, J., Graziano Da Silva, J., Hossain, M., Karuku, J., Kyte, R., & Lake, A. (2015). BIOFORTIFICATION: An Agricultural Investment for Nutrition Global Panel members: About the Global Panel on Agriculture and Food Systems for Nutrition. In POLICY BRIEF (Issue 1).

Boghdady, M. S., Desoky, E. M., Azoz, S. N., & Nassar, D. M. A. (2017). Effect of Selenium on Growth, Physiological Aspects and Productivity of Faba Bean (. 39(1), 83–97.

Diaz, P., Borsani, O., Márquez, A., & Monza, J. (2005). Nitrogen metabolism in relation to drought stress responses in cultivates and model Lotus species. Lotus Newletter 2005, 35(1), 83–92.

González-Chávez, O., Alejo-Santiago, G., Bugarín-Montoya, R., Juárez-Rosete, C., Arrieta-Ramos, B., & Juárez-López, P. (2022). Concentración y método de aplicación de selenio en plántulas de pimiento. Biotecnia, XXIV(2), 112–119.

Lividini, K., Fiedler, J. L., De Moura, F. F., Moursi, M., & Zeller, M. (2018). Biofortification: A review of ex-ante models. Global Food Security, 17(1), 186–195. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.11.001

Sanchez-Valdez, I., Acosta-Gallegos, J. A., Ibarra-Pérez, F. J., Rosales-Serna, R., & Cuellar-Robles, E. I. (2009). Pinto Saltillo: Variedad Mejorada de Frijol Para el Estado de Durango. Folleto Técnico No. 36, 36, 5–28.

Sun, Y., Wang, C., Chen, H. Y. H., & Ruan, H. (2020). Response of plants to water stress: A meta-analysis. Frontiers in Plant Science, 11(2016). https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00978

Tan, S., Yang, Y., Liu, T., Zhang, S., & Huang, W. (2020). Responses of photosystem I compared with photosystem II to combination of heat stress and fluctuating light in tobacco leaves. Plant Science, 292(110371), 1–15. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110371

Ulloa, J. A., Rosas-Ulloa, P., Ramírez-Ramírez, J. C., & Ulloa Rangel, B. E. (2011). El frijol (Phaseolus vulgaris): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. Revista Fuente, 3(8), 5–9.

CORRELACIÓN DE VARIBLES EN *Phaseolus vulgaris* VARIEDAD PINTO SALTILLO ADICIONADO CON SELENIO

María del Rosario Jacobo-Salcedo[1], Luis Ángel Gonzalez-Espíndola[2*], Ricardo Trejo-Calzada[2], Aurelio Pedroza-Sandoval[2], Erika Nava-Reyna[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. [2]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional de Zonas Áridas, Carretera Gómez Palacio-Cd. Juárez, km 40. C.P. 35230 Bermejillo, Durango, México. *Autor de correspondencia: qfbgonzalez_espindola@hotmail.com

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris*) tiene un papel fundamental en la producción agroalimentaria de México. El frijol es un componente esencial de la dieta mexicana. Este grano es una fuente crucial de proteínas, fibra, vitaminas y minerales (Ulloa et al., 2011). Centroamérica es centro de origen de este grano, así como la diversificación de varias especies de frijoles, lo que contribuye a una gran diversidad genética (Polanía et al., 2012). Esto es crucial para el desarrollo de nuevas variedades que pueden ser más resistentes a enfermedades y adaptarse a diferentes condiciones climáticas ejemplo de ello es la variedad Pinto Saltillo generada por el INIFAP (Sanchez-Valdez, I., et al., 2009). En resumen, el frijol es un pilar esencial en la producción agroalimentaria de México, no solo por su valor nutricional y económico, sino también por su importancia cultural, ecológica y en la seguridad alimentaria del país. La trascendencia del este cultivo condiciona la importancia del bio-mejoramiento de este a través del enriquecimiento con elementos esenciales como es el caso del Selenio (Se).

El enriquecimiento con Se es una estrategia agrícola que busca mejorar los cultivos con este micronutriente esencial, vital para la salud humana (Singh et al., 2016). El Se desempeña un papel crucial en diversas funciones biológicas, incluyendo la protección contra el estrés oxidativo y el fortalecimiento del sistema inmunológico (Rady et al., 2021). Sin embargo, en muchas regiones, la deficiencia de Se en los suelos agrícolas lleva a una ingesta insuficiente en la dieta humana (Garduño-Zepeda & Márquez-Quiroz, 2018). Mediante la fortificación o fertilización, se incrementa el contenido de Se en los alimentos a través de técnicas como la adición al suelo con compuestos de Se o la selección de variedades de plantas que absorban y acumulen más Se de manera natural (Shaltout et al., 2020). Esta práctica no solo mejora la calidad nutricional de los cultivos, sino que también ofrece una solución sostenible para combatir las deficiencias de Se en la población, contribuyendo así a la promoción de una mejor salud a nivel global.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera (CENID-RASPA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Gómez Palacio, Durango, ubicado a 283° 10´ 76.51” LN, 65° 55´ 04.77”. El experimento se llevó a cabo en condiciones controladas de invernadero, a una temperatura media de 30 °C, una altura de 1.10 m sobre el piso y a una humedad relativa de 50-60%. Las partes laterales del invernadero estuvieron cubiertas por policarbonato de doble pared y el techo con plástico color verde clorofila calibre 720. El control de la temperatura y humedad relativa (monitoreados con sensores ambientales) se regularon usando extractores y pared húmeda.

El diseño experimental fue un bloque al azar con siete repeticiones. Los nueve tratamientos producto de la combinación de tres formulaciones de Se: selenito de sodio (Na_2SeO_3), selenato de sodio (Na_2SeO_4) y dióxido de selenio (SeO_2) en tres concentraciones cada una (5,10 y 20 mg L^{-1}) más el testigo fueron aplicados disueltos en agua desionizada.

Un sustrato a base de Peat Moos y Perlita (v/v=80/20) fue empleado en macetas de 18 L de capacidad. La suplementación de Se fue vía foliar con una frecuencia de 15 días hasta la fase de maduración de grano. Las variables evaluadas son: pigmentos fotosintéticos (clorofila a [Chl a], clorofila b [Chl b], pigmentos totales y carotenos [Car]), Biomasa y Área foliar.

La cuantificación de los pigmentos fotosintéticos se llevó a cabo de acuerdo con el método de Lichtenthaler y Wellburn (1983). Tejido de hoja (0.5 g) se maceró en 2 ml de metanol al 80% (4°C). El extracto fue centrifugado a 2500 g por 10 min. El sobrenadante se recolectó ajustando el volumen de 2 ml. Las mediciones se realizaron a diferentes absorbancias (470, 653 y 666 nm). La concentración de clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b), pigmentos totales y carotenos (Car).

$$\text{Chl}_a = 15.65\ A_{666} - 7.34\ A_{653}$$
$$\text{Chl}_b = 27.05\ A_{653} - 11.21\ A_{666}$$
$$C_{x+C} = (1000\ A_{470} - 2.86\ [\text{Chl}_a] - 129.2\ [\text{Chl}_b]) / 221$$

Los resultados obtenidos se expresan en mg g^{-1} de peso fresco (PF).

El área foliar se determinó mediante un integrador electrónico de área, modelo Li-310 (Licor, Inc, Lincoln, NE, EE. UU.). La biomasa se determinó a partir de determinar el peso de las plantas en seco (g) de cada uno de los tratamientos evaluados.

Resultados y discusión

La respuesta de las plantas de frijol variedad Pinto Saltillo en respuesta a la adición de Se de diferentes fuentes químicas en cuanto al contenido de pigmentos y la relación de las respuestas de las variables evaluadas (Cuadro 1).

Los resultados observados en el análisis de correlación muestran relación positiva entre los diferentes pigmentos. Mientras que la relación es negativa entre el área foliar y los diferentes pigmentos lo cual nos lleva a establecer que a mayor área foliar en plantas de frijol variedad Pinto Saltillo tratados con selenito de sodio (Na_2SeO_3), selenato de sodio (Na_2SeO_4) y dióxido de selenio (SeO_2) en tres concentraciones (5,10 y 20 mg L^{-1}).

Los resultados reportados de coinciden con lo reportado por Boghdady et al. (2017) donde las altas concentraciones de Se disminuyen el contenido de clorofilas en plantas de habas. En contraste, la aplicación de dióxido de selenio vía foliar presenta el incremento de las clorofilas en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) (Rady et al., 2021).

Cuadro 1. Matriz de correlación de Pearson entre las variables: clorofila a (Chl a), Clorofila b (Chl b), Pigmentos Totales, carotenos (Car), Biomasa y Área Foliar de las 80 observaciones derivadas del proceso experimental en frijol variedad Pinto Saltillo adicionado con tres formas químicas de Se en tres concentraciones.

		Chl a	Chl b	Pigmentos Totales	Car	Biomasa	Área foliar
Chl a	Pearson	1	0.751**	0.919**	0.221*	0.056	-0.318**
	Sig.		0.000	0.000	0.049	0.744	0.006
Chl b	Pearson		1	0.716**	-0.110	-0.274	-0.374**
	Sig.			0.000	0.332	0.106	0.001
Pigmentos Totales	Pearson			1	0.214	0.157	-0.355**
	Sig.				0.057	0.361	0.002
Car	Pearson				1	0.052	-0.023
	Sig.					0.762	0.848
Biomasa	Pearson					1	0.949**
	Sig.						.000
Área foliar	Pearson						1
	Sig.						

*. La correlación es significante al nivel 0.05. **. La correlación es significativa al nivel 0.01.

La matriz de correlación muestra la interacción entre los conjuntos de variables donde las interacciones de Chl a, pigmentos totales, Car y el área foliar se encuentran fuertemente diferenciado entre las dos etapas de evaluación (Figura 1). Estas observaciones nos permiten determinar que se tiene un mayor contenido de pigmentos fotosintéticos durante la etapa de floración. Los carotenos mostraron un comportamiento muy homogéneo en ambas etapas de evaluación. La síntesis de carotenos es menos susceptible a las variaciones en las condiciones ambientales en comparación con otros pigmentos, lo que contribuye a su homogeneidad (Cardona Ayala et al., 2015; La Frano et al., 2014; Taleon et al., 2017). A lo largo de las diferentes etapas de crecimiento, desde la germinación hasta la madurez, la planta de frijol continúa produciendo carotenos para cumplir con las necesidades fotosintéticas y de protección, lo que explica por qué estos pigmentos son los más uniformes durante todo el desarrollo del cultivo.

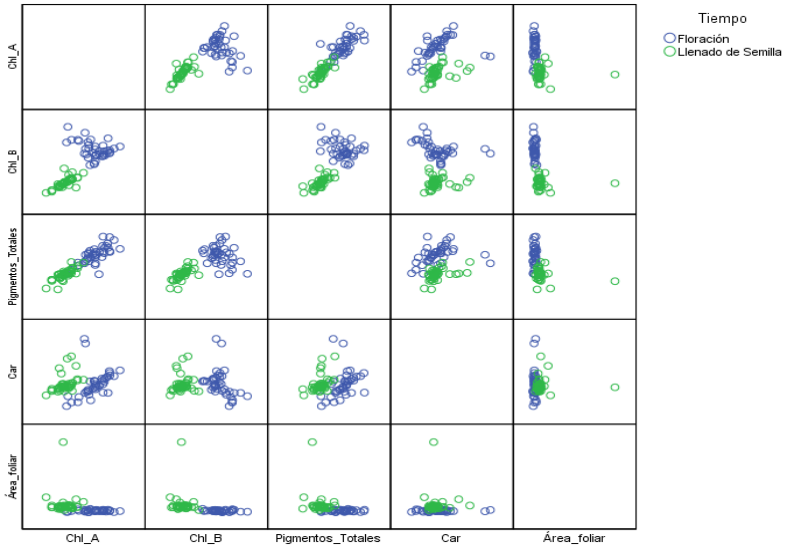


Figura 1. Matriz de correlación de Pearson entre las variables: clorofila a (Chl a), Clorofila b (Chl b), Pigmentos Totales, carotenos (Car) y Área Foliar de las 80 observaciones derivadas del proceso experimental en frijol variedad Pinto Saltillo adicionado con tres formas químicas de Se en tres concentraciones en dos tiempos de muestreo (floración y llenado de grano).

Conclusiones

La aplicación de Selenio a plantas de frijol variedad Pinto Saltillo mostraron una correlación positiva entre los pigmentos fotosintéticos evaluados. Los carotenos mostraron ser homogéneos durante el crecimiento de las plantas que fueron suplementadas con Se. Los carotenos tienden a mantenerse relativamente constantes para asegurar que la planta pueda absorber eficientemente la luz y con ello sus procesos fotosintéticos.

Referencias

Boghdady, M., Desoky, E., Azoz, S., & Abdelaziz, D. (2017). Effect of Selenium on Growth, Physiological Aspects and Productivity of Faba Bean (*Vicia faba* L.). *Egyptian Journal of Agronomy*, *39*(1), 83–97. https://doi.org/10.21608/agro.2017.662.1058

Cardona Ayala, C., Jarma Orozco, A., Áramendiz Tatis, H., Peña Agresott, M., & Vergara Córdoba, C. (2015). Respuestas fisiológicas y bioquímicas del fríjol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.) bajo déficit hídrico. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *8*(2), 250. https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3218

Garduño-Zepeda, A. M., & Márquez-Quiroz, C. (2018). Aplicación de selenio en cultivos agrícolas. Revisión bibliográfica. In *ITEA Informacion Tecnica Economica Agraria* (Vol. 114, Issue 4). Asociacion Interprofesional para el Desarrollo Agrario. https://doi.org/10.12706/itea.2018.019

La Frano, M. R., de Moura, F. F., Boy, E., Lönnerdal, B., & Burri, B. J. (2014). Bioavailability of iron, zinc, and provitamin A carotenoids in biofortified staple crops. *Nutrition Reviews*, *72*(5), 289–307. https://doi.org/10.1111/nure.12108

Lichtenthaler, H.K. & Wellburn, A.R. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591-592.

Polanía, J. A., Rao, I. M., Mejia, S., Beebe', S. E., & Cajiao', C. (2012). Características morfo-fisiológicas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) relacionadas con la adaptación a sequía. *Acta Agronómica*, *61*(3), 197–206.

Rady, M. M., Desoky, E.-S. M., Ahmed, S. M., Majrashi, A., Ali, E. F., Arnaout, S. M. A. I., & Selem, E. (2021). Foliar Nourishment with Nano-Selenium Dioxide Promotes Physiology, Biochemistry, Antioxidant Defences, and Salt Tolerance in *Phaseolus vulgaris*. *Plants*, *10*(1), 1189–1208.

Sanchez-Valdez, I., Acosta-Gallegos, J. A., Ibarra-Pérez, F. J., Rosales-Serna, R., & Cuellar-Robles, E. I. (2009). Pinto Saltillo: Variedad Mejorada de Frijol Para el Estado de Durango. *Folleto Técnico No. 36*, *36*, 5–28.

Shaltout, A. A., Bouslimi, J., & Besbes, H. (2020). The challenges of Se quantification in bean samples using line and continuum sources atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, *328*(May), 127124. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127124

Singh, S. S., Praharaj, C. S., Singh, U., & Hazra, K. K. (2016). Biofortification: Pathway ahead and future challenges. In *Biofortification of Food Crops* (pp. 479–492). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2716-8_34

Taleon, V., Mugode, L., Cabrera-Soto, L., & Palacios-Rojas, N. (2017). Carotenoid retention in biofortified maize using different post-harvest storage and packaging methods. *Food Chemistry*, *232*, 60–66. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.158

Ulloa, J. A., Rosas-Ulloa, P., Ramírez-Ramírez, J. C., & Ulloa Rangel, B. E. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuente*, *3*(8), 5–9.

ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE DIFERENTES GENOTIPOS DE TRÉBOL FORRAJERO *Lotus corniculatus* L. BAJO CONDICIONES DE DÉFICIT HÍDRICO EN EL NORTE DE MÉXICO

Alan José Barrera-Córdova, Aurelio Pedroza-Sandoval*, Isaac Gramillo-Ávila, Ricardo Trejo-Calzada

Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Km. 40 Carr. Gómez Palacio Chihuahua Bermejillo, Durango, México C.P. 35230. *Autor para correspondencia: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

La Comarca Lagunera es una región compuesta por municipios de los Estados de Durango y Coahuila, México, los cuales registran una demanda anual de agua potable de 127 millones de metros cúbicos, que se obtienen en su mayor parte del subsuelo. Esta región es caracterizada por tener un papel preponderante en el sector primario, pero con problemas de escasez de agua, ya que no es suficiente el recurso hídrico con el que se cuenta (Ramírez et al., 2019). Esta región se caracteriza principalmente por el desabasto y contaminación del agua y por ser altamente productora de leche bovina.

Los ganaderos y agricultores de la Región Lagunera son grandes productores de leche en el país, con más de 2 mil 330 millones de litros anuales, de los cuales el 42% corresponden a la Región Lagunera de Durango (SADER, 2016). Para el abasto alimenticio de la ganadería productora de leche, en la región se tiene una producción intensiva de forrajes altos en proteína que son empleados en la alimentación del ganado lechero y en menores cantidades el ganado para la producción de carne. Sifuentes, et al. (2021) mencionan que los periodos con disponibilidad hídrica y las bajas eficiencias en los riegos hace que los distritos de riego reduzcan la superficie cultivada o la cantidad de riegos que aplican al cultivo.

El trébol pata de pájaro *Lotus corniculatus* ha estado siendo objeto de estudio bajo condiciones semi controladas de malla sombra (González-Espíndola et al. 2024; Comas-Sierra et al. 2024) para analizar su potencial de adaptación en climas de baja precipitación pluvial y temperaturas extremas, considerando que es un cultivo forrajero alternativo proveniente de climas templados y húmedos (Álvarez-Vázquez et al. 2018). Es de interés retomar dichos estudios como cultivo alternativo, pero ahora bajo condiciones de campo abierto, incluyendo los materiales genéticos de mejor comportamiento adaptativo en la primera fase de evaluación bajo condiciones semi controladas. El objetivo de este estudio fue identificar al comportamiento del índice de área foliar y la productividad de biomasa del trébol *Lotus corniculatus* L. bajo condiciones de déficit hídrico a campo abierto en la Comarca Lagunera, México.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el área experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACh) en Bermejillo, Mapimí del Estado de Durango, México. La región se encuentra ubicada a 101° 41’ y 104° 61’ LO y 24° 22’ y 26° 23’ LN a una altitud de 1,100 m. Se usó un diseño experimental de bloques al azar en un arreglo de parcelas subdivididas con tres repeticiones.

Las parcelas grandes dispuestas de manera paralela, correspondieron a los contenidos de humedad del suelo: óptimo (COHS) y subóptimo (CSHS), equivalentes a 25% ±2 (rango: 23 – 27%) y 20% ±2 (rango: 18 – 22%), respectivamente, para lo cual y después de haber calculado el gasto de los goteros de la cintilla, se determinaron los tiempos de riego para cada rango de humedad, mediante monitoreo constante de la humedad del suelo con uso de sensor modelo PMS-714 con lectura digital en tiempo real.

Las parcelas chicas correspondieron a cinco ecotipos 255301, 227318, 255305, 202700, 226792 y la variedad Estanzuela Ganador. La unidad experimental fue de 2 m de longitud de largo y 1 m de ancho con tres rizomas enraizados en bolsa negra de 0,5 kg y desarrollados en malla sombra y trasplantados cada material genético a una distancia de 0.5 m entre rizomas, con una longitud de 12 m por parcela grande. De cada unidad experimental se eligieron dos plantas al azar, a partir de las cuales se midieron las variables respectivas.

La medición de las variables se realizó cada 45 días entre cortes, después de haber dejado 60 días después del trasplante para la realización del primer corte. Las variables medidas fueron el índice de área foliar (IAF) con uso de ceptómetro marca DECAGON DEVICES, INC. modelo LP-80 AccuPAR y; producción de biomasa fresca y seca (g) por rizoma. La base de datos se analizó mediante uso del Programa SAS V. 9.0.

Resultados y discusión

Durante la estación de primavera, el ecotipo 255301 y la variedad Estanzuela Ganador fueron los de mejor respuesta en peso de biomasa fresca por rizoma (PBFR), donde además el 255301 lo fue también en índice de área foliar (IAF). Estas respuestas se obtuvieron bajo condiciones subóptimas de contenido de humedad del suelo (CSHS) con valores de 547.6 g, 577.3 g y 4.2, respectivamente; mientras que los ecotipos 255301, 202700 y 226792, fueron los de menor respuesta en IAF, el primero y el último en condiciones óptimas de humedad del suelo (COHS) y el intermedio, en ambas condiciones de humedad del suelo. El ecotipo 227318 fue el de peor respuesta en PBFR en CSHS.

La variedad Estanzuela ganador y el ecotipo 226318 fueron los de mejor y peor respuesta en peso de biomasa seca por rizoma (PBSR) en CSHS. Durante el verano, las mejores respuestas de IAF y PBFR se obtuvieron en la variedad Estanzuela Ganador en condiciones óptimas de humedad del suelo (COHS), con valores de 3.3 y 303.6 g, respectivamente; en PBFR el ecotipo 255301 fue el de mejor respuesta en ambas condiciones de humedad con valores de 321.6 y 33.6 g en COHS y CSHS, respectivamente. Los de más baja respuesta en IAF y PBFR, fueron los ecotipos 227318 y 202700 en COHS y CSHS, respectivamente. No hubo ningún efecto de tratamiento para la variable PBSR (Cuadro 1).

Cuadro 1. Índice de área foliar y la producción de biomasa fresca y seca en diferentes genotipos de trébol *Lotus corniculatus* L. bajo condiciones de déficit hídrico en dos épocas estacionales del año en 2023.

		Primavera			Verano		
CHS	Ecotipos/Variedad	IAF	PBFR	PBSR	IAF	PBFR	PBSR
COHS 25%±2	255301	2.4b	265.6cd	91.0bc	2.4ab	321.6a	87.0a
	227318	2.7ab	377.2abcd	119.2abc	1.0b	268.4ab	80.4a
	255305	3.3ab	401.6abcd	119.6abc	1.9ab	287.6ab	77.6a
	202700	2.2b	312.6cd	96.0bc	2.1ab	173.0ab	57.0a
	226792	1.9b	233.6.cd	82.8bc	2.4ab	158.4ab	62.8a
	Estanzuela Ganador	3.5ab	444.0cd	125.6ab	3.3a	303.5a	76.5a
CSHS 20±2	255301	4.2a	547.6ab	149.6a	3.1ab	333.6a	81.6a
	227318	2.7ab	183.5d	68.5c	2.1ab	265.0ab	93.5a
	255305	2.6ab	233.3cd	82.6bc	2.8ab	205.0ab	72.3a
	202700	2.3b	231.3cd	78.6bc	1.9ab	123.0b	55.0a
	226792	3.4ab	331.3bcd	102.6abc	1.7ab	183.6ab	61.0
	Estanzuela Ganador	3.5ab	577.3a	152.0a	3.0ab	282.0ab	76.0a

Prueba de Tukey (P> 0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales. CHS= Contenido de humead del suelo; COHS= Contenido óptimo de humedad del suelo; CSHS= Contenido subóptimo de humedad del suelo; IA= Índice de área foliar; PBFR= Peso de biomasa fresca por rizoma; PBSR= Peso de biomasa seca por rizoma.

Conclusiones

El ecotipo 255301 y la variedad Estanzuela Ganador fueron los de mejor respuesta en índice de área foliar y producción de biomasa fresca en condiciones de campo abierto, el primero independientemente de los rangos de humedad del suelo probados en este estudio en ambas estaciones del año, primavera y verano; en tanto que, Estanzuela Ganador mostró un mejor comportamiento de producción de biomasa fresca en condiciones subóptimas de humedad del suelo en primavera y, bajo condiciones óptimas de humedad del suelo durante el verano. Ambos materiales genéticos son los de mayor potencial productivo en campo abierto en un régimen de subóptimo a óptimo de humedad del suelo en la Comarca Lagunera, México.

Referencias

Álvarez-Vázquez, P., García-De Los Santos, G., Guerrero-Rodríguez, J., Mendoza-Pedroza, S., Ortega-Cerrilla, M., y Hernández-Garay, A. (2018). Comportamiento productivo de *Lotus corniculatus* L. dependiente de la estrategia de cosecha. Agrociencia, 52(8), 1081 – 1093. https://www.google.com/url?q=https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i4.4950&sa=D&source=editors&ust=1666892792172336&usg=AOvVaw2VcgghyYDo69Bl2q5ON9RP

Comas-Serra, F., Miró, J. L., Umaña, M. M., Minjares-Fuentes, R., Femenia, A., Mota-Ituarte, M. & Pedroza-Sandoval, A. 2024. Role of acemannan and pectic polysaccharides in saline-water stress tolerance of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) plant. International Journal of Biological Macromolecules, 131601. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131601

González-Espíndola, L. Á., Pedroza-Sandoval, A., Trejo-Calzada, Jacobo-Salcedo, María del R., García de los Santos, Gabino, and Quezada-Rivera. J. J. 2024. Relative Water Content, Chlorophyll Index, and Photosynthetic Pigments on *Lotus corniculatus* L. in Response to Water Deficit. Plants, 13, 7: 961. https://doi.org/10.3390/plants/13070961

Ramírez, B. B. A., González, E. A., Valdivia, A. R., Salas, G. J. M. y García, S. J. A. (2019). Tarifas eficientes para el agua de uso agrícola en la Comarca Lagunera. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10(3), 539-550. https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n3/2007-0934-remexca-10-03-539.pdf

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2016). La producción en Zonas Áridas de México. https://www.gob.mx/agricultura%7Cregionlagunera/articulos/la-comarca-lagunera-primer-lugar-en-produccion-de-leche-carne-de-ave-y-forrajes-sagarpa

Sifuentes-Ibarra, E., Ojeda-Bustamante, W., Macías-Cervantes, J., Mendoza-Pérez, C. y Preciado-Rangel, P. (2021). Déficit hídrico en maíz al considerar fenología, efecto en rendimiento y eficiencia en el uso del agua. Agrociencia, 55(3), 209-226. https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i3.2414

RESPUESTA A LA SALINIDAD DE AGUA DE RIEGO MAGNETIZADA EN EL CRECIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD DE DIFERENTES GENOTIPOS DE TRÉBOL FORRAJERO *Lotus corniculatus* L. EN EL NORTE DE MÉXICO

Aurelio Pedroza-Sandoval Aurelio[1]*, Isaac Gramillo-Ávila[1], José de los Santos Aguilar-Martínez[2]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Dgo. México. CP. 35230. [2]Universidad del Bienestar Benito Juárez García, Sede Francisco I. Madero, Coah. CP. 27900. *Autor para correspondencia: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

La Comarca Lagunera de los Estados de Coahuila y Durango, México, presenta un problema históricamente recurrente, una cada vez menor disponibilidad de agua del subsuelo para la agricultura de riego y la mala calidad por la contaminación química de este recurso natural, debido ambos problemas a la sobreexplotación del acuífero. En esta región, la producción de forrajes es una de las mayores actividades económicas, por ser la principal cuenca lechera del país a base de ganado lechero estabulado. El principal cultivo forrajero en estos sistemas de producción es la alfalfa (*Medicago sativa*) con un promedio de superficie anual de 39,046 ha dedicadas para su cultivo, bajo condiciones de riego con agua de pozo profundo (CONGUA, 2015). Es un cultivo semi-perene que dura en producción de 6 o 7 años, con un consumo anual promedio de 2 m de lámina de riego, lo cual impone una alta demanda de agua, ante el abatimiento constante del acuífero. El tratamiento magnético de agua de riego tiene un efecto de reducción en la acumulación de la sal en el suelo, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, promueve una mejor ósmosis de la planta que incrementa el proceso de absorción de agua y nutrientes, principalmente cuando se trata de agua salina. (Mamani, 2017). Esta tecnología complementada con el uso de especies de cultivo con tolerancia al déficit hídrico y a la salinidad, es una alternativa viable de mitigación en áreas agrícolas deprimidas por estos factores ambientales adversos. El trébol *Lotus corniculatus* L. es una especie forrajera de amplias perspectivas por su alto potencial en diferentes áreas ganaderas por su flexibilidad de adaptación a diferentes ambientes y particularmente tolerante al déficit hídrico (González-Espíndola et al., 2024; Pedroza et al. 2024). El objetivo de este estudio, fue evaluar bajo condiciones de campo abierto, el comportamiento de indicadores agronómicos de crecimiento, desarrollo y productividad de tres genotipos de *Lotus corniculatus* L. por efecto de riego con agua salina magnetizada en el norte de México.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el campo experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACh) en Bermejillo del Municipio de Mapimí, del Estado de Durango, México. La región se ubica entre 101° 41’ y 104° 61’ LO y 24° 22’ y 26° 23’ LN a una altitud media de 1,100 m. Se usó un diseño de Bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Las parcelas grandes fueron los tratamientos magnéticos de agua salina: Agua magnetizada (AM) con equipo ionizador a razón de 14,200 Gauss de fuerza magnetizante y agua sin tratamiento magnético (ASTM); las parcelas chicas fueron los genotipos de *L. corniculatus* el ecotipo 232098 y las variedades San Gabriel y Estanzuela Ganador. La unidad experimental (UE) fue de tres plantas colocadas en una hilera de 1.5 m de largo por 0.8 m de ancho que, considerando los tres genotipos a evaluar hace una longitud de 5 m por parcela grande y una superficie de 25 m2 en el área experimental a campo abierto. Se seleccionaron al azar dos plantas por tratamiento en cada repetición a partir de las cuales se derivó la información de las diferentes variables que se midieron, lo cual se llevó a cabo de mayo de 2023 a mayo de 2024.

Las variables medidas fueron: Longitud de tallo (cm); número de tallos por rizoma y; producción de biomasa fresca por rizoma (g). Las mediciones se realizaron cada 45 días con dos mediciones por época estacional: primavera (2023), verano (2023), otoño (2023) e invierno (2023-2024). El análisis de datos se realizó con el programa estadístico Minitab 16 y SAS versión 9.0.

Resultados y Discusión

Longitud de tallos. A partir de la estación de otoño destacaron las variedades San Gabriel y Estanzuela Ganador, tanto en agua tratada magnéticamente, como no tratada (P≤ 0.05) con valores de 29.8 y 28.7 cm para la primera y 29.9 y 25.4 cm para la segunda variedad. El ecotipo 232098 fue el de más baja respuesta, en agua sin tratamiento magnético. Durante el invierno destacó significativamente la variedad Estanzuela Ganador con una longitud de tallo de 26.3 cm y la de peor respuesta fue la variedad San Gabriel, ambas respuestas cuando el agua fue tratada magnéticamente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamiento magnético de agua salina y su efecto en la longitud de tallos (cm) de tres materiales genéticos de trébol forrajero *Lotus corniculatus* L. en condiciones de campo abierto en el norte de México.

Tratamiento		Primavera (2023)	Verano (2023)	Otoño (2023)	Invierno (2023-2024)
TMA	GENOTIPO				
Sin magnetizar	232098	33.2a	20.1a	18.9c	19.0bc
	Estanzuela	32.3a	23.4a	29.9a	22.8ab
	San Gabriel	35.2a	22.5a	28.7a	15.1c
Magnetizada	232098	31.6a	23.7a	20.9bc	20.0abc
	Estanzuela Ganador	33.4a	26.1a	25.4ab	26.3a
	San Gabriel	31.1a	26.0a	29.8a	21.0abc

Prueba de Tukey (P ≤ 0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales. TMA es Tratamiento magnético de agua.

Número de tallos por rizoma. Durante la primavera y el otoño no hubo efecto de tratamiento, solo en verano e invierno, donde el ecotipo 232098 fue la de mejor respuesta con valores de 167 y 180.2 en agua sin tratar y agua tratada magnéticamente y Estanzuela Ganador también en ambos tipos de agua. Los peores efectos de respuesta los mostraron las variedades Estanzuela Ganador y San Gabriel en ambos tipos de agua durante el verano y ésta última en agua sin magnetizar durante el invierno (Cuadro 2)

Cuadro 2. Tratamiento magnético de agua salina y su efecto en el número de tallos por rizoma de tres materiales genéticos de trébol forrajero *Lotus corniculatus* L. en condiciones de campo abierto en el norte de México.

Tratamiento		Primavera (2023)	Verano (2023)	Otoño (2023)	Invierno (2023-2024)
TMA	GENOTIPO				
Sin magnetizar	232098	145.6a	167.0a	170.0a	72.4cd
	Estanzuela Ganador	59.1a	76.5b	176.9a	167.3a
	San Gabriel	100.8a	99.5b	141.2a	16.1d
Magnetizada	232098	162.7a	180.2a	144.5a	92.8abc
	Estanzuela Ganador	89.0a	81.5b	215.5a	149.8ab
	San Gabriel	122.1a	102.0b	132.6a	76.0bcd

Prueba de Tukey (P ≤ 0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales. TMA=Tratamiento magnético de agua.

Producción de biomasa fresca (PBF). La producción de biomasa fresca (PBF) fue muy similar entre genotipos y tipos de agua magnetizada y sin magnetizar, sin diferencia estadística (P≤ 0.05) entre tratamientos durante las estaciones de primavera y verano; la diferenciación principalmente entre genotipos fue a partir de otoño, donde las variedades Estanzuela Ganador y San Gabriel se incrementaron significativamente, independientemente del tratamiento magnético del agua y, el ecotipo 232098 fue el de más baja respuesta en ambos tipos de agua, tratada y no tratada magnéticamente durante el otoño; en invierno fue un comportamiento similar. La variedad Estanzuela Ganador fue la más estable ante el efecto estacional y la salinidad; en tanto que la más sensible a ambos efectos fue el ecotipo 232098 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tratamiento magnético de agua salina y su efecto en el peso fresco (g) de tres materiales genéticos de trébol forrajero *Lotus corniculatus* L. en condiciones de campo abierto en el norte de México.

Tratamiento		Primavera (2023)	Verano (2023)	Otoño (2023)	Invierno (2023-2024)
TMA	GENOTIPO				
Sin magnetizar	232098	288.6a	158.4a	35.7b	74.8bc
	Estanzuela Ganador	206.4a	159.4a	288.9a	177.5a
	San Gabriel	315.0a	196.3a	184.2a	23.6c
Magnetizada	232098	225.6a	184.9a	52.8b	73.5bc
	Estanzuela Ganador	193.7a	141.9a	249.5a	196.3a
	San Gabriel	274.7a	158.2a	247.0a	129.2ab

Prueba de Tukey (P ≤ 0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales. TMA es Tratamiento magnético de agua.

Conclusiones

El efecto magnético del agua fue menos evidente y más errático con cierto cierta tendencia de efecto a partir de la estación de otoño. La variedad Estanzuela Ganador fue la más estable tanto en agua con y sin tratamiento magnético, lo que indica mayor tolerancia a la salinidad. La variedad San Gabriel y el ecotipo 232098 fueron los menos estables y con tendencia a una mayor susceptibilidad a la salinidad.

Referencias

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2015). Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F. 323 p. https://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera-1367.

González-Espíndola, L. Á., Pedroza-Sandoval, A., Trejo-Calzada, R., Jacobo-Salcedo, María del R., García de los Santos, G. and Josafath Quezada-Rivera (2024). Relative Water Content, Chlorophyll Index, and Photosynthetic Pigments on *Lotus corniculatus* L. in Response to Water Deficit. Plants 13,7, 961. https://doi.org/10.3390/plants13070961

Mamani, A. F. (2017). Aplicación de agua m-agnetizda para la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la estación experimental de Patacamaya. La Paz, Bolivia.

Pedroza-Sandoval, A., Xolocotzi-Acoltzi. S., Trejo-Calzada, R., García-De los Santos, G., Álvarez-Vázquez, P. y Arreola-Ávila, J.G. (2024). Leaf area index and forage productivity indicators of Lotus corniculatus L. at different soil moisture contents and seasons of the year. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 15(1), 17-31. https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i1.6472

ALGUNOS INDICADORES QUÍMICOS ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL MUCÍLAGO DEL CLADODIO DE DIFERENTES MORFOTIPOS DE *Opuntia ficus-indica* EN DÉFICIT HÍDRICO

Aurelio Pedroza-Sandoval[1], José Bacarrillo-López[2]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, Km. 40 Carretera Gómez Palacio – Chihuahua. Bermejillo, Durango, México. [2]Instituto Tecnológico de Torreón, Carr. Torreon-San Pedro km 7.5, Ejido Ana. Torreón, Coahuila, México. *Autor para correspondencia: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

En los ecosistemas áridos, el nopal es un recurso fitogenético endémico que tiene un rol importante en la biodiversidad y la bioproductividad. El género *Opuntia* incluye plantas suculentas del grupo fotosintético Metabolismo Ácido de las Crasuláceas (CAM, por sus siglas en inglés) y es un depósito biológico de agua que le permite adaptarse a la escasez hídrica en zonas áridas. Estas plantas son capaces de mantener adecuados contenidos de agua en sus tejidos a base de mantener potenciales hídricos altos en ambientes secos (Bacarrillo et al., 2021). Los derivados del cladodio del nopal están adquiriendo relevancia comercial en los sectores agroalimentario, medicinal e industrial (Monteiro et al. 2023). En particular, el mucílago del nopal no solo contiene agua, también contiene diversos elementos químicos activos de valor nutricional, farmacéutico e industrial (Inglese et al., 2018) lo que le ha valido un creciente interés en el mercado ya sea como materia fresca o seca, esta última en forma de polvo deshidratado. El mucílago es un compuesto soluble en agua que está destacando por sus usos benéficos en la industria, como agente espesante, gelificante, estabilizador, antioxidante y como película de recubrimientos en frutas y verduras frescas para mejorar la vida de anaquel (Luna-Zepién et al., 2023). Sin embargo, no existe suficiente información sobre las técnicas de manejo de la planta que mejoren la cantidad y calidad en la producción del mucílago. El objetivo de este estudio fue evaluar tres morfotipos de nopal bajo condiciones de diferentes contenidos de humedad del suelo y su respuesta en algunos indicadores químicos relacionados a la calidad y productividad del mucílago del cladodio en el norte de México.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo en Bermejillo, Durango, México, durante el período de 2019-2020. El sitio experimental está ubicado a 23° 54' LN y 103° 37' LW, a una altitud media de 1,100 m. Se usó un diseño experimental de bloques al azar en arreglo de parcelas subdivididas con tres repeticiones. Las parcelas grandes correspondieron a los contenidos de humedad del suelo: Óptimo (COHS) de 22% a 28%, subóptimo (CSHS) de 15% a 21% y deficitario (CDHS) de 8 a 14%, correspondiente a un promedio de 25, 18 y 11%, respectivamente. Las subparcelas fueron tres morfotipos de nopal identificados con las claves: CH, NA, HE, denominados con estos códigos, porque son materiales de diferente procedencia del altiplano zacatecano, pero aún no están caracterizados genotípicamente, aunque se aprecian diferencias fenotípicas. La unidad experimental (UE) consistió en cuatro hileras de nopal de 8 metros de longitud cada una a doble hilera con una distancia de 0.75 m entre hileras y 1.5 entre hileras de diferente tratamiento, con una densidad de 6,667 plantas ha^{-1}. La distancia entre plantas fue de 50 cm. De cada UE se seleccionaron cuatro plantas al azar de las dos hileras centrales para medir las variables respectivas.

Las variables medidas fueron pH, contenido de humedad del mucílago, cantidad de mucílago producido (mL Kg^{-1} p.f.), contenido de cenizas (%) y sólidos totales (%). Con la base de datos se realizó un análisis de varianza y una prueba de rango múltiple de medias Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando los programas estadísticos Minitab 16 y SAS versión 9.0.

Resultados y Discusión

El pH del mucílago en general fue inferior al valor neutro, con una variación significativa ($P \leq 0.05$, n=6, g.l.= 5) en el contenido de humedad óptimo (25%±3) entre los morfotipos NA y CH con valores de 5.02 y 4.76, respectivamente; el morfotipo HE registró valores intermedios entre las dos morfotipos anteriormente citados. La producción de mucílago del nopal en el morfotipo CH, se observaron valores altos de mucílago en los niveles óptimo y medio de humedad del suelo, correspondiente a 800 y 712.6 mL Kg^{-1} p.f., respectivamente. Sin embargo, en el caso en el contenido deficitario de humedad del suelo, el morfotipo CH exhibió el valor más bajo de mucílago, con tan solo 552.3 mL Kg^{-1} p.f. En contraste, los morfotipos NA y HE mostraron altos niveles de mucílago en esta condición deficitaria de humedad del suelo. El mucílago del nopal se compone principalmente de agua y su contenido está estrechamente vinculado a la disponibilidad de agua en el suelo (Gheribi & Khwaldia, 2019). Sin embargo, el contenido de humedad del mucílago no mostró diferencias significativas en los diferentes porcentajes de humedad del suelo entre los genotipos evaluados en este estudio (Cuadro 1). No se encontraron diferencias significativas en el contenido de cenizas y la concentración de sólidos totales entre los morfotipos de nopal y contenidos de humedad del suelo probados en este estudio (Cuadro 2), lo cual sugiere que la calidad del mucílago del nopal no es afectada por el déficit hídrico, al menos en los niveles probados en este estudio (Cuadro 2).

Conclusiones

Se concluye que en casos de escasez de agua se puede utilizar cualquiera de los morfotipos NA o HE, por su tolerancia al estrés y mayor producción de mucílago. La calidad del mucílago no fue afectada en términos de sólidos totales y contenido de cenizas, ni por el tipo de morfotipo de nopal usado, ni por contenido de humedad del suelo.

Cuadro 1. Media de la acidez, porcentaje en el contenido de humedad y porcentaje en el contenido de mucilago de tres morfotipos de nopal (*Opuntia ficus-indica*) bajo diferentes contenidos de humedad del suelo, durante Primavera – Verano 2020.

Morfotipos de nopal	Contenido de humedad del suelo (%)								
	COHS (22 – 28)			CSHS (15 – 21)			CDHS (8 – 14)		
	pH	CHM (%)	CM (mL Kg^{-1} p.f.)	pH	CHM (%)	CM (mL Kg^{-1} p.f.)	pH	CHM (%)	CM (mL Kg^{-1} p.f.)
CH	4.76b	98.2 a	800.0 a	4.55 a	97.6 a	712.6 a	4.45 a	97.1 a	552.3 b
HE	4.81ab	98.2 a	789.3 c	4.57 a	97.5 a	701.3 b	4.49 a	96.9 a	571.0 a
NA	5.02[a]	98.2 a	795.6 b	4.57 a	97.5 a	706.0 b	4.48 a	97.0 a	573.3 a

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras en una misma columna, no son significativamente diferentes. pH= Potencia de hidrógeno como indicador del grado de acidez del mucílago; COHS= Contenido óptimo de humedad del suelo; CSHS= Contenido subóptimo de humedad del suelo; CDHS= Contenido deficitario de humedad del suelo; CHM= Contenido de humedad del mucílago; CM= Contenido de mucílago.

Cuadro 2. Valor medio del contenido de cenizas y sólidos totales del mucílago de tres morfotipos de nopal (Opuntia ficus-indica) en respuesta al efecto de humedad del suelo durante primavera – verano, 2020.

Morfotipos de nopal	Contenido de humedad del suelo					
	COHS (25%±2)		CSHS (20%±2)		CDHS (15%±3)	
	CC (%)	ST (%)	CC (%)	ST (%)	CC (%)	ST (%)
CH	2.44 a	6.00 a	2.56 a	6.00 a	4.14 a	6.00 a
HE	2.42 a	6.33 a	2.52 a	6.00 a	4.11 a	6.00 a
NA	2.36 a	5.66 a	2.51 a	6.00 a	4.08 a	6.00 a

Prueba de Tukey (P≤ 0.05). Cifras con las mismas letras en una misma columna, no son significativamente diferentes. CC= Contenido de cenizas; ST= Sólidos totales. CSHS= Contenido subótpimo de humedad del suelo; CDHS= Contenido deficitario de humedad del suelo; CHM= Contenido de humedad del mucílago.

Referencias

Bacarrillo-López, R., Pedroza-Sandoval, A., Inzunza-Ibarra, M. A., Flores-Hernández, A., & Macías-Rodríguez, F. J. (2021). Productividad de forraje de variedades de nopal (*Opuntia spp.*) bajo diferentes regímenes de humedad del suelo. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 8(3), 1–10. https://doi.org/10.19136/era.a8n3.2878

Gheribi, R., & Khwaldia, K. (2019). Cactus mucilage for food packaging applications. Coatings, 9(10), 1–19. https://doi.org/10.3390/coatings9100655

Inglese, P., Mondragon, C., Nefzaoui, A., Saenz, C., Taguchi, M., Makkar, H, y Louhaichi, M. (2018). Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). http://hdl.handle.net/20.500.11766/9380

Luna-Zepién, E. A., Zegbe, J. A., Meza-Valézquez, J. A. y Minjares-Fuentes, R. (2023). Mucílago de nopal (Opuntia spp.) y su aplicación como aditivo alimentario: una visión general. Revista Fitotecnia Mexicana 46 (1): 51-61.

Monteiro, S. S., Almeida, R. L., Santos, N. C., Pereira, E. M., Silva, A. P., Oliveira, H. M. L., Pasquali, M. A. B. (2023). New Functional Foods with Cactus Components: Sustainable Perspectives and Future Trends. Foods, 12(13), 2494. https://doi.org/10.3390/foods12132494

FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN *Agave durangensis* Gentry: EFECTO EN LA MORFOLOGÍA, ESTADO Y EFICIENCIA NUTRIMENTAL, Y FOTOSÍNTESIS

Erickson Basave[1*], Erika Nava Reyna[2], Ricardo Trejo Calzada[3], Cinthya Judith Ortega Esparza[3], José A. Sigala[1], María del Rosario Jacobo Salcedo[2], Miguel A. Ramírez Fuentes[4], Homero Sarmiento López[1] y José Leonardo García-Rodríguez[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana. Km. 4.5, Ctra. Durango – El Mezquital, Durango, Dgo. México. C. P. 34170. [2]CENID RASPA, INIFAP. Km. 6.5 margen derecha, Canal de Sacramento, Gómez Palacio, Durango, México. C.P. 35079. [3]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Km. 40 Ctra. Gómez Palacio-Chihuahua, Bermejillo, Durango, México. C.P. 35230. [4]CIIDIR, Unidad Durango. Calle Sigma Núm. 119 Fracc. 20 de Noviembre II, Durango, Dgo. México. C.P. 34220*Autor de correspondencia: basave.erickson@inifap.gob.mx

Introducción

En la nutrición mineral de los cultivos, el nitrógeno (N) es uno de los elementos químicos más importantes debido a su participación en diversos procesos metabólicos, incluyendo la fotosíntesis y su función estructural en diversas moléculas, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, purinas, pirimidinas y coenzimas (Barker & Pilbeam, 2015). Por este motivo, la nutrición nitrogenada ha recibido una atención especial, particularmente en la producción de cultivos comerciales. En consecuencia, las prácticas de fertilización a menudo se diseñan con un énfasis en el suministro óptimo de dicho elemento.

Al igual que para la producción de cultivos a campo abierto, la fertilización se reconoce ampliamente como una práctica cultural indispensable en los sistemas de producción controlados o semi-controlados. Esto debido al uso frecuente de sustratos inertes o con una disponibilidad limitada de nutrientes minerales; además, porque se emplean charolas, envases o contenedores que restringen el crecimiento libre del sistema de raíces (Cortina, Vilagrosa & Trubat, 2013). No obstante, la importancia de la fertilización radica en que es crucial para promover atributos morfofuncionales en las plantas que afectan su comportamiento en campo. Se busca que éstas prosperen especialmente bajo condiciones de estrés, lo que implica el aumento de su capacidad de aclimatación o tolerancia a factores de estrés biótico o abiótico, como son la herbivoría, sequía, baja fertilidad de los suelos, alta irradiancia y temperaturas extremas, factores que suelen ser la causa de mortalidad alta de las plantas en campo (Cortina et al., 2013).

Las características morfológicas de las plantas a nivel de hojas, tallo o raíz en cuanto a biomasa asignada, la capacidad fotosintética, así como la cantidad de reservas nutrimentales y otros compuestos químicos de reserva están involucrados en el crecimiento, defensa o capacidad de recuperación de las plantas (Villar-Montero et al., 2008). Por ende, estos atributos funcionales desempeñan un papel ecológico crucial en las plantas en la capacidad de aclimatación y tolerancia al estrés ambiental. Estas respuestas dependen estrechamente de la adecuada asimilación de N, que a su vez está regulada por factores externos como la disponibilidad o abundancia de este elemento en la solución del suelo.

Agave durangensis Gentry (maguey cenizo) es un recurso natural estratégico para la creciente industria mezcalera regional en Durango, pero dado al aprovechamiento inadecuado de sus poblaciones naturales para estos fines industriales, su sustentabilidad está en riesgo (Olivas-Gallegos, Valdez-Lazalde, Aldrete, González-Guillén & Vera-Castillo, 2007). Para contrarrestar esta problemática se está impulsando plantaciones en las que se requiere planta de vivero de calidad (García-Rodríguez, Sigala-Rodríguez, Sarmiento-López & Monárrez-González, 2023).

Considerando el contexto antes mencionado en cuanto al beneficio de la nutrición mineral nitrogenada, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada en la morfología, estado y eficiencia nutrimental, y capacidad fotosintética de dicha especie.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Campo Experimental Valle del Guadiana, INIFAP, Durango. Se produjo planta de *A. durangensis* a partir de semillas en charolas de poliestireno expandido (unicel) de 77 cavidades y de capacidad de 170 mL por cavidad. Se utilizó un sustrato compuesto por 50% de turba de musgo, 30% de corteza de pino compostada y 20% de perlita. Al momento de la preparación del sustrato, se agregó fertilizante de liberación controlada (FLC) Multicote™ 8 18-6-12 en dosis de 4 g/L de sustrato. Las plantas crecieron en condiciones de invernadero durante 10 meses. Con esa fertilización, las plantas recibieron 122 mg N planta^{-1}, considerando el volumen del envase, la dosis y el análisis garantizado del FLC. Al término de los 10 meses, algunas plantas recibieron una fertilización complementaria de nitrógeno (N) de 122 mg planta^{-1}, para duplicar el aporte de este nutrimento. Este se suministró utilizando como fuente un fertilizante soluble a base de nitrato de potasio (KNO_3) (Ultrasol® NKS 12-0-46). Esta suplementación se hizo en un lapso de seis semanas mediante fertirriego con dos aplicaciones por semana.

En ese sentido, se aplicaron dos niveles o cantidades de N durante el cultivo. Estas dos cantidades de nitrógeno identificados como: 1) N bajo (LN; 122 mg N planta^{-1}) y 2) N alto (HN; 244 mg N planta^{-1}) fueron los tratamientos evaluados. Estos se examinaron bajo un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones y unidades experimentales representadas por charolas con 77 plantas.

Al término del ensayo las variables de respuesta evaluadas fueron la altura (cm) y el diámetro del tallo (piña) (mm), la longitud de la raíz (cm), el peso seco de la parte aérea, de las raíces y total (g), el diámetro de la roseta (mm), el número de hojas, el contenido de clorofila (unidades SPAD) y de N (mg planta^{-1}), la eficiencia en el uso del N (%), así como la tasa instantánea de asimilación neta de CO_2 (µmol m^2 s^{-1}).

Las diferencias entre los tratamientos se determinaron mediante la prueba U de Mann-Whitney a un nivel de significancia de 0.05, la cual se realizó con el software infoStat.

Resultados y discusión

Los niveles de nitrógeno no afectaron la mayoría de las variables evaluadas a nivel morfológico. Únicamente el diámetro de la piña y de la roseta, y marginalmente el número de hojas, difirieron estadísticamente. En cuanto a lo nutrimental, la eficiencia en el uso del nitrógeno tuvo un efecto altamente significativo por la cantidad del nutrimento aplicado (Cuadro 1).

Cuadro 1. Significancias estadísticas conforme a la prueba U de Mann-Whitney (α=0.05) en variables evaluadas en plantas de *Agave durangensis* de un año, en respuesta a dos cantidades de nitrógeno.

Variable	Valor *P*
Altura del tallo (piña)	0.3802
Diámetro de piña	0.0446
Longitud de raíz	0.6517
Peso seco aéreo	0.2483
Peso seco de raíz	0.2859
Peso seco total	0.2179
Diámetro de la roseta	0.0122
Número de hojas	0.0646
Contenido de clorofila	0.5965
Contenido de N	0.1970
Eficiencia en el uso de N	<0.0001
Tasa de asimilación neta	0.2786

Las plantas que recibieron la menor cantidad de nitrógeno registraron un diámetro de piña 14% superior que las fertilizadas con menos nitrógeno, mientras que en el diámetro de la roseta la respuesta fue contraria, siendo esta 25% mayor en plantas del nivel alto de nitrógeno (Figura 1). No obstante, el aporte de N en la cantidad más elevada redujo 140% la eficiencia en el uso de este nutrimento.

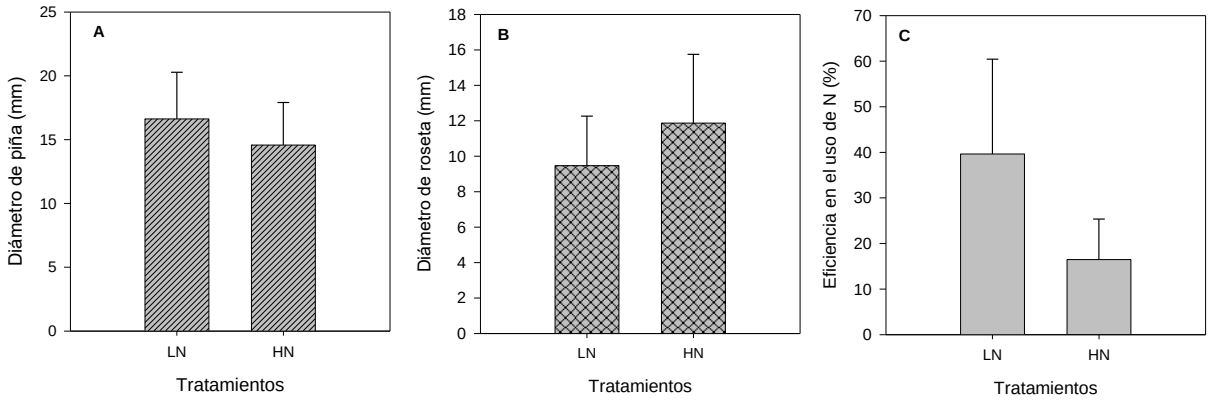


Figura 1. Valores promedio y desviación estándar del A. diámetro de piña, B. diámetro de la roseta y C. eficiencia en el uso de nitrógeno en plantas de *Agave durangensis* de un año fertilizadas con dos niveles de nitrógeno (bajo [LN; 122 mg planta^{-1}] y alto [HN; 244 mg planta^{-1}]) durante su cultivo en invernadero.

El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas. La formación y asignación de biomasa varía dependiendo de la disponibilidad de este nutrimento en la solución externa del suelo. Una cantidad importante de reservas nutrimentales se otorgan a la formación de tejido especialmente de los órganos demandantes (Barker & Pilbeam, 2015). La respuesta observada en el diámetro de la piña sugiere que la cantidad suministrada de 122 mg de N fue suficiente para cubrir las demandas durante su desarrollo, aunque esto contrasta con la roseta, la cual se desarrolló mejor con el aporte alto de N. Las respuestas de las plantas al aporte de nutrientes minerales son especie- especificas e incluso varían nivel de individuos o genotipos. Soares, Freitas, Paiva y Neves (2017) argumentan que las plantas priorizan la asignación de asimilados dentro de sus diversos compartimentos dependiendo de las condiciones ambientales y disponibilidad de recursos.

A menudo, las plantas priorizan la asignación de recursos al aparato fotosintético como una estrategia metabólica para optimizar la capacidad fotosintética. Así que en un número representativo de especies vegetales, una mayor cantidad de N, principalmente en hojas, suele estar asociada con incrementos en la capacidad fotosintética de las plantas, ya que la asimilación de carbono requiere cantidades significativas de nutrientes, especialmente N. Pero, aunque una parte importante del N asimilado se requiere para el complejo fotosintético, no todo se utiliza para tal proceso, debido a que las plantas requieren nutrientes para otras demandas metabólicas.

Terradas (2001) señala que la fotosíntesis incrementa con el aumento de la concentración de N en la planta siempre que no haya otros factores limitantes. En lo general, esto tiene sentido considerando que la cantidad de N aportado no afectó el contenido de este elemento en las hojas y de ahí que las tasas de asimilación de CO_2 no difirieron entre tratamientos. No obstante, es relevante observar la repercusión en la eficiencia en el uso del nitrógeno la cual disminuyó considerablemente con el aporte alto de N, afectando la productividad del nutrimento en cuestión.

La mayoría de los fertilizantes inorgánicos tienen una eficiencia que no supera el 50%, lo cual es un valor cercano a la eficiencia registrada por las plantas que recibieron menos nitrógeno. La baja eficiencia mostrada puede explicarse considerando que las especies adaptadas a suelos pobres, como lo es *A. durangensis* en su entorno natural, usualmente tienen una productividad de nutrientes más baja que aquellas adaptadas a suelos fértiles (Beredse, de Kroon & Braakhekke, 2007). Además, la eficiencia en la utilización de un fertilizante nitrogenado varía con el tiempo, método de aplicación y la forma de N (Barker & Pilbeam, 2015).

Conclusiones

La morfología de *A. durangensis* es parcialmente afectada por los niveles de N aplicados. Estos niveles no influyen en el estado nutrimental y en la capacidad fotosintética pero si en eficiencia en el uso de N, la cual se reduce significativamente al aplicar cantidades altas de este nutrimento.

Referencias

Barker, A. V., & D. J. Pilbeam. (2015). Handbook of plant nutrition. Boca Raton FL: CRC Press/Taylor & Francis Group.

Berendse, F., H. de Kroon, & W.G. Braakhekke. (2007). Acquisition, Use, and Loss of Nutrients. In: Functional Plant Biology; Pugnaire, F., Valladares, F., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL. pp. 259–284.

Cortina, J., A. Vilagrosa, & R. Trubat. (2013). The role of nutrients for improving seedling quality in drylands. New Forests, 44, 719-732. https://doi.org/10.1007/s11056-013-9379-3

García-Rodríguez, J. L., J. Á. Sigala-Rodríguez, H. Sarmiento-López, J. C. Monárrez-González. (2022). Producción de planta y establecimiento de plantaciones comerciales de Agave durangensis Gentry. INIFAP – CIRNOC. C.E. Valle del Guadiana. Folleto Técnico No. 128. Durango, Dgo., México. 62 p

Olivas-Gallegos, U.E., J. R. Valdez-Lazalde, A. Aldrete, M. González-Guillén, & G. Vera-Castillo. (2007). Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: definición mediante análisis multicriterio y SIG. Revista Fitotecnia Mexicana, 30, 411-419. https://doi.org/10.35196/rfm.2007.4.411

Soares, C.B., E.C.S. de Freitas, H.N. de Paiva, & J.C.L. Neves. (2017). Nitrogen sources and doses on growth and quality of seedlings of Cassia grandis and Peltophorum dubium. Revista Árvore 2017, 41, e410214. https://doi.org/10.1590/1806-90882017000200014

Terradas, J. Ecología de La Vegetación: De La Ecofisiología de Las Plantas a La Dinámica de Comunidades y Paisajes; 1° ed.; Ediciones Omega: Barcelona.

Villar-Montero, R., J. Ruiz-Robleto, J. L. Quero-Pérez, H. Poorter, F. Valladares, & T. Marañón. (2008). Tasas de Crecimiento. En: Especies Leñosas: Aspectos Funcionales e Implicaciones Ecológicas. In Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante; Valladares, F., Ed.; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (España): Madrid. pp. 193-230.

COMPORTAMIENTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL TEJIDO VEGETAL DE *Pinus engelmannii* CON LA APLICACIÓN DE ANTITRANSPIRANTES

José Leonardo García-Rodríguez[1]; Homero Sarmiento-López[1]*, Tomás Pineda-Ojeda[2], José Ángel Sigala-Rodríguez[1].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana. Km 4.5 Carr. Durango - El Mezquital, Durango, Dgo. C.P. 34170. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México. México. Carr. Los Reyes-Lechería, Km 13. 5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. C.P. 56250. *Autor de correspondencia: sarmiento.homero@inifap.gob.mx

Introducción

Sobre el uso de productos antitranspirantes en plantas forestales existe poca información, estudios como el de Pineda-Ojeda et al. (2022) aplicando productos antitraspirantes en plantas de tres especies de pino, previo a su salida del vivero, no encuentran una tendencia clara, aunque, sugieren que el uso de antitranspirantes, en sitios con escasez de agua, pueden incrementar la supervivencia en función de la especie y de la forma de su aplicación. La utilización de estos productos se justifica por la mala calidad de la planta producida en los viveros, por las malas condiciones de su transporte a los sitios de plantación y la falta de agua en estos sitios, todos factores cruciales para la supervivencia y productividad de las plantas establecidas en campo. En las zonas de clima templado frío en México, en los programas de reforestación se plantan principalmente especies del género *Pinus* (Flores et al., 2021). No obstante, la etapa juvenil de las plantas de este y otros géneros de especies forestales es la más vulnerable a los daños ocasionados por estrés hídrico, el cual afecta la regeneración natural en los bosques (Petrie et al., 2016).

La intensidad del estrés hídrico determina el nivel de daños sufridos por la planta, pero sí es prolongado ocasionará su muerte, siendo una de las principales causas de bajos porcentajes de supervivencia en campo al primer año de plantación (43.5 a 67.8%) (CONAFOR, 2019), por esto, la restauración de bosques de clima templado-frío es de impacto moderado. En este sentido, la efectividad de los productos antitranspirantes, en especial de los que forman una película, recién se prueba en especies forestales. Estos se aplican al follaje de plantas previo a su salida del vivero, al formar un recubrimiento sobre la superficie de las hojas impiden la pérdida excesiva de agua (Moftah y Al-Humaid, 2005), por lo que pueden ser una alternativa para reducir evapotranspiración (pérdida de agua del tejido vegetal a través de los estomas), sobre todo, durante el traslado de la planta al sitio de plantación y, durante los primeros días posteriores al plantado (Pineda-Ojeda et al., 2022). La efectividad se ha probado mediante ensayos de plantación, procedimientos de laboratorio como el de curvas Presión-Volumen (Koide et al., 1989) y, del cálculo de la transpiración residual del tejido vegetal utilizado por García-Rodríguez et al. (2023). Pero se ha observado que la efectividad de los productos también está en función de las especies forestales, por lo cual, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de tres productos antitranspirantes formadores de película aplicados por aspersión, sobre la pérdida de humedad del tejido vegetal de plantas de *Pinus engelmannii* Carrière a la salida de vivero.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en el laboratorio del Campo Experimental Valle del Guadiana (CEVAG) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Durango, en las coordenadas: 23° 59’ 26” N y 104° 37’ 24” W a una altitud de 1,806 m. Se utilizaron plantas de *Pinus engelmannii* de 10 meses de edad obtenidas a través de semilla.

Las plantas fueron producidas en envases de poliestireno expandido de 77 cavidades (170 mL), utilizando la mezcla de sustrato compuesta por 50% de turba, 25% de perlita y 25% de vermiculita más fertilizante de lenta liberación (8 meses) Multicote® (18 N-6 P-12 K) en dosis de 4 kg m^{-3} de mezcla de sustrato. En promedio, la mezcla de sustrato presentó porosidad de aireación de 21%, porosidad total de 60% y capacidad de retención de agua de 40%.

El cultivo en las fases de germinación, establecimiento y crecimiento rápido (8 meses) fue en un invernadero con cubierta de película plástica color blanco lechoso calibre 720 y malla sombra al 50%. El primer mes de la etapa de endurecimiento bajo malla sombra al 50% y el último mes a la intemperie. A los 10 meses de edad, previo a la salida de vivero, se evaluó el efecto de la aplicación de tres productos antitranspirantes: 1) Ecofilm®, 2) Fitoglass® y 3) Vapor Gard® (10, 15 y 10 mL L^{-1} de agua), más un tratamiento testigo (asperjado de agua), sobre la pérdida de humedad del tejido vegetal de plantas de pino. Cada tratamiento con seis plantas, 24 plantas por especie y 48 plantas en total.

Para el cálculo de la transpiración residual, las plantas de las dos especies se regaron por inmersión durante 1 h, dejando drenar el exceso de agua 24 horas, hasta alcanzar capacidad de campo. En ese momento, la solución de cada antitranspirante se aplicó con aspersores manuales de 500 mL, se realizaron 15 disparos (en promedio 12.2 mL $planta^{-1}$) sobre el follaje de las plantas y, agua destilada sobre las del tratamiento testigo. La evaluación inició, 24 h después de aplicados los antitranspirantes, primero se midió la altura (cm) de cada planta, después se cortó el tercio superior de acuerdo a su altura para de forma inmediata determinar el peso fresco inicial para un proceso de desecación de 12 h a temperatura ambiente (26 °C y 50 % de HR), realizando mediciones de peso cada hora con balanza de precisión (Ohaus Adventurer, Ohaus, México).

La tasa de transpiración residual de cada brote se calculó mediante la regresión de la porción lineal de la relación entre el peso fresco frente al tiempo. El estimador de la pendiente en la regresión se consideró como la transpiración residual, la cual corresponde a la tasa de cambio de peso (pérdida de agua) por unidad de tiempo. Se evaluó el contenido de humedad en porcentaje al comenzar la transpiración residual y también la transpiración residual (tasa de pérdida de humedad) mediante una prueba no paramétrica de Kruskall-Wallis. Los análisis de realizaron con ayuda del software Infostat versión 2020.

Resultados y discusión

La temperatura promedio durante la desecación fue de 25.7° C con una mínima de 25.3 y máxima de 26.9 °C. La humedad relativa promedio fue de 51.2 % con una mínima de 46.1 % y una máxima de 58.8 °C (Figura 1). El contenido de humedad inicial al momento de exponer los segmentos a desecación fue en promedio del 78 % disminuyendo paulatinamente en forma curvilínea hasta llegar a un 68 % a las 8 horas de desecación. La prueba de Kruskall-Wallis no detectó diferencias significativas en el contenido de humedad ($H=1.98$, $p=0.5766$). A partir de 8 horas de desecación, el porcentaje de humedad comenzó a disminuir en forma lineal hasta llegar a un promedio de 64 % a las 12 horas de desecación.

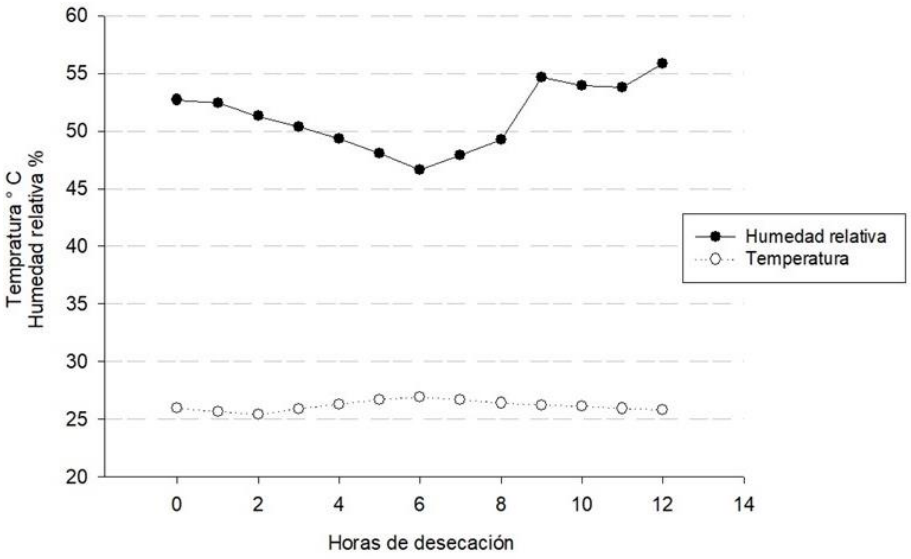


Figura 1. Temperatura y Humedad Relativa durante la desecación del tallo de *Pinus engelmannii* con la aplicación de antritranspirantes.

La pendiente de la recta del porcentaje de contenido de humedad para cada tratamiento (tasa de pérdida), se calculó con los porcentajes calculados de 8 a 12 horas después de exponer la parte aérea a desecación, ya que, al realizar la regresión lineal segmentada de manera iterativa para localizar el punto de inflexión y comienzo de la fase lineal (Villar-Salvador et al. 1997), se estimó que la transpiración residual se presentó ocho horas después de iniciado el proceso. La prueba de Kruskall-Wallis realizada sobre los valores del estimador de la pendiente de la recta de pérdida de humedad, evidenció que no existieron diferencias significativas en la transpiración residual al aplicar diferentes antritranspirantes (H=2.26, p=0.5202).

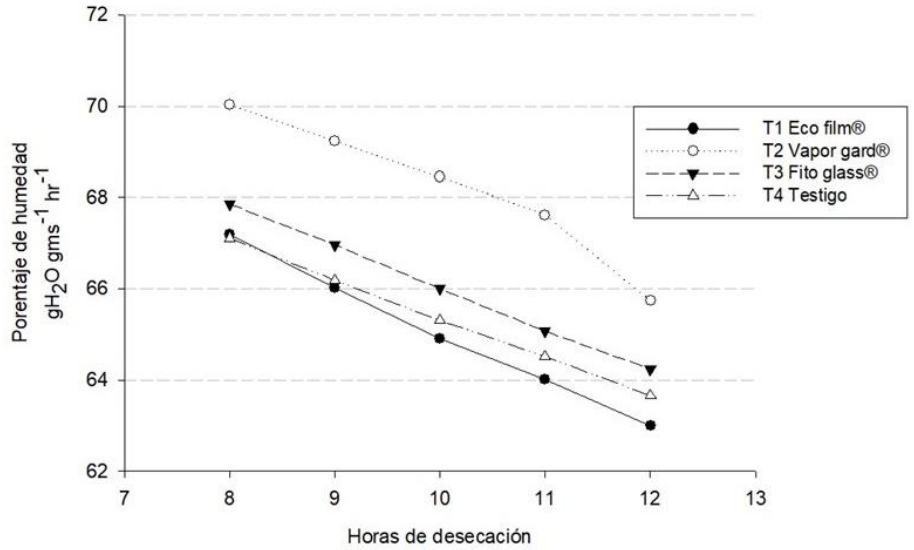


Figura 2. Pérdida de agua durante la desecación del tallo de *Pinus engelmannii* con la aplicación de antritranspirantes

Los resultados indican que en las condiciones en las que se realizó el ensayo, los antitranspirantes no tuvieron efecto en el cierre estomático, ni en la pérdida de agua por la cutícula. Es posible que al exponer los segmentos en condiciones de temperaturas mayores a 25 °C y humedad relativa menor al 50 %, el estimador de la pendiente aumente, y pudiera evidenciarse una tendencia que pudiera definir efectivamente cual antitranspirante, evitaría una mayor transpiración residual. En experimentos con antitranspirantes, Alcalá y Palacios (2017), encontraron una respuesta favorable al evitar la pérdida de humedad en la especie *Heliconia bihai* al aplicar dosis de Vapor-Gard® al 0.5 y al 1 % comparado con Stress Relief 35® con la misma dosis y al testigo. También encontraron diferencias entre la aplicación de riego y no riego antes de aplicar los antitranspirantes y la aplicación de estos en pre y postcosecha lo que sugiere que el estado hídrico previo a la aplicación de los antitranspirante condiciona la pérdida de humedad. En contraste, Pineda-Ojeda (et al., 2022), encontraron respuesta diferencial en tres especies de pino al aplicar tres antitranspirantes y dos métodos de aplicación.

Conclusiones

Los tres antitranspirantes aplicados en la parte aérea de *Pinus engelmannii,* al exponerse a desecación con temperaturas cercanas a 25 °C y 50% de humedad relativa no tuvieron efecto sobre la transpiración residual.

Agradecimientos

Se agradece el financiamiento al Proyecto: 1175934783 “Uso de antitranspirante para incrementar sobrevivencia inicial en plantaciones de *Pinus engelmannii* Carrière”. Campo Experimental Valle de México, CIR Centro, INIFAP.

Referencias

Alcalá, A. and Palacios, J. 2017. Riego y uso de antitranspirantes sobre la vida postcosecha de Heliconia bihai L. In: Anales Científicos. 78(2):225-231. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2019. Estado que guarda el sector forestal en México. Conafor. Zapopan, Jal., México. 412 p.

Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. and Robledo, C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar.

Flores, A., Romero S.M.E., Pérez M.R., Pineda O. T. and Moreno S.F. 2021. Potencial de restauración de bosques de coníferas en zonas de movimiento de germoplasma en México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 12(63): 4–27. Doi:10.29298/rmcf.v12i63.813.

García-Rodríguez, J.L., Sigala-Rodríguez, J.Á., Pineda-Ojeda, T., Sarmiento-López, H. y Basave-Villalobos, E. 2023. XIII Reunión Nacional de Investigación Forestal. Memoria. Chihuahua, Chih. 264-266 pp.

Koide, R.T., Robichaux, R.H., Morse, S.R. and Smith, C.M. 1989. Plant water status, hydraulic resistance and capacitance. In: Pearcy, RW; Ehleringer, JR; Mooney, HA; Rundel PW (eds) Plant Physological Ecology: Field Methods and Instrumentation. Chapman and Hall, London, 161–183 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-009-2221-1_9

Moftah, A.E. and Al-Humaid, A.R.L. 2005. Effects of antitranspirants on wáter relations and photosyntetic rate of cultivate tropical plants (Polianthes tuberosa L.). Polish Journal of Ecology 53(20): 165-175. https://miiz.waw.pl/pliki/article/ar53_2_02.pdf (30 de abril de 2021).

Pineda-Ojeda, T, Flores, A., Estrada-Drouaillet, B., García-Rodríguez, J.L., Flores-Ayala, E. and Buendía-Rodríguez, E. 2022. Supervivencia inicial en tres especies de pino bajo la aplicación de antitranspirantes. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 13 (69): 177-200. DOI: https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i69.1145

Petrie, M.D., Wildeman, A.M., Bradford, J.B., Hubbard, R.M. and Lauenroth, W.K. 2016. A review of precipitation and temperature control on seedling emergence and establishment for ponderosa and lodgepole pine forest regeneration. Forest Ecology and Management. 361:328–338. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.11.028

Salvador, P.V., Ocaña, L. and Peñuelas, J.L. 1997. Efecto de diferentes niveles de endurecimiento por estrés hídrico en el contenido de nutrientes y la resistencia a la desecación de plántulas de Pinus halepensis Mill. In Congresos Forestales.

EFECTO DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL SOBRE EL TAMAÑO DE LA CELDA REAL EN COLMENAS DE ABEJAS MELIFERAS (*Apis mellifera*) EN EL SEMIDESIERTO DEL NORTE DE MÉXICO

Santana-Espinoza S.[1*]; Becerra-López J.L.[2]; Maldonado-Jáquez J.A.[1], Fraire-Galindo K.[2,] Franco Gaytán I.[1], Rosales Serna R.[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental la Laguna. 27440. Matamoros, Coahuila, México. [2]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Cambio Climático y Conservación de Recursos Naturales. 35020 Gómez Palacio, Durango, México. *Autor para correspondencia: santana.saul@inifap.gob.mx

Introducción

La apicultura en México tiene una gran importancia social, económica y ecológica, ya que es una de las principales actividades pecuarias generadora de empleos, ingresos y divisas para los productores rurales (Moritz, 1991). Sin embargo, en los últimos años esta actividad apícola ha presentado una tendencia a la baja debido a diferentes factores que incluyen condiciones sociales (pobreza, desigualdad, conflictos originados por el cambio de uso de suelo), aspectos técnicos (falta de capacitación, baja productividad), factores económicos (acceso a mercados con estándares más exigentes, sistemas de comercialización y competitividad) y elementos ambientales (presencia de ácaros, efectos del cambio climático, deforestación) (Becerril-García y Hernández Cuevas, 2020). Esta situación presenta una mayor relevancia en comunidades ubicadas en ecosistemas ecológicos frágiles, como lo son los entornos áridos de México (Medrano, 2012). En este sentido, el mejoramiento genético de *Apis mellifera* propuesto en este trabajo de investigación representa un apoyo real y efectivo para combatir la baja productividad y rentabilidad apícola en comunidades rurales marginadas de las zonas áridas de los estados de Coahuila, Durango y Zacatecas, fortaleciendo la subsistencia y bienestar de las unidades familiares de estas comunidades. Por lo tanto, la producción de material biológico que sea resistente a parásitos, enfermedades, con una mayor variabilidad genética y que sea adaptado a condiciones climáticas propias de las zonas áridas del norte de México, es el principal. El objetivo fue evaluar si la temperatura ambiental influye en el tamaño de las reinas y el tamaño de las celdas reales, con la finalidad de identificar puntos críticos de atención para el manejo del estrés térmico en colmenas comerciales, en el semidesierto del norte de México.

Materiales y métodos

Ubicación del área de estudio

El estudio se llevó a cabo durante los años 2022 y 2023, en el apiario “Las Carretas” ubicado en el municipio General Simón Bolívar, Durango. Su ubicación geográfica se encuentra entre las coordenadas geográficas: 24°45'45.16" N y -103° 9'58.05" O, a una altitud de 1449 msnm. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificado por García (2004), el clima del área es del tipo BWw, el cual corresponde al tipo de clima desértico o muy árido con lluvias en verano y con temperaturas máximas y mínimas extremas en verano e invierno, respectivamente; la precipitación anual promedio es de 240 mm (García, 2004).

Diseño y conducción experimental. Se seleccionaron, de manera aleatoria, tres reinas progenitoras de *A. mellifera* híbrida carneola-italiana, estas fueron donadoras de larvas. Cada reina se colocó en cámara de cría de manera individual, dándole una fase de 15 días para su estabilización e inicio de puesta de huevo. Posterior a esto, mediante un muestreo aleatorio simple, se sometieron 21 larvas a los tratamientos térmicos de 36°C, 37°C, 38°C, 39°C y el Testigo, respectivamente.

Las larvas fueron expuestas durante tres horas continuas en un periodo de cinco días consecutivos, registrando la cada día de exposición la mortalidad de larvas y/o prepupas. Posterior a los cinco días de exposición, para cada tratamiento térmico y con el apoyo de un Vernier digital Fauorite, se midió el largo de las celdas reales una vez que estas estuvieron completamente selladas. A continuación, para cada tratamiento térmico, las celdas reales fueron colocadas dentro de las colmenas iniciadoras, una vez emergidas las abejas reina fueron enjauladas con un séquito de abejas obreras, se les colocó alimento y agua hasta el cumplimento de su maduración sexual, para finalmente llevar a cabo su medición morfométrica.

Resultados y discusión

Los resultados para el tamaño de las reinas, respecto de la temperatura ambiental no se modifica ($p>0.05$). Estos resultados coinciden con el reporte de Chuda-Mickiewicz & Samborski (2015), quienes no encontraron diferencias en el tamaño de las reinas en celdas incubadas entre 32 y 34.5 °C. No obstante, al incrementar la temperatura ambiental, se observa un efecto ($p<0.05$) sobre el tamaño de las celdas reales (Cuadro 1). Esta información es importante, ya que, bajo las condiciones medioambientales del semidesierto del norte de México, las reinas han desarrollado un mayor tamaño de la celda real, como mecanismo para termo regular la temperatura dentro de las colmenas (Spivak et al., 1992).

Cuadro 1. Medias ± E.E. para tamaño de reina y tamaño de celdas reales en diferentes temperaturas ambientales y por talla de las reinas, en el semidesierto del norte de México.

Tratamiento	Tamaño reina (mm)	Tamaño Celda (mm)
Testigo	16.70 ± 0.30	5.55 ± 0.85^{b}
36 °C	16.17 ± 0.36	5.59 ± 1.03^{b}
38° C	15.88 ± 0.27	7.21 ± 0.77^{ab}
39°C	15.45 ± 0.42	9.88 ± 1.20^{a}
p- Valor	0.0753	0.0209
Talla		
Chica (<15.5 mm)	14.75 ± 0.18^{b}	9.14 ± 0.72^{a}
Grande (>15.5 mm)	16.92 ±0.14^{a}	5.39 ± 0.55^{b}
p-Valor	<0.0001	0.0001

Así mismo, al comparar el tamaño de las reinas y el tamaño de las celdas respecto de la talla de las reinas, se encontraron diferencias ($p<0.05$) de acuerdo al tamaño y al tamaño de la celda real. Sin embargo, para este caso particular, es importante observar como a medida que las reinas son de mayor talla, el tamaño de la celda real tiende a disminuir, del mismo modo, cuando las reinas son de talla chica, el tamaño de la celda tiende a incrementar. Estos resultados son sumamente interesantes, ya que, en términos prácticos, un mayor tamaño de la celda incrementa el espacio disponible para que las crías crezcan, lo cual derivará en un mayor vigor de estas (Chole et al., 2019), tal como se ha señalado en otros estudios (Wei et al., 2019), las reinas necesitan un mayor espacio que las obreras para crecer de manera adecuada.

Cuadro 2. Coeficientes de correlación para temperatura ambiental, tamaño de las reinas y tamaño de las celdas reales, en un ambiente árido en el norte de México.

	Temp. ambiental	Tamaño de Reinas	Tamaño celdas reales
Temp. ambiental	1.00		
Tamaño de Reinas	-0.29*	1.00	
Tamaño celdas reales	0.32**	-0.54**	1.00

* Temp. Ambiental= Temperatura ambiental; *p<0.01; **p<0.0001

La matriz de correlación (Cuadro 2), muestra resultados interesantes y confirman los hallazgos anteriores, en donde una relación significativa pero negativa se observa entre temperatura ambiental con el tamaño de las reinas y el tamaño de las reinas con el tamaño de las celdas reales. Es decir, a medida que una variable incrementa la otra disminuye, esto sugiere que la temperatura tiene un efecto marcado sobre el tamaño de las reinas, pues al incrementar la primera la segunda disminuirá. Esto tal vez se puede atribuir a un mecanismo de adaptación, en donde un menor tamaño requiere de una menor cantidad de energía para mantener un estado de termo neutralidad (Lee, 2019).

Por otra parte, y como ya se señaló anteriormente, a medida que el tamaño de la reina incrementa, el tamaño de la celda real, tenderá a disminuir. Esto pudiera tener efectos negativos en las siguientes generaciones, ya que una menor cantidad de espacio, limitará el crecimiento de la progenie, con un efecto directo en la viabilidad de las crías. Esto se ha descrito de manera parcial en algunos reportes, y donde indican que tanto obreras como Zánganos, son más pesados y viven más cuando se desarrollen a temperaturas más frescas (Szentgyörgyi et al., 2018).

Finalmente, se encontró una relación significativa y positiva entre temperatura ambiental y tamaño de las celdas reales. Es decir, a medida que una incrementa o disminuye la otra variable tendrá el mismo comportamiento. En este sentido, como ya se mencionó con anterioridad, este puede ser un mecanismo que las abejas utilizan para mejorar el flujo de aire y reducir la temperatura en ambientes cálidos, lo cual puede ser indicativo de resiliencia de las reinas para adaptarse de mejor manera a las condiciones de estrés térmico (McAfee et al., 2021).

Conclusiones

Se concluye que la temperatura ambiental juega un papel muy importante en el tamaño de las reinas y el tamaño de las celdas reales. Del mismo modo, la talla de las reinas tiene un efecto muy importante en el tamaño de las celdas reales. Por lo tanto, se deberán considerar estas variables, en términos prácticos para mejorar la viabilidad de la progenie en las colmenas manejadas en condiciones del semidesierto del norte de México.

Referencias

Becerril García, J., & Hernández Cuevas, F. I. (2020). Apicultura: su contribución al ingreso de los hogares rurales del sur de Yucatán. Península, 15(2), 9-29.

Chole H., Woodard S.H., Bloch G. (2019). Body size variation in bees: regulation, mechanisms, and relationship to social organization. Current opinion in Insect Science. 35:77-87. https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.07.006

Chuda-Mickiewicz B., Samborski J. (2015). The quality of honeybee queens from queen cell incubated at different temperatures. Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica. 14(4): 25-32.

Di Rienzo J., Balzarini M., Gonzalez L., Casanoves F., Tablada M., Walter Robledo, C. (2010). Infostat: software para análisis estadístico.

Lee J.C. (2019). What We Can Learn From the Energetic Levels of Insects: A Guide and Review. Annals of the entomological society of America. 112(3): 220-226. https://doi.org/10.1093/aesa/say051

Medrano F. G. (2012). Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Instituto Nacional de Ecología.

McAfee A, Tarpy D.R., Foster L.J. (2021). Queen honeybees exhibit variable resilience to temperature stress. Plos One. 16(8): e0255381. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255381

Spivak M, Zeltzer A, Degrandi-Hoffman G., Martin J.H. (1992). Influence of temperature of rate of development and color patterns of queens honeybees (Hymenoptera: Apidae). Environmental Entomology. 21(2): 364-370. https://doi.org/10.1093/ee/21.2.364

Szentgyörgyi H., Czekonska K., Tofilski A. (2018). Honeybees are larger and live longer after developing at low temperature. Journal of Thermal Biology. 78: 219-226. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.09.007

Wei H, He X, Liao C.H., Wu X.B., Jiang W.J., Zhang B., Zhou L.B., Zhing L.Z., Barron A.B., Zeng Z.J. (2019). A maternal effect on Queen production in honeybees. Current biology. 29(13): 2208-2213. https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.05.059

CLOROFILA TOTAL EN *Lotus corniculatus*: COMPARATIVA ENTRE ECOTIPOS BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD

Luis Ángel Gonzalez-Espíndola[1], María del Rosario Jacobo-Salcedo[2], Aurelio Pedroza-Sandoval[1*]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional de Zonas Áridas. Carr. Gómez Palacio - Cd. Juárez, km 40. C.P. 35230, Bermejillo, Durango, México. [2]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: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Lotus corniculatus, comúnmente conocido como trébol pata de pájaro o loto corniculado, es una planta forrajera de gran importancia debido a su alta capacidad de adaptación a diversas condiciones climáticas y suelos (Ross & Jones, 1985). Este género es particularmente valioso en sistemas agrícolas sostenibles, ya que contribuye a la fijación de nitrógeno, mejora la estructura del suelo y proporciona forraje de calidad para el ganado (Maguire et al., 2020). Sin embargo, las variaciones en la disponibilidad de agua en el suelo pueden afectar considerablemente su desarrollo, particularmente en la síntesis de clorofila, que es esencial para la fotosíntesis y, por ende, para el crecimiento y la productividad de la planta (Xolocotzi-Acoltzi et al., 2024).

La clorofila total es un indicador clave de la eficiencia fotosintética y permite evaluar el impacto del estrés hídrico en las plantas (González-Espíndola et al., 2024). Estudiar cómo los ecotipos de *Lotus corniculatus* responden a distintas condiciones de humedad es esencial para entender su adaptación y optimizar su uso en escenarios de sequía o riego limitado. Se espera que los ecotipos respondan de manera diferente a la disponibilidad de agua, y que uno de ellos presente mayor contenido de clorofila bajo estrés hídrico, lo que reflejaría una mejor adaptación. El objetivo de este estudio es comparar la clorofila total de dos ecotipos de *Lotus corniculatus* en diferentes niveles de humedad para evaluar su adaptación y eficiencia en la producción de pigmentos.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el área experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo en Bermejillo Durango, México de marzo de 2021 a mayo de 2022. Los ecotipos fueron proporcionados por el COLPOS, Montecillos, México. La identificación correspondió a las claves: "255301" y "255305". El diseño experimental fue de bloques al azar con parcelas divididas en tres repeticiones. Las parcelas grandes representaban los dos niveles de humedad (Óptimo:26.5 ± 1 % y Subóptimo: 23 ± 1 %) mientras que las parcelas pequeñas se asignaron a los dos ecotipos. Cada unidad experimental constó de una planta en una maceta con una mezcla de suelo. Durante el experimento se definieron cuatro intervalos de corte en base a los días después del trasplante (160, 240 330 y 410). Los cuales coinciden con las estaciones del año.

La determinación de los pigmentos se realizó según el método descrito por Wellburn (1994). La absorbancia se midió utilizando un espectrofotómetro UV-VIS (Modelo 721, Shanghai Precision & Scientific Instrument Co., Ltd., Shanghai, China). Las concentraciones de clorofila total se expresaron como mg g^{-1} de peso fresco (p.f.). Los datos se analizaron mediante un ANOVA de una vía con una prueba de rango múltiple de Tukey HSD ($P \leq 0.05$) en PASW Statistics for Windows 18.0.0 Chicago, SPSS Inc.

Resultados y discusión

El contenido de clorofila total en el ecotipo 255301 mostró cambios significativos ($p \leq 0.05$) siendo las mayores concentraciones en el contenido de humedad subóptimo durante las temporadas de otoño (279.4 mg g^{-1} P.F), invierno (198.9 mg g^{-1} P.F) y primavera (241.2 mg g^{-1} P.F) (Figura 1). El aumento en la concentración de pigmentos totales bajo condiciones de humedad subóptima sugiere una respuesta adaptativa de las plantas al estrés hídrico. Este incremento podría estar relacionado con mecanismos compensatorios para maximizar la captación de luz y mantener la eficiencia fotosintética en condiciones desfavorables, ayudando a las plantas a sobrevivir y continuar su crecimiento pese a la limitación hídrica (González-Espíndola et al., 2024; Mickky et al., 2018; Sheikh et al., 2017).

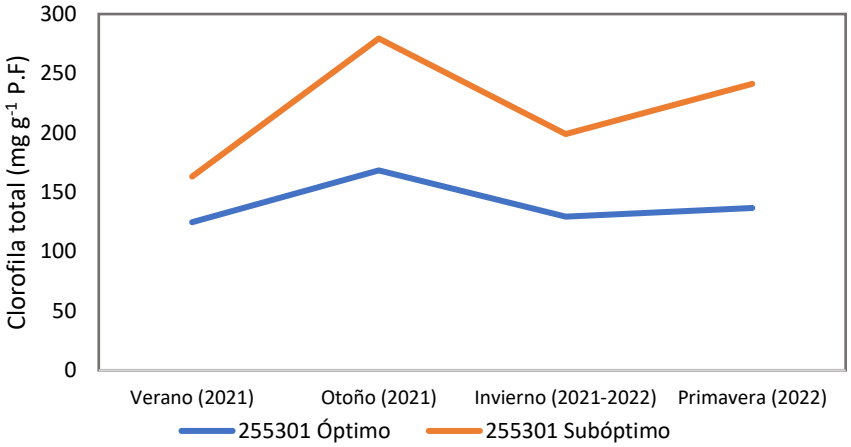


Figura1. Contenido de clorofila total en el ecotipo 255301 de *Lotus corniculatus* a través de las estaciones del año en dos contenidos de humedad en el suelo.

En cambio, la concentración de clorofila total para el ecotipo 255305 careció de diferencias significativas ($p \leq 0,05$) respecto al contenido de humedad en el suelo (Figura 2). Sin embargo, cuando no se observan diferencias en el contenido de pigmentos entre condiciones con o sin agua, puede indicar que la planta posee mecanismos eficientes de tolerancia al estrés hídrico (Inostroza et al., 2015; Martos de la Fuente et al., 2023). Esto sugiere que su sistema fotosintético es capaz de mantener la producción de pigmentos estables, independientemente de la disponibilidad de agua, lo que refleja una capacidad de adaptación que minimiza el impacto del estrés hídrico en su fisiología.

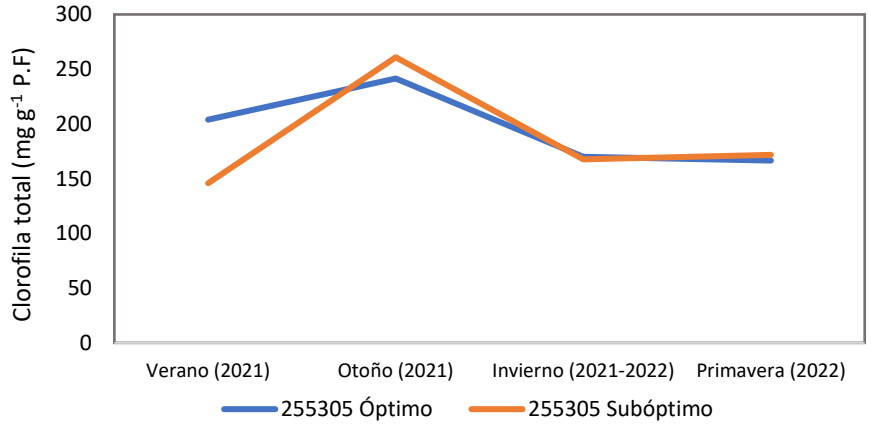


Figura 2. Contenido de clorofila total en el ecotipo 255305 de *Lotus corniculatus* a través de las estaciones del año en dos contenidos de humedad en el suelo.

Conclusiones

Este estudio demuestra que los ecotipos de *Lotus corniculatus* responden de manera diferente a las condiciones de humedad del suelo en términos de contenido de clorofila total. El ecotipo 255301 mostró una mayor concentración de clorofila bajo condiciones de humedad subóptima, lo que sugiere una respuesta adaptativa al estrés hídrico mediante el incremento de pigmentos fotosintéticos. En contraste, el ecotipo 255305 mantuvo concentraciones de clorofila estables independientemente de la disponibilidad de agua, lo que indica una capacidad de tolerancia eficiente al estrés hídrico. Estos resultados son valiosos para seleccionar ecotipos que optimicen la producción en escenarios de riego limitado o condiciones de sequía.

Referencias

González-Espíndola, L. Á., Pedroza-Sandoval, A., Trejo-Calzada, R., Jacobo-Salcedo, M. del R., García de los Santos, G., & Quezada-Rivera, J. J. (2024). Relative Water Content, Chlorophyll Index, and Photosynthetic Pigments on *Lotus corniculatus* L. in Response to Water Deficit. *Plants*, *13*(7), 1–15. https://doi.org/10.3390/plants13070961

Inostroza, L., Acuña, H., & Tapia, G. (2015). Relationships between phenotypic variation in osmotic adjustment, water-use efficiency, and drought tolerance of seven cultivars of *Lotus corniculatus* L. *Chilean Journal of Agricultural Research*, *75*(1), 3–12. https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000100001

Maguire, V., Campestre, P., Antonelli, C., & Ruiz, O. A. (2020). El mejoramiento de especies forrajeras del género *Lotus* spp y su importancia económica y ambiental en los pastizales de la pampa deprimida del Salado (Issue May).

Martos de la Fuente, G. C., Viñegla, B., Illana Rico, E., & Fernández Ocaña, A. M. (2023). Study of the Photosynthesis Response during the Gradual Lack of Water for 14 *Olea europaea* L. subsp europaea Cultivars and Their Adaptation to Climate Change. *Plants*, *12*(24). https://doi.org/10.3390/plants12244136

Mickky, B. M., Abbas, M. A., & El-Shhaby, O. A. (2018). Alterations in photosynthetic capacity and morpho-histological features of leaf in alfalfa plants subjected to water deficit-stress in different soil types. *Indian Journal of Plant Physiology*, *23*(3), 426–443. https://doi.org/10.1007/s40502-018-0383-7

Ross, M. D., & Jones, W. T. (1985). The origin of *Lotus corniculatus*. Theoretical and Applied Genetics, *71*(2), 284–288. https://doi.org/10.1007/BF00252068

Sheikh, A. Q., Pandit, A. K., & Ganai, B. A. (2017). Seasonal Variation in Chlorophyll Content of Some Selected Plant Species of Yousmarg Grassland Ecosystem. *Pelagia Research Library Asian Journal of Plant Science and Research*, *7*(2), 33–36. www.pelagiaresearchlibrary.com

Wellburn, A. R. (1994). The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolutions. *Journal of Plant Physiology*, *144*(3), 307–313. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2

Xolocotzi-Acoltzi, S., Pedroza-Sandoval, A., García-de los Santos, G., Alvarez-Vazquez, P., & Gramillo-Avila, I. (2024). Growth, Productivity, Yield Components and Seasonality of Different Genotypes of Forage Clover *Lotus corniculatus* L. under Varied Soil Moisture Contents. *Plants*, *13*(1407). https://doi.org/https://doi.org/ 10.3390/plants13101407 Academic

MECANISMOS OSMOPROTECTORES EN *Lotus corniculatus*: PROLINA Y GLICINA BETAÍNA FRENTE AL ESTRÉS HÍDRICO

Luis Ángel Gonzalez-Espíndola[1], María del Rosario Jacobo-Salcedo[2], Aurelio Pedroza-Sandoval[1*]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional de Zonas Áridas, Carr. Gómez Palacio-Cd. Juárez, km 40. C.P. 35230, Bermejillo, Durango, México. [2]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: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Lotus corniculatus, también conocido como trébol pata de pájaro, es una leguminosa perenne ampliamente utilizada en la agricultura debido a su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales y su valor como forraje (Álvarez-Vázquez et al., 2018). Sin embargo, como muchas otras especies vegetales, su rendimiento y supervivencia están influenciados por el estrés hídrico, que afecta el contenido relativo de agua (CRA) en las hojas y la acumulación de compuestos osmoprotectores como la prolina y la glicina betaína. Estos compuestos desempeñan un papel crucial en la regulación osmótica y en la protección de las estructuras celulares frente a la deshidratación (Ashraf & Foolad, 2007; Zulfiqar et al., 2020).

La prolina es un aminoácido conocido por su acumulación en las plantas bajo condiciones de estrés hídrico, donde actúa como osmoprotector y antioxidante, ayudando a mantener la estabilidad celular (Alvarez et al., 2022). La glicina betaína, derivada de la glicina, también contribuye a la estabilidad de las membranas celulares y las proteínas en situaciones de baja disponibilidad de agua (Sakamoto & Murata, 2002). Aunque ambos compuestos están implicados en la respuesta de las plantas al estrés hídrico, la naturaleza de su interacción y cómo influencian el CRA en diferentes ecotipos de *L. corniculatus* aún no se comprende completamente.

Bajo el supuesto de que la concentración de prolina y glicina betaína en las hojas de *Lotus corniculatus* responde diferencialmente bajo condiciones de humedad óptima y subóptima. Además, se espera que exista una correlación negativa entre el contenido relativo de agua (CRA) y la concentración de ambos osmoprotectores, sugiriendo que a medida que disminuye el contenido de agua en el suelo, las plantas aumentan la acumulación de prolina y glicina betaína para protegerse del estrés hídrico. Por tanto, el objetivo fue evaluar la interacción entre el contenido relativo de agua (CRA), la concentración de prolina y glicina betaína en ecotipos de *L. corniculatus* bajo dos condiciones de humedad del suelo: óptima y subóptima.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el campo experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo en Bermejillo Durango, México de marzo de 2021 a mayo de 2022. Los ecotipos de *Lotus corniculatus* fueron proporcionados por el COLPOS, Montecillos, México. El diseño experimental fue de bloques al azar con parcelas divididas en tres repeticiones. Las parcelas grandes representaban los dos niveles de humedad (Óptimo: 26.5 ± 1 % y Subóptimo: 23 ± 1 %) mientras que las parcelas pequeñas se asignaron a los ecotipos. Cada unidad experimental constó de una planta en una maceta con una mezcla de suelo.

El contenido relativo de agua de las hojas de *L. corniculatus* se calculó utilizando la fórmula propuesta por Browne et al., (2020) para el cual el peso saturado se registró después sumergir la muestra de tejido en agua destilada durante 24 h. La biomasa seca se obtuvo mediante el secado de la planta en estufa con circulación de aire a 65 °C hasta alcanzar su peso constante. Los resultados se expresan como porcentaje (%) utilizando la siguiente fórmula:

$$CRA= [((PFB – PSB))/(PSB – PBS)] \times 100$$

donde CRA = contenido relativo de agua, PFB = peso fresco de biomasa, PSB = peso seco de biomasa, y PBS = peso de biomasa saturada.

El material vegetal procedente del corte fue lavado con agua corriente y agua destilada. Posteriormente, las hojas frescas sin nervaduras se molieron con N_2 líquido. La conservación se realizó en congelación a -25 ºC (Igloo Products Corp). La cuantificación de prolina se realizó según Bates et al. (1973). El contenido de prolina se calculó con la interpolación en una curva de calibración con solución patrón de prolina (Sigma-Aldrich) [40µM].

La determinación del contenido de glicina-betaína (GB) se realizó acuerdo a la metodología descrita por Grieve & Grattan, (1983). El contenido de glicina se calculó con la interpolación directamente en una curva de calibración con solución patrón de glicina (Sigma-Aldrich) [1 mg mL^{-1}]. La absorbancia se midió utilizando un espectrofotómetro UV-VIS (Modelo 721, Shanghai Precision & Scientific Instrument Co., Ltd., Shanghai, China). Los datos se analizaron mediante un análisis de correlación de Pearson y regresión lineal en Minitab Version 16.2.4 (Minitab, LLC, State College, PA, USA).

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos del proceso experimental que corresponde a los ecotipos de *L. corniculatus* en dos condiciones de humedad en el suelo mostraron correlación significativa entre las variables analizadas. La correlación entre prolina y glicina fue positiva y buena. Mientras que las correlaciones prolina - CRA y glicina - CRA resultaron negativas. Siendo todas ellas estadísticamente significativas (Cuadro 1).

Lo cual sugiere que a mayor CRA la concentración de prolina y glicina disminuyen. Para ello, la respuesta de la glicina aumenta en relación con la disminución del contenido hídrico en las hojas. De acuerdo con el análisis de regresión múltiple la ecuación propuesta es:

$$CRA = 59.4628 – (0.352154 \text{ prolina}) – (66.9135 \text{ glicina}).$$

El aumento en las concentraciones de glicina y prolina puede estar directamente relacionado con un aumento del CRA en las hojas de *L. corniculatus*, ya que ambos aminoácidos contribuyen a la regulación osmótica y a la protección contra la deshidratación (Ashraf & Foolad, 2007; Díaz et al., 2005).

Cuadro 1. Análisis de correlación de Pearson del contenido de glicina, prolina y contenido relativo de agua (CRA) en ecotipos de *Lotus corniculatus*.

	Prolina	Glicina	CRA
Prolina	1		
Glicina	0.511 0.001	1	
CRA	-0.228 0.012	-0.337 0.001	1

La matriz de correlación generada a partir de los datos de glicina, prolina y CRA en ecotipos de *L. corniculatus* en dos contenidos de humedad en el suelo mostraron una distribución lineal en su mayoría (Figura 1). Lo que sugiere una respuesta homogénea de los ecotipos estudiados en la concentración de prolina, glicina y CRA con respecto al contenido de humedad en el suelo.

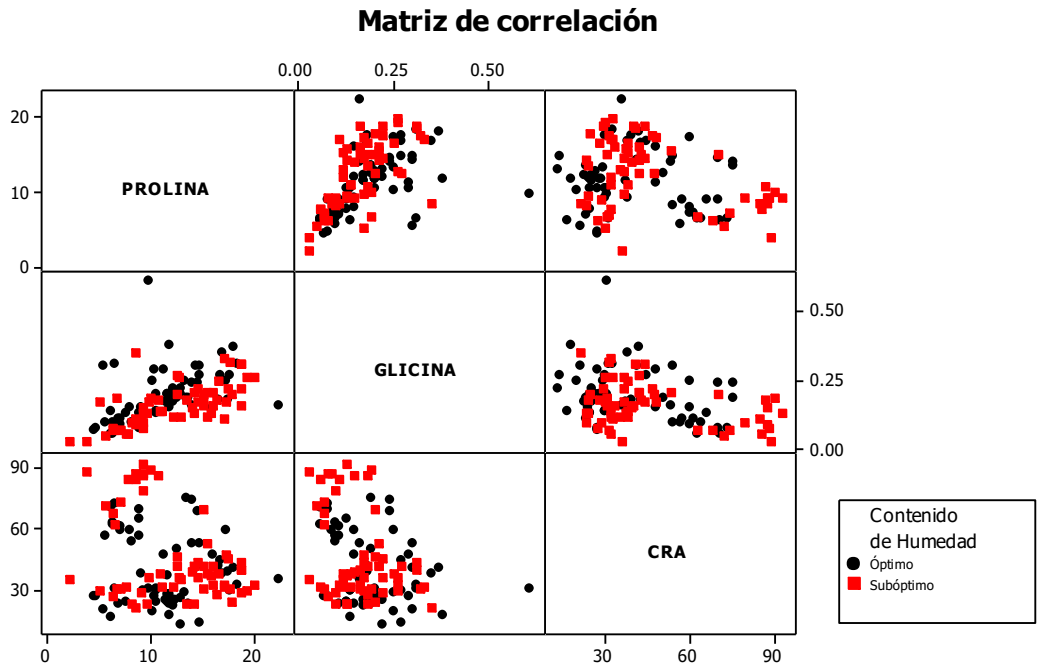


Figura 1. Matriz de correlación de la concentración de prolina, glicina y el contenido relativo de agua (CRA) en ecotipos de *Lotus corniculatus* en dos contenidos de humedad en el suelo (Óptimo : 26.5±1% y Subóptimo: 23±1%).

A partir de las relaciones anteriormente señaladas se generó un análisis de regresión lineal. El objetivo fue determinar el grado de interacción de las variables estudiadas. Dichos resultados se pueden observar en el cuadro 2. La prolina y la glicina (o glicina betaína) no actúan de forma aislada, sino que su interacción resulta en una respuesta osmótica y protectora más robusta. Mientras que la prolina es más generalizada en su función de regulación osmótica y protección antioxidante, la glicina (a través de su derivado) complementa estos efectos al estabilizar componentes clave dentro de la célula durante el estrés hídrico (Ashraf & Foolad, 2007; Farooq et al., 2009; Islam et al., 2021; Zulfiqar et al., 2020).

Cuadro 2. Ecuaciones generadas a partir del análisis de regresión lineal para ecotipos de *L. corniculatus* en dos contenidos de humedad en el suelo (Óptimo : 26.5±1% y Subóptimo: 23±1%).

Ecuaciones de regresión lineal
Prolina = 7.441 - 24.71glicina (R^2= 0.26)
Prolina = 14.02 – 0.04919 CRA (R^2= 0.052)
Glicina = 0.05448 – 0.01057 prolina (R^2= 0.26)
Glicina = 0.2451 – 0.001502 CRA (R^2= 0.11)
CRA = 55.82 – 1.059 prolina (R^2= 0.052)
CRA = 56.84 – 75.61 glicina (R^2= 0.11)

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio confirman que la concentración de prolina y glicina betaína en las hojas de *Lotus corniculatus* responde de manera diferencial bajo condiciones de humedad óptima y subóptima. Se observó una correlación significativa y negativa entre el contenido relativo de agua (CRA) y la concentración de ambos osmoprotectores, lo que indica que, a medida que disminuye el contenido de agua en el suelo, las plantas tienden a acumular más prolina y glicina betaína para mitigar los efectos del estrés hídrico.

Este mecanismo de acumulación de osmoprotectores sugiere que *L. corniculatus* emplea una estrategia eficaz de regulación osmótica para mantener su viabilidad en condiciones subóptimas de humedad, lo que puede ser clave para su adaptación en regiones áridas o semiáridas. Además, el análisis de regresión y la correlación entre las variables estudiadas proporcionaron una base sólida para entender la interacción entre el CRA y los niveles de estos compuestos bajo estrés hídrico, resaltando el papel crucial de la prolina y la glicina betaína en la tolerancia de esta especie a la sequía.

Referencias

Álvarez-Vázquez, P., Hernández-Garay, A., García-de los Santos, G., Guerrero-Rodríguez, J. D., Mendoza-Pedroza, S. I., Ortega-Cerrilla, M. E., Rojas-García, A. R., & Wilson-García, C. Y. (2018). Potencial forrajero de Lotus corniculatus L. con diferentes estrategias de manejo. *Agropoductividad*, *11*(July), 24–28.

Alvarez, M. E., Savouré, A., & Szabados, L. (2022). Proline metabolism as regulatory hub. *Trends in Plant Science*, *27*(1), 39–55. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.07.009

Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, *59*(2), 206–216. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant an Soil*, *39*, 205–207.

Browne, M., Yardimci, N. T., Scoffoni, C., Jarrahi, M., & Sack, L. (2020). Prediction of leaf water potential and relative water content using terahertz radiation spectroscopy. *Plant Direct*, *4*(4), 1–16. https://doi.org/10.1002/pld3.197

Díaz, P., Borsani, O., Márquez, A., & Monza, J. (2005). Osmotically induced proline accumulation in Lotus corniculatus leaves is affected by light and nitrogen source. *Plant Growth Regulation*, *46*(3), 223–232. https://doi.org/10.1007/s10725-005-0860-7

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Sustainable Agriculture*, 153–188. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_12

Grieve, C. M., & Grattan, S. R. (1983). Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant and Soil*, *70*(2), 303–307. https://doi.org/10.1007/BF02374789

Islam, S., Parrey, Z. A., Shah, S. H., & Mohammad, F. (2021). Glycine betaine mediated changes in growth, photosynthetic efficiency, antioxidant system, yield and quality of mustard. *Scientia Horticulturae*, *285*(March), 110170. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110170

Sakamoto, A., & Murata, N. (2002). The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: Clues from transgenic plants. *Plant, Cell and Environment*, *25*(2), 163–171. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00790.x

Zulfiqar, F., Akram, N. A., & Ashraf, M. (2020). Osmoprotection in plants under abiotic stresses: new insights into a classical phenomenon. *Planta*, *251*(1). https://doi.org/10.1007/s00425-019-03293-1

RENDIMIENTO DE FRIJOL RARAMURÍ EN SIEMBRA A HILERA SENCILLA Y CAMAS MEDIANTE RIEGO POR GOTEO

Nadiezhda Ramírez-Cabral[1]*, Ángel Cid-Ríos[1], Leonardo Moreno-Rodríguez[2], Ricardo Sánchez-Gutiérrez[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Región Norte-Centro. Campo Experimental Zacatecas. [2]Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Agronomía. Alumno Licenciatura en Desarrollo Regional Sustentable. *Autor de correspondencia: ramirez.nadiezhda@inifap.gob.mx

Introducción

Zacatecas es de los principales productores de frijol, y aunque, mayormente, se siembra en condiciones de temporal, también se realizan siembras de riego en superficies grandes. Esta leguminosa es de gran importancia para consumo humano, debido a sus propiedades nutritivas, alto contenido proteico y sus características nutracéuticas. El frijol se encuentra distribuido en los cinco continentes abarcando áreas con climas diversos. Esta leguminosa constituye un grano básico en varios países en vías de desarrollo, siendo consumido de manera diaria (Ulloa et al., 2011).

En el estado de Zacatecas, los principales problemas a los que se enfrenta el cultivo es la falta de agua, incluso bajo condiciones de riego, esto debido a que el nivel de agua disponible en los pozos es bajo, no se tiene un suministro adecuado y el uso es ineficiente, además se debe recordar que el 75 % del agua disponible se utiliza para uso urbano, dejando poca agua para la producción de cultivos (Molden et al., 2001). Por lo que es necesario buscar tecnologías y modernización en los procesos de producción del cultivo de frijol bajo condiciones de riego, mismas que permitan incrementar la rentabilidad del cultivo y hacer un uso eficiente del recurso agua.

Otro de los problemas importantes en la producción de frijol son la escasa utilización de variedades mejoradas pues la mayoría de los productores utiliza semilla criolla que carece de buen potencial genético para competir en productividad. Una alternativa para incrementar la producción es la utilización de siembra de frijol en camas, esta tecnología ha sido probada en repetidas ocasiones, produce eficiencia del agua utilizada y el resultado es un incremento en los rendimientos (Cid et al., 2021). En el frijol, como en los demás cultivos, el manejo agronómico adecuado, uso eficiente del agua y la semilla mejorada, son algunos de los componentes tecnológicos que ayudan a incrementar el rendimiento, lo que permite una mejora en la productividad y competitividad de este cultivo con el fin de reducir los riesgos, costos de producción e incrementar la ganancia para el agricultor (Ayala et al., 2008; Salinas y Rodríguez 2008).

En México, existe una gran diversidad de genotipos de frijol tanto generados como nativos, siendo el segundo cultivo básico de importancia, solo por debajo del maíz. La diversidad de materiales criollos, permite seleccionar a los más tolerantes a diversos factores bióticos y abióticos que limitan la producción, como plagas, enfermedades o estrés por calor, sequía, esto con el fin de incrementar la productividad del cultivo y por ende la calidad de vida de los agricultores (Garcés et al., 2013).

Tal como se mencionó en un principio, aun cuando en el país el frijol es sembrado, principalmente, en condiciones de temporal, la superficie que se siembra en riego es de suma importancia por los rendimientos obtenidos. En el año 2022, la superficie a nivel nacional para frijol de riego fue de, aproximadamente, 180 000 ha con un rendimiento promedio de 1.79 ton/ha, y un valor de producción de $5,8985,516 mxn; comparado con la superficie de riego que fue 1,292,549 ha, con un rendimiento promedio de 0.51 ton/ha y un valor de la producción de $11,088,462 mxn; es decir, que con un 14% de la superficie de riego se obtuvo casi la mitad del valor de la producción de temporal (SIAP, 2024). Por lo tanto, para contribuir en la optimización de los recursos, suelo, agua, fertilizante se debe de buscar la tecnificación de las siembras de riego para incrementar la rentabilidad del cultivo en este sistema y hacer un mejor uso del recurso agua. La presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar la respuesta de rendimiento de la variedad Pinto Rarámuri, con hábito de crecimiento indeterminado postrado, en dos diferentes sistemas de siembra cada uno con diferentes densidades de plantas y distanciamiento entre surcos.

Materiales y Métodos

Las parcelas experimentales se establecieron en el Campo Experimental Zacatecas INIFAP, durante el ciclo primavera-verano en 2021. Se evaluaron dos métodos de siembra: a) Siembra en hileras sencillas o siembra convencional separadas a 0.76 m y 10 cm entre plantas, con una densidad de 131 mil plantas ha^{-1}, donde se colocó una cinta regante por surco, de calibre 6 mil de alto flujo. b) Siembra en cama de 1.52 m con cuatro hileras, con separación de 0.30 cm entre hileras, y 10 cm entre plantas, con una densidad de una densidad de 260 mil plantas por ha^{-1}, donde se colocaron dos cintas regantes por cama con distanciamiento de 60 cm. El material vegetal utilizado fue la variedad de frijol Pinto Rarámuri la cual presenta un efecto neutral al fotoperiodo en fechas tempranas, con hábito de crecimiento postrado y grano de tamaño medio alargado, con prolongada vida de anaquel; es decir, después de cosechado, su grano no se oxida a la misma velocidad que variedades similares de tipo pinto. Es tolerante a enfermedades que se presentan en la región del altiplano semiárido de México (Cruz et al., 2021).

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron muestreos de crecimiento a los 57, 65, 72, 89, y 96 dds donde se registraron las variables de altura (cm), longitud de guía (cm), y el número de vainas, trifolios y flores, en ambos sistemas de siembra (datos no mostrados). Al finalizar el ciclo se obtuvieron los componentes de rendimiento como peso de 100 semillas (gramos) y el rendimiento obtenido (gramos), de cada sistema de siembra. Durante el ciclo de cultivo se presentó un buen temporal, por lo que sólo fue posible deshierbar el sistema de hilera sencilla. La siembra se realizó en condiciones de riego con suelo húmedo el 24 de mayo de 2021. Durante el ciclo del cultivo solo se aplicaron tres riegos, el primero para garantizar la germinación, el segundo en la etapa de floración y el último en llenado de grano, donde la duración de los riegos fue de siete horas. Para analizar los resultados obtenidos se empleó un ANOVA, la prueba de medias mediante y el rango múltiple Duncan (α=0.05). Los resultados obtenidos se analizaron mediante el programa estadístico SAS 9.0.

Resultados y Discusión

Previo a la siembra el día 24 de mayo se presentaron 0.6 mm de precipitación, los cuales fueron aprovechados para el establecimiento del cultivo, durante el ciclo del cultivo se presentaron 583.4 mm de lluvia en total, distribuidos en 298.8 mm en la etapa vegetativa, en la etapa reproductiva 115.8 mm y en la etapa de llenado de grano 168.8 mm. Medina et al., (2003) proponen para frijol de riego cinco aplicaciones, riegos, el primero para presiembra, un segundo un mes después de haber establecido el cultivo, posteriormente, al comenzar la floración, luego en la etapa crítica del comienzo del llenado de grano y un último para asegurar un llenado óptimo de la vaina. El

experimento que se estableció, no requirió de todos estos riegos debido a que la precipitación durante el ciclo de cultivo fue suficiente para complementar los requisitos de agua del cultivo.

En el análisis de varianza para el número de granos totales por planta se encontraron diferencias significativas (cuadro 1). Al realizar la comparación de medias por el método de Duncan α=0.05, se muestra que el sistema de siembra en 4 hileras logró tener mayor número de granos por planta con 21.30 granos comparados con los 16.43 granos que se registraron en el sistema de hilera sencilla. También se pudo confirmar lo señalado por Osuna et al., (2012) quienes señalan que, aunque se tenga alta densidad de siembra esto no afecta la fisiología de la planta, así como, el número de granos por vaina. El número de granos por vaina es un indicador que en el sistema de siembra en camas se puede obtener mayor rendimiento, aun cuando el peso total de grano fue menor en esta investigación, en resultados de investigaciones anteriores la siembra en el sistema de camas, cuando se han realizado las plantaciones en igualdad de condiciones, ha sido mayor en rendimientos, por lo que se considera una alternativa viable para obtener mayores rendimientos (Osuna et al., 2012; Cid et al., 2022).

Cuadro 1. Componentes de rendimiento de variedad Pinto Rarámuri en dos arreglos de siembra.

Sistema siembra	*P100s (g)*	*# de Vainas*	*# de Granos*	*Peso total grano*
Hilera Sencilla	34.33a	20.50a	16.43b	0.023a
4 hilos	37.33a	10.87b	21.30a	0.011b
Coeficiente de Variación	18.268	3.20	2.40	4.30

* Nota: Medias con la misma letra son estadísticamente iguales

Al realizar el análisis de varianza para peso de grano se encontraron diferencias, altamente, significativas (P=0.001). En la comparación de medias el sistema de siembra de hilera sencilla logró mayor peso de grano con un peso de 23g mientras que en hilera sencilla se obtuvo un peso de 11g. Esto se puede atribuir a que las plantas de hilera sencilla presentaron menores problemas de maleza, permitiéndoles dirigir su energía al llenado de grano. El sistema de camas no pudo deshierbarse en ninguna ocasión por la alta densidad de plantas, y la precipitación copiosa que se presentó durante el ciclo de cultivo, por lo que resultó imposible entrar al terreno donde se había establecido el sistema de camas para deshierbarlo, disminuyendo sus rendimientos en manera considerable tal como mencionan algunos autores que encontraron que la maleza en casos extremos puede terminar con el cultivo, incrementando los costos de producción al tener que resembrar, o simplemente, reduciendo los rendimientos del cultivo drásticamente (Rodríguez et al., 2013, Delgado et al., 2020).

Los resultados de esta investigación difieren en cuanto al rendimiento con Osuna et al., (2013) donde encontraron diferencias estadísticas entre distintos métodos de siembra, surcos a hilera sencilla y camas de tres y seis hileras, y donde el mayor rendimiento se obtuvo con los sistemas de siembra de camas concluyendo que cuando la distancia entre líneas es menor y se incrementa la densidad de siembra se obtienen mayores rendimientos al capturar mayor energía, impedir el desarrollo de malezas que compiten con el cultivo y la reducción de la pérdida de agua por evapotranspiración directa. Sin embargo, lo encontrado en este trabajo fue que los mayores rendimientos se obtuvieron en el sistema de hilera sencillo, lo cual pudo ocurrir por la falta de deshierbes, ya que sólo la hilera sencilla pudo ser deshierbada en una ocasión y el sistema de camas no pudo ser deshierbado, debido a las lluvias continuas que impidieron entrar a la parcela para dar el mantenimiento óptimo al cultivo en ambos sistemas de siembra, por lo tanto, no se pudo actuar a tiempo para eliminar la maleza.

Coincidiendo con los datos de Mondragón y Serrano (2018), quienes señalan que el control de malezas es indispensable en las primeras etapas de desarrollo del cultivo de frijol, debido a que si no se logran controlar podrían generar una reducción del rendimiento de frijol hasta del 80 %. Esto coincide con los datos de rendimiento que proporciona Cruz et al., (2021), señalando que, experimentalmente, Pinto Rarámuri puede producir de 700 a 1,500 kg/ha y en condiciones de riego de 2,500 a 3,000 ton/ha.

Conclusión

La fisiología del frijol no se vio afectada por los diferentes sistemas de siembra. Un dato importante es que en el sistema de siembra de alta densidad (camas) el rendimiento fue menor que en el sistema tradicional, lo cual es atribuido a la incidencia de maleza, que fue lo que afectó considerablemente el rendimiento por hectárea.

Por lo anterior, se recomienda realizar más investigaciones donde se realicen las prácticas culturales necesarias para el cultivo y verificar la tendencia de la siembra de frijol en camas respecto al sistema de una hilera. Además de verificar el comportamiento de la variedad libre de malezas. Esto para poder realizar recordaciones de innovaciones tecnológicas apropiadas para condiciones de riego por goteo con la variedad Pinto Rarámuri.

Referencias

Ayala G., A. V.; Schwentesius R., R.; Gómez C., M. A.; Almaguer V., G. 2008. Competitividad del frijol mexicano frente al de Estados Unidos en un contexto de liberación comercial. Región y Sociedad, 20:37-62

Cid R., J. A.; Reveles H., M.; Ramírez-Cabral., N. Y. Z.; Velásquez V., R. y Sánchez G., R. A. 2021. Arreglos topológicos y densidades de siembra en el cultivo de frijol de riego en Zacatecas. Folleto Técnico Núm. 110. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC – INIFAP, 24 p

Cid R., J. A.; Velásquez V., R.; Reveles H., M.; Ramírez-Cabral., N. Y. Z. y Sánchez G., R. A. 2022. Sistemas de siembra recomendados para frijol bajo temporal en Zacatecas. Folleto para Productores Núm. 44. CIRNOC-INIFAP-Campo Experimental Zacatecas. 22 p.

Cruz E., J.A. Acosta G., L. Reyes., M y Cueto W., J. A. 2021. Variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) del INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Oficinas Centrales. Ciudad de México. México. Libro Técnico No. 2, 98 p

Delgado C., J. C., Sánchez P., J. I., Hernández M., M. A.,y Delgado T., J. C. 2020. Malezas asociadas al cultivo de frijol en Zacatecas y Durango, México. Sociedad Mexicana de la Ciencia de la Maleza. 1:28-31

Garces F., F. R. y Vera a., A. M. 2014. Enfermedades y componentes de rendimiento en líneas de fréjol bajo tres densidades de siembra. Agronomía Mesoamericana. 25: 169-180

Medina G., G., Cabañas C., B., Ruiz C., J. A., Madero T., J., Rubio D., S., Rumayor R., A., Luna-F., M., Gallegos V., C., Gutiérrez S., R. y Bravo L., A. G. 2003. Potencial productivo de especies agrícolas en el estado de Zacatecas. INIFAP. CIRNOC-CEZAC. Libro técnico no. 2.

Molden, D., Upali, A. and Intizar, H. 2001. Water for rural development: Background paper on water for rural development prepared for the World Bank. Working paper 32. Colombo: International Water Management Institute

Mondragon P., G. y Serrano C., L. M. 2018. Manejo de malezas en el cultivo de frijol en el centro de México. Agroproductividad. 27-30.

Osuna C., E. S., Padilla R., J. S., Reyes M., L., Rosales S., R., y Acosta G., J. A. 2013. Efectos del sistema de siembra sobre el rendimiento de 10 variedades de frijol de temporal en Aguascalientes. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 2: 51-56

Osuna C., E. S., Reyes M., L., Padilla R., J. S., y Martínez G., M. A. 2012. Rendimiento de frijol Pinto Saltillo en altas densidades de población bajo temporal. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 3: 1389-1400

Rodríguez R., Y.; Paredes R., E.; Gutiérrez A., J. E; y Aulán R., N. Principales arvenses en el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) en áreas de producción de las provincias cubanas de Artemisa y Mayabeque. Fitosanidad, 17: 139-144

Salinas P., R. A. y Rodríguez. C., F. G. 2008. Impacto del mejoramiento genético de frijol en Sinaloa variedad - azufrado Higuerall. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Trabajo para Concurso Tecno-Agro 2008. 12p

SIAP. Servicio de Información Agrolimentaria y Pesquera. 2024. Consultado en línea: https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/. Junio 2024

Ulloa J., A., Rosas U., P., Ramírez R., J. C., y Ulloa R., B. E. 2011. El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. Repositorio Institucional Aramara. 3: 5-8

COMPARACIÓN DE OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS DE UNA ESTACIÓN CLIMÁTICA CONVENCIONAL Y UNA AUTOMÁTICA

Nadiezhda Ramírez-Cabral*, José Israel Casas-Flores, Ricardo Alonso Sánchez-Gutiérrez

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Zacatecas. Carr. Zacatecas - Fresnillo m. 24.5 CP. 98500. *Autor de correspondencia: ramirez.nadiezhda@inifap.gob.mx

Introducción

El clima influye en gran medida en la adaptación, distribución y productividad de los seres vivos. Y la agricultura, no es la excepción, en particular, la agricultura de temporal, la cual es, altamente, influenciada por variables meteorológicas como precipitación y temperaturas. Eventos como lluvias torrenciales, sequías, granizos, heladas, vientos fuertes, aparición de plagas y enfermedades (también condicionada por factores climáticos), entre otros serán factores determinantes de la producción de cosechas. Un año con temperaturas adecuadas y una buena precipitación producirá una cosecha satisfactoria; un año con sequía y altas temperaturas terminará con los cultivos o dará rendimientos muy bajos (Medina et al., 2008).

Hoy en día es posible medir las variables climáticas con estaciones meteorológicas. Las estaciones meteorológicas pueden ser convencionales o automáticas. En las estaciones meteorológicas convencionales (EMC) un observador meteorológico (el cual fue capacitado, previamente) realiza las mediciones de la temperatura del aire, la precipitación, evaporación, dirección y velocidad del viento, entre otras variables. Este observador toma los datos todos los días a una hora determinada (datos diarios), preferentemente, por la mañana, y lleva anotaciones de estos; pudiera ser que también se encargue del mantenimiento de las estaciones. Por el otro lado, una estación meteorológica automatizada (EMA), no depende de que una persona esté tomando los datos diariamente, ya que la EMA es una estructura o dispositivo que tiene sensores que responden a estímulos electrónicos, con la capacidad de registrar y colectar las variables climáticas automáticamente, los datos pueden tomarse a diferentes intervalos de tiempo, siendo el más corto cada 15 minutos, es decir que al día se podrían registrar 96 mediciones de las diferentes variables climáticas. La información se envía por medio de señales de radio a algún servidor donde se recopilan y analizan los datos. Se podría decir que la mayor desventaja de las EMC es el posible error al involucrar el factor humano en la toma de datos, y la desventaja de las EMA el costo, aunque cada día el costo se reduce (Medina et al., 2008).

En México, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), tradicionalmente, había utilizado EMC, aunque el uso de EMA va en aumento, al final del año 2004 contaba con 94 EMA, aumentando a 133 para el 2010. En la actualidad, tiene información de cerca de 5,400 EMA, de las cuáles 2,800 siguen activas. Por otro lado, el INIFAP también cuenta con una red de estaciones meteorológicas automatizadas, distribuidas a lo largo del país, en el 2008 se tenía un registro de 667 (Lira, 2010). La organización meteorológica mundial aconseja mantener funcionando de manera paralela EMC y EMA, simultáneamente (WMO, 1993). Además de esto, es importante conocer que tanto difieren los datos de las EMC con los de las EMA, para poder contar con una buena serie de tiempo de datos, es decir fusionar los datos de las EMC que cuentan con periodos más antiguos de tiempo con las EMA, que son las utilizadas, actualmente. Es por ello que el objetivo del presente trabajo es comparar los datos de tres variables meteorológicas obtenidas durante el periodo 2002 al 2022 en una estación meteorológica convencional y una automática.

Materiales y métodos

Zacatecas cuenta con una red de monitoreo agroclimático que consta de 38 EMA distribuidas en las principales zonas agrícolas del estado. Cada estación está equipada con sensores para medir las variables de temperatura del aire, humedad relativa, precipitación, dirección y velocidad del viento, radiación solar y humedad de la hoja. La medición de las condiciones del estado del tiempo se realiza cada 15 minutos y los datos son transmitidos a la base central en el Campo Experimental Zacatecas (CEZAC) (Medina, 2016). Una de las estaciones automáticas de la red se encuentra ubicada en CEZAC, establecida en el 2002; conjuntamente, se encuentra ubicada una EMC, en la misma área, la cual fue establecida en el año 1973, y de la cual se continúan tomando datos a la fecha.

Se obtuvieron datos del periodo 2002 al 2022 de las estaciones convencionales y automáticas ubicadas en el CEZAC. Creando BD con datos diarios de las variables de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación. Estos datos fueron revisados para evaluar la calidad de los mismos. La temperatura media se obtuvo sumando la temperatura máxima más la mínima y dividiendo entre dos. Posteriormente, se obtuvieron datos anuales de estas variables, para ello se obtuvo el promedio de las variables de temperatura por año, en cuanto a la precipitación se obtuvo la suma de los milímetros llovidos durante el año. Al final se graficaron estos datos para observar las posibles diferencias (Gráfica 1). Además, se obtuvieron las diferencias relativas absolutas de las variables relacionadas con temperatura y precipitación (Cuadro 1).

Resultados y discusión

Se observó la misma tendencia de comportamiento de las cuatro variables climáticas, siendo la temperatura mínima y la precipitación las variables que más se conservaron tanto en la EMC y la EMA. En cuanto a la temperatura máxima, se observa una subestimación de temperatura del año 2002 al 2009, convirtiéndose en una subestimación del 2010 al 2022. Este mismo patrón se visualiza en la temperatura media. En cuanto a la temperatura mínima y la precipitación no se observan diferencias importantes en las gráficas (Gráfica 1).

En un estudio anterior realizaron una comparación diaria, mensual y anual de la temperatura del aire y la precipitación durante el periodo de un año, con dos estaciones automáticas y una convencional usando estimadores de parámetros estadísticos, encontrando resultados similares entre las estaciones, sin embargo, los valores acumulados anuales y extremos de precipitación fueron los que mostraron mayores diferencias, concordando estos resultados con los encontrados en este trabajo (Gattinoni et al., 2011).

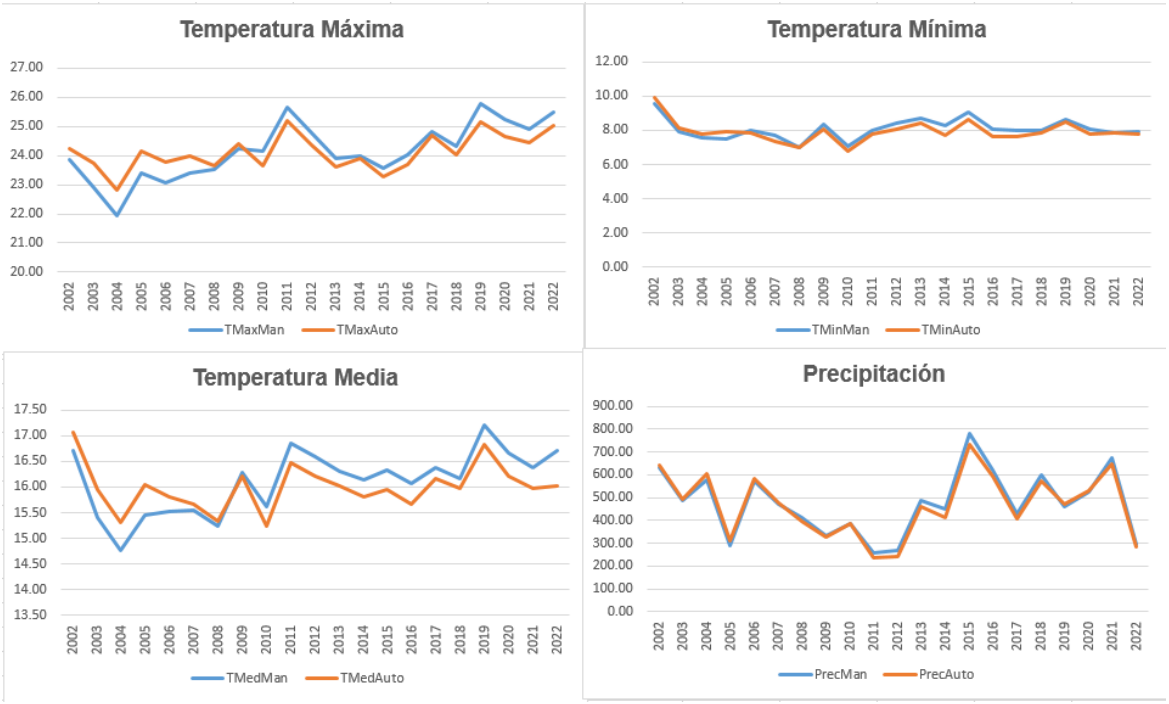


Figura 1. Comparación anual de los datos obtenidos de temperatura máxima, mínima, media y precipitación en las EMC y EMA durante el periodo 2002 al 2022.

En cuanto a las diferencias absolutas, la temperatura máxima mostró los mayores valores del 2003 al 2004 y los menores en el 2014 y en el 2017. Para la temperatura mínima en los años 2014, 2015 y 2016 se observaron las mayores diferencias y las menores en el 2008 y 2021. En la temperatura media la mayor diferencia absoluta fue en el año 2022 y la menor en el 2009. Finalmente, en cuanto a la precipitación en el año 2015 hubo 50 mm de diferencia registrados, y en el año 2009 sólo 0.6 mm de diferencia (Cuadro 1).

En otro estudio realizado por Arteaga y colaboradores en el 2017, se compararon datos de temperatura máxima, mínima, así como de humedad relativa máxima y mínima, durante el periodo de enero 2004 a junio, 2013, en una estación convencional y una automática, donde sus resultados mostraron que las variables de temperatura máxima y mínima no mostraban diferencias y podían ser usadas de manera indistinta. Si bien nuestros resultados muestran tendencias similares para estos datos, difieren al mostrar diferencias absolutas, sin embargo, esto podría ser por la diferencia en métodos, ya que nosotros usamos datos anuales y Artega et al., (2017) datos diarios.

Cuadro 1. Diferencias absolutas obtenidas de la comparación de una estación meteorológica convencional y una automática durante el periodo 2002 – 2022 de las variables temperatura máxima, mínima, media y precipitación.

Año	Diferencia Absoluta			
	TITEIX	Tlrin	Tnin	Pree
2002	0.36	0.37	0.37	10.5
2003	0.84	0.28	0.56	5.9
2004	0.87	0.20	0.54	28.8
2005	0.74	0.42	0.58	22.3
2006	0.71	0.12	0.29	8.5
2007	0.59	0.33	0.13	8.6
2008	0.15	0.03	0.09	14.4
2009	0.17	0.27	0.05	0.6
2010	0.49	0.28	0.39	1.7
2011	0.49	0.24	0.36	20.0
2012	0.43	0.33	0.38	28.8
2013	0.31	0.27	0.29	26.9
2014	0.09	0.55	0.32	36.6
2015	0.28	0.49	0.38	50.0
2016	0.33	0.48	0.40	26.7
2017	0.10	0.34	0.22	24.3
2018	0.28	0.12	0.20	26.7
2019	0.66	0.13	0.39	7.3
2020	0.59	0.28	0.44	3.3
2021	0.46	0.04	0.41	24.9
2022	0.46	0.11	0.68	10.1

Conclusión

Aún, cuando los datos obtenidos de las estaciones climáticas convencionales y automáticas siguen las mismas tendencias, existen diferencias de entre los datos obtenidos. Lo anterior se puede explicar porque en principio las estaciones convencionales son datos obtenidos cada 24 horas y al ser tomados los datos por un observador se puede incrementar el error.

Se necesita realizar un análisis diario, estaciones del año o estaciones agrícolas para conocer variaciones más reales entre estos dos tipos de estaciones, y así poder aplicar algún tipo de corrección y crear bases de datos históricas más confiables.

Referencias

Arteaga R. R., Cervantes O. R., Vázquez P. M. A., y Ojeda B. W. 2017. Estación meteorológica convencional versus automática sus diferencias evaluadas con índices estadísticos Chapingo, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *8*(6), 1301-1314.

Gattinoni, N., Boca, T., Rebella, C., y Bella, C. D. 2011. Comparison of meteorological observations obtained from conventional and automatic stations from the estimation of statistical parameters. RIA. Argentina. Vol. 37. No. 1

Lira R. C., 2010. Estaciones climatológicas en Google Earth. Manual de Usuario. C.N.A, S.M.N.

Medina G., G., Grageda G., J., Ruiz C., J. A. y Báez G., A. D. 2008. Uso de las estaciones meteorológicas en la agricultura. INIFAP-CIRNOC. Campo Experimental Zacatecas. Folleto informativo núm. 50

Medina G., G. 2016. Red de Monitoreo Agroclimático del Estado de Zacatecas. INIFAP-CIRNOC. Campo Experimental Zacatecas. Desplegable informativa Núm. 15

WMO. World Meteorological Organization. 1993. Guide on the global data processing system (305) Genova

RESPUESTAS FISIOLÓGICAS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) CULTIVADO EN MALLA SOMBRA CON FERTILIZACIÓN ORGÁNICA E INORGÁNICA.

J. Emmanuel Zamora-Solano, Emeterio Hernández-Juárez, Ricardo Trejo-Calzada*

Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Km. 40, Carretera Gómez Palacio, Chihuahua, México, C.P. 35230. *Autor de correspondencia: rtrejo@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es originario de América del Sur, procedente de las regiones montañosas de Ecuador, Perú y Chile, y ampliamente producido por todo el mundo. Las respuestas fisiológicas en el cultivo de tomate dependen de distintos factores tanto bióticos como abióticos. Cuando su cultivo se produce en condiciones de invernadero o malla sombra, el crecimiento, producción de flores, rendimiento y calidad puede ser diferente a las observadas cuando es establecido a campo abierto a causa de las diferentes temperaturas y humedad relativa, entre otros factores ambientales. Así mismo, el manejo del cultivo como podas o fertilización ocasionan que las plantas respondan de manera diferente (Escobar & Lee, 2009).
La fotosíntesis es un proceso esencial en las plantas y constituye la principal fuente de energía para todos los organismos vivos (Dong et al., 2024). Este proceso se encuentra relacionado con el aprovechamiento del dióxido de carbono y agua en compuestos que la planta utiliza en sus distintos procesos fenológicos y fisiológicos. La velocidad de la fotosíntesis depende de la intensidad lumínica, temperatura y la cantidad de CO_2 presente en el ambiente, sin pasar por alto que existen otros factores ambientales que repercuten en este proceso (Vargas et al., 2012). Por otra parte, la eficiencia en el uso del agua en sistemas agrícolas es una prioridad crucial debido a su gran impacto por el volumen total del agua utilizada en la agricultura. Sin embargo, en el sector agrícola, impulsada por las demandas del mercado, debe garantizar rendimientos mínimos para hacer sostenible, lo que hace que el riego sea cada vez más esencial para lograr una producción de cultivos más constante y predecible (Medrano et al., 2007). Medir la eficiencia en el uso del agua a nivel foliar tiene un gran valor experimental, uno de los principales motivos para considerar es que ofrece un parámetro relativamente fácil de medir, que puede ser representativo de la eficiencia hídrica a nivel de toda la planta. En relación con esto, se han desarrollado dos técnicas principales para su medición: el intercambio de gases, que abarca con un periodo de tiempo corto, y el análisis de la discriminación isotópica del carbono que cubre un periodo de tiempo más prolongado (Medrano et al., 2007). El objetivo de esta investigación fue comparar las respuestas fisiológicas de tomate cv King F1 de crecimiento indeterminado cultivado en condiciones de malla sombra con tres fuentes de fertilización

Materiales y métodos

El experimento se estableció el 23 de marzo de 2024 en una malla sombra con una superficie de 250 m^2 de área cultivable ubicada en la Unidad Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango (25° 53’ 46’’ N, 103° 35’ 02’’ O; elevación 1,110 msnm). Las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv King F1 fueron sembradas en charolas de poliuretano y a los 48 días de la siembra fueron trasplantadas en camas de 100 cm de ancho y 45 cm de distancia entre plantas a doble hilera en tresbolillo en una longitud total de 14 m en condiciones de malla sombra.

El experimento se estableció en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones donde el factor variable fue la fuente de fertilización: testigo (sin fertilización), el tratamiento 1 (Biol-Supermagro) elaborado de acuerdo con las recomendaciones de Restrepo & Hensel (2009), tratamiento 2 (Humiforte) y tratamiento 3 fue una solución nutritiva elaborada con sales inorgánicas para un total de 47.4 meq L^{-1} de aniones y de cationes de macronutrimentos. Los tratamientos 1 y 2 son fertilizantes que se consideran orgánicos y fueron aplicados de manera foliar con una mochila aspersora con capacidad de 20 L, mientras que el tratamiento 3 (inorgánico) se administró a través del sistema de riego que al final tuvo una conductividad de 3.4 dS m^{-1}.

Las variables de respuesta fueron: tasa fotosintética, transpiración y conductancia estomática, las cuales se obtuvieron con el uso de un medidor de intercambio gaseoso IRGA (LICOR 6400XT). Las mediciones se llevaron a cabo en hojas recientemente maduras en tres plantas de cada tratamiento. La información se evaluó con un análisis de varianza con un Diseño de Bloques al Azar. Con base en las variables de tasa fotosintética, transpiración y conductancia estomática se calcularon la eficiencia en el uso del agua (EUA) y la eficiencia de uso del agua intrínseca (EUAint) de acuerdo con Tambussi et al. (2007) con las siguientes ecuaciones:

$$EUA = \frac{Pn}{E} \qquad EUA\ int = \frac{Pn}{gs}$$

Donde: *Pn* es la tasa fotosintética, *E* es la transpiración y *gs* es la conductancia estomática.

Resultados y discusión

El análisis de varianza indicó que las diferencias encontradas entre los tratamientos para las variables evaluadas fueron no significativas. Sin embargo, hubo una tendencia de mayor fotosíntesis en los tratamientos con fertilización respecto del testigo y particularmente el tratamiento donde se empleó Biol-Supermagro presentó la mayor tasa fotosintética (Cuadro 1).

Cuadro 1. Medias de fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración en tomate cv King F1 cultivado en malla sombra con tres fuentes de fertilización en Bermejillo, Dgo, México.

Fertilización	Fotosíntesis (µmol CO_2 m^{-2} s^{-1})	Conductancia estomática (mol H_2O^{-1} m^{-2} s^{-1})	Transpiración (mol H_2O m^{-2} s^{-1}l)
Testigo	8.782	0.217	5.7
Biol-Supermagro	10.476	0.181	4.779
Humiforte	9.571	0.219	5.912
Sol nutritiva inorgánica	9.82	0.229	5.938

El tomate que fue fertilizado con Biol-Supermagro presentó la mayor eficiencia en el uso del agua tanto general como intrínseca. Aunque las diferencias fueron no significativas con respecto al testigo y los otros dos tratamientos con fertilización, es notorio que la EUAint fue aproximadamente un 43% superior a la del testigo (Figura 1). Entender los procesos fisiológicos que regulan los flujos de agua en las plantas permite abordar la eficiencia en el uso del agua como una cuestión de balance entre gastos y entradas, es importante considerar las variaciones en la disponibilidad y demanda de agua (Medrano et al., 2007).

Los cultivos tienen la capacidad de adaptarse al estrés hídrico regulando la apertura de los estomas para reducir la pérdida de agua, aunque esta restricción estomática también limita la fotosíntesis al disminuir la concentración de CO_2 intercelular (Liu et al., 2024). En estudios de largo plazo se ha encontrado que la eficiencia en el uso del agua se puede incrementar en los cultivos mediante el establecimiento de obras de conservación de agua, mejoramiento en el manejo del suelo, nuevas variedades y fertilización nitrogenada y fosfórica (Xu and Zhao, 2001).

En este estudio una mejoría relativa de la EUA pudiera deberse a una mejor nutrición de las plantas en los tratamientos con fertilización y probablemente el fertilizante Biol-Supermagro facilitó una mayor asimilación de nitrógeno. En este caso las plantas pudieron tener una mayor tasa de fotosíntesis y menor transpiración lo que es muy importante porque nos indica que la planta aprovecho mejor el agua en una región de zonas áridas por que el agua es un recurso limitado.

En general la fertilización orgánica tendió a provocar una mayor tasa fotosintética y mayor eficiencia en el uso del agua intrínseca que el testigo y el tratamiento con solución nutritiva inorgánica. Esto podría explicarse por las fuentes y por la forma de aplicación, ya que los fertilizantes orgánicos se aplicaron en forma foliar y la absorción y asimilación de los nutrientes pudo ser más efectiva que la de la solución nutritiva aplicada en el agua de riego.

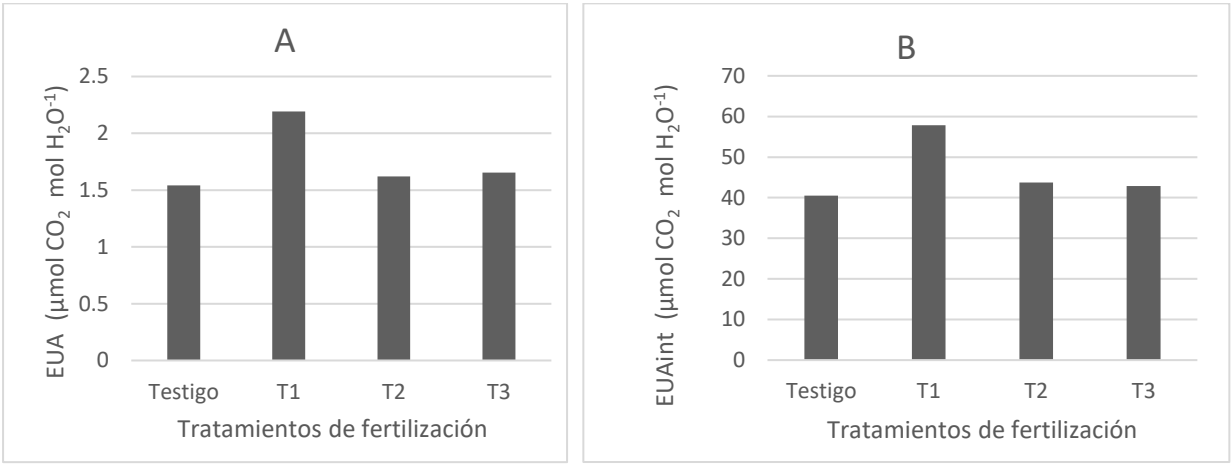


Figura 1. Eficiencia en el uso de agua (EUA) (A) y eficiencia intrínseca del uso de agua (B) en tomate cultivado en condiciones de malla sombra con diferentes fuentes de fertilización (T1 = Biol-Supermagro, T2 = Humiforte y T3 = solución nutritiva con 47.4 meq L^{-1} de cationes y aniones

Conclusiones

Aunque las diferencias no fueron significativas para todas las variables, numéricamente todos los tratamientos superaron al testigo. Por lo que el uso de alguno de los tratamiento de fertilización puede mejorar las respuestas fisiológicas en el cultivo de tomate, como la fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática, en comparación con el testigo. En cuanto a la eficiencia del agua se pudo observar que efectivamente se logró tener una mayor eficiencia. con la aplicación de fertilizante orgánico Biol-Supermagro.

Finalmente, se sugiere seguir probando el uso de los fertilizantes orgánicos y su combinación con fertilizantes inorgánicos como una posible forma de reducir la aplicación de estos y reducir los efectos ambientales y económicos que ocasionan su uso excesivo.

Referencias

Dong, H., Fangman, L., Xuan, X., Ahiakpa, J. K., Tao, J., Zhang, X., Ge, P., Wang, Y., Gaia, W., & Zhang, Y. (2024). The genetic basis and improvement of photosynthesis in tomato. *Revista de Plantas Hortícolas*. https://doi.org/10.1016/j.hpj.2023.06.007

Escobar, H. & Lee, R. (2009). Manual de Producción de Tomate Bajo Invernadero. Universidad de Bogóta. https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/wysiwyg/pub_29_-_manual_produccion_de_tomate.pdf

Liu, J., Li, H., Yuan, Z., Feng, J., Chen, S., Sun, G., Wei, Z., & Hu, T. (2024). Effects of microbial fertilizer and irrigation amount on growth, physiology and water use efficiency of tomato in greenhouse. *Scientia Horticulturae*, *323*. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112553

Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carbó, M., & Gulías, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. Investigaciones Geográficas (Esp) , (43), 63-84.

Restrepo Rivera, J. & Hensel, J. (2009). *Manual práctico de agricultura orgánica y panes de piedra*. Feriva S.A.

Tambussi, E. A., Bort, J., & Araus, J. L. (2007). Water use efficiency in C3 cereals under Mediterranean conditions : a review of physiological aspects. *Annals of Applied Biology*, *150*, 307–321. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00143.x

Vargas, J., López, I. & Rico, E. (2012). Estimación de la fotosíntesis foliar en jitomate bajo invernadero mediante redes neuronales artificiales. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 3(7).https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342012000700001&script=sci_arttext

Xu, F.A. & Zhao, B.Z.(2001). Development of crop yield and water use efficiency in Fengqiu County, China. Acta Pedol. Sin. 38, 491–497.

MICRO REGIONALIZACIÓN CON CRITERIOS DE ÁRIDEZ, SEQUÍA Y FISIOGRAFÍA PARA UNA MEJOR PLANEACIÓN EN EL USO Y MANEJO DE LOS RECURSOS AGUA Y SUELO EN LA ZONA OESTE DE LA COMARCA LAGUNERA

Allan Fernando Vázquez Ruiz*, Alejandra Castillo Sánchez, Galilea Saraí Reyes Esparza, Perla Anahí Flores Reyes, Julio Cesar Herrera Nava, Jesús Emmanuel Zamora Solano, Sergio Alejandro Reyna González, Aurelio Pedroza-Sandoval, Luis Gerardo Yáñez-Chávez

Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Km. 40 Carr. Gómez Palacio - Chihuahua Bermejillo, Durango, México C.P. 35230. *Autor de correspondencia: al21119116@chapingo.mx

Introducción

Las condiciones del clima y los fenómenos meteorológicos, tales como las inundaciones, los tornados, las olas de calor, las bajas temperaturas extremas, entre otros, impactan la actividad productiva en los agroecosistemas. Las sequías son uno los fenómenos que tienen un particular impacto en la producción agroalimentaria, afectando el potencial de producción de las micro regiones. La escasez de agua por la intensificación en frecuencia e intensidad de la sequía, ha afectado negativamente el sector agropecuario, disminuyendo los rendimientos de los cultivos (BANXICO, 2022). La aridez proviene del latín y significa “seco”, donde se conjugan las altas temperaturas, intensa radiación solar y suelos superficiales y de baja cobertura vegetal (Troyo-Diéguez et al. 2014). Adicionalmente, la desertificación, como un efecto de la actividad humana, es resultado de un manejo inadecuado de los recursos agua, suelo, planta, animal, que corresponde a una condición limitante para mantener la productividad (SADER, 2020). Actualmente, las regiones que tienen un mayor grado de aridez en México son aquellas determinadas por su ubicación geográfica, que predominantemente forman parte del desierto Chihuahuense. Los Estados como: Durango, Sonora, Coahuila y Chihuahua, son las áreas más expuestas a las sequías extremas (CONAGUA, 2024). La Comarca Lagunera es una región ubicada en el norte de país, que se compone de 5 municipios del Estado de Coahuila y 11 del Estado de Durango. Debido a la complejidad geográfica de esta región, es necesario el análisis y estudio de sus condiciones en cuanto a condiciones de disponibilidad hídrica y el estado de sus recursos naturales para implementar acciones que estén orientadas a tener un uso eficiente del recurso agua y suelo. El objetivo de este estudio fue realizar una micro regionalización, con base en la integración de criterios de aridez, sequía, tipo de vegetación y suelo, como herramienta de acción más dirigida para un mejor uso y manejo de los recursos naturales en la región oeste de la Comarca Lagunera.

Materiales y métodos

El área de estudio se ubica en la parte oeste de la Comarca lagunera, específicamente, los municipios de Lerdo, Gómez Palacio, Mapimí, Nazas, Rodeo, San Luis del Cordero, San Pedro del Gallo y Tlahualilo del Estado de Durango. La región se ubica a 24°54’0” y 26°42’0” LN y 105°0’0” y 102°54’0” LW. Se utilizó información de 13 estaciones meteorológicas basándose en los siguientes criterios: que se encontraran dentro de del rango de años del 1991-2020 y que tuvieran como mínimo 30 años de datos registrados, sin datos atípicos y con al menos 75% de los datos completos. Se utilizó el Software QGIS Desktop v.3.28 para realizar el cálculo del área de influencia mediante la herramienta de Interpolación IDW. Para el cálculo del índice de aridez y la intensidad de la sequía, se extrajeron datos de las normales climatológicas del Sistema Meteorológico Nacional (SMN, 2024) del periodo de 1991-2020.

Para el cálculo de la condición de aridez se utilizó el Índice de Aridez de Emberger modificado por Stretta y Mosiño (1963) y para la intensidad de la sequía, se usó la metodología propuesta por Bravo et al. (2006) y Mendoza y Puche (2007) con algunas modificaciones. Para identificar los principales tipos de suelo y la vegetación que predomina en la región se utilizó el programa QGIS 3.28. Los datos fueron obtenidos del Portal de Geoinformación de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2021), usando las capas de Edafología escalas 1:250000 y 1:1000000, y Uso del suelo y vegetación escala 1:250000 serie VII continuo nacional. Mientras que, para integrar todos los criterios de regionalización, se utilizaron los mapas generados de grado de aridez, intensidad de sequía anual, tipos dominantes de vegetación y tipo de suelo, mediante análisis con el operador booleano AND.

Resultados y discusión

Tipo de suelos y vegetación dominante. El tipo de suelo dominante en el área de estudio es el Xerosol ocupando un 37.54%, el segundo es el Litosol ocupando un 32.78% y el tercero es el Yermosol ocupando un 12.44% del total del territorio. Seguidos de éstos, están el Regosol con un 7.63%, el Rendzina con un 3.91%, el Solonchak Ortico con un 3.008%, el Feozem con 1.02%, el Castañozem Cálcico con 0.83%, el Regosol Eutrico con 0.59%, el Vertisol Cromico con 0.20 y el Planosol Molico con 0.0089% del total del territorio. El tipo de vegetación predominante es el matorral desértico con un 58.92% del total, después le sigue la vegetación secundaria arbustiva con un 14.40% del total, la agricultura de riego anual con un 8.33% del total, el pastizal con 8.16%, la vegetación halófita xerófila con un 3.33%, el agricultura de temporal anual con 3.04%, el chaparral con 1.40%, desprovisto de vegetación con 1.05%, vegetación de desiertos arenosos con 0.75%, mezquital xerófilo con 0.34%, bosque de mezquite con 0.12%, vegetación gipsófila con 0.03%, bosque de encino-pino con 0.02%, bosque de encino con 0.02% y vegetación de galería con 0.01%.

Grado de aridez. En el análisis del grado de aridez, se encontró que el área de estudio presenta dos grandes subregiones. Al norte, con mayor predominancia, la subregión A_2, que corresponde a las zonas más secas de las zonas áridas, ubicada entre los valores 222 a 500 y la subregión B_2, que corresponde a las zonas menos secas de las zonas áridas, entre los valores 118 a 222, ambas categorías, con base al índice de aridez en la escala propuesta por Stretta y Mosiño (1963).

Sequía anual. El análisis de los datos de sequía anual muestra que el 38.46% de las estaciones presentan una intensidad de sequía alta, mientras que un 30.76% se ubica dentro la categoría de sequía moderada, le sigue en porcentaje la sequía media, con un valor de 23.07% y, finalmente, la sequía mínima con un 7.69%.

Micro regionalización. Al tomarse en consideración los criterios de aridez, sequía, vegetación y tipo de suelo, su integración arroja como resultado 12 micro regiones con sus respectivas características (Figura 1; Cuadro 1).

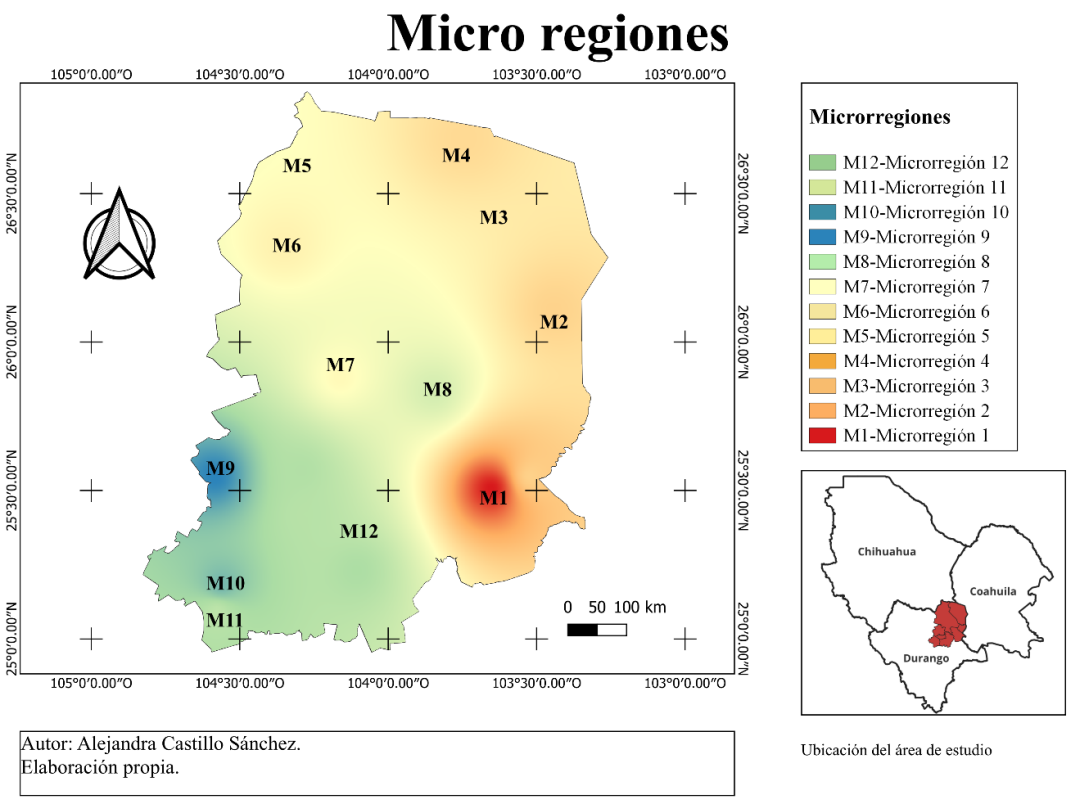


Figura 1. Micro regiones resultantes de la integración de criterios de aridez, sequía y fisiografía en la zona oeste de la Comarca Lagunera del Estado de Durango, México.

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 oste de la Comarca Lagunera del Estado de Durango, México.

Microrregión	Índice de aridez	Clases de sequía	Vegetación dominante	Tipo de suelo
1	A2	Media	Matorral desértico microfilo/Agricultura de riego anual	Litosol/Xerosol
2	A2	Alta	Agricultura de riego anual/Agricultura de temporal anual	Xerosol/Yermosol
3	A2	Alta	Matorral desértico micrófilo	Litosol
4	A2	Alta	Matorral desértico micrófilo/Vegetación secundaria arbustiva	Xerosol/Yermosol
5	A2	Alta	Vegetación secundaria arbustiva/ Agricultura de riego anual	Xerosol
6	A2	Alta	Agricultura de riego anual/Vegetación secundaria arbustiva	Xerosol
7	A2	Media	Matorral desértico micrófilo	Xerosol/Litosol
8	A2	Moderada	Vegetación secundaria arbustiva/ Matorral desértico micrófilo	Xerosol/Litosol
9	B2	Moderada	Pastizal / Agricultura de riego anual	Xerosol/Rendzina
10	B2	Moderada	Agricultura de riego anual/Matorral desértico micrófilo	Rendzina/Xerosol
11	B2	Media	Matorral desértico micrófilo	Feozem/Xerosol
12	B2	Mínima	Agricultura de riego anual/Vegetación secundaria arbustiva	Xerosol/Regosol

Conclusiones

Con base al índice de aridez el área de estudio se ubican dos subregiones predominantes, la A_2 y B_2, que corresponden a las zonas más secas y menos secas de las zonas áridas, respectivamente, donde la más predominante fue la categoría A_2. La intensidad de la sequía permitió identificar que la región de estudio presentó los 4 tipos de sequía: mínima, moderada, media y alta, siendo esta ultima la predominante, con un 38.46% de la región de estudio. La integración de los criterios del grado de aridez, condición de sequía y el tipo de suelo y vegetación permitió generar 12 micro regiones, con una combinación de características propias. Esta propuesta de micro regionalización es una herramienta para la toma de decisiones en la implementación de actividades productivas y de conservación de los recursos naturales en la región.

Referencias

Bravo, A. G., Salinas, G. H. y Rumayor, R. A. (2006). Sequia: Vulnerabilidad, impacto y tecnología para afrontar 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

CONAGUA (2024). Monitor de Sequía en México (MSM). Gobierno de México. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico

CONABIO (2021). Portal de Geoinformación 2024. Gobierno de México. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250s7gw

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

SADER (2020). Desertificación y sequía, un panorama muy árido. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/desertificacion-y-sequia-un-panorama-muy-arido?idiom=es

BANXICO (2022). Sequía en México y su Potencial Impacto en la Actividad Económica. pp. 30-35. https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/informes-trimestrales/recuadros/%7B3A0127A1-D0C9-7D61-C9AE-E57E127FB39B%7D.pdf

SMN (2024). Normales Climatológicas por Estado. 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

LA MICRO REGIONALIZACION COMO APOYO EN LA TOMA DE DECISIONES PARA UN MEJOR USO Y MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES EN LA ZONA ESTE DE LA COMARCA LAGUNERA

Derek Sebastián Gutiérrez Nevárez*, Jorge Osvaldo Ruelas Arroyo, Nubia Jocelyn Martínez Molina, Ángel Herbey Gamboa Mata, Ángel José Hernández Prado, Anabel García Martínez, Elidía Jiménez Gaxiola, Aurelio Pedroza-Sandoval, Luis Gerardo Yáñez-Chávez.

Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Km. 40 Carr. Gómez Palacio – Chihuahua, Bermejillo, Durango, Méx. C.P. 35230 *Autor de correspondencia: al22102204@chapingo.mx

Introducción

Para entender las características biofísicas y socioeconómicas de un territorio el índice de aridez y el índice de sequía anual son cruciales para identificar zonas vulnerables a la desertificación (Hernández-Cerdá, 1992), lo que afecta la capacidad agrícola y la disponibilidad de recursos hídricos. Además, la vegetación dominante y el tipo de suelo permiten establecer un enfoque preciso para la gestión de los recursos naturales, conservación del medio ambiente y planificación del uso del suelo (Torres et al., 2017).

En el contexto de la Comarca Lagunera, del Estado de Durango, México, la escasez de agua impacta negativamente en la producción agrícola, especialmente en cultivos, que dependen del riego, lo que hace necesario mejorar la productividad del agua para uso agrícola, así como una mejor captación y aprovechamiento de agua de lluvia para mitigar los efectos de la huella hídrica y la presión que ésta ejerce sobre las cuencas hidrológicas (Azpilcueta-Pérez et al. 2017). El objetivo de este estudio fue realizar una caracterización integral del este de la Comarca Lagunera mediante la regionalización basada en el índice de aridez, el índice de sequía anual, la dominancia de la vegetación y el tipo de suelo para una mejor gestión ambiental y el manejo sostenible de recursos naturales en zonas áridas.

Materiales y métodos

En la zona este de la Comarca Lagunera se llevó a cabo la caracterización de seis municipios: San pedro ubicado a 25° 37’ y 26° 39’ LN 103° 15’ y 101° 53’ LW a una altitud entre 800 y 2 300 m; Matamoros a 25° 23’ y 25° 48’ LN y entre 103° 23’ y 103° 03’ LW con una altitud entre 1 100 y 1 700 m; Viesca a 25° 20’ LN y 102° 48’LW a una altura de 1 097 m, Torreón a 25°32’ LN, 103° 27’ de LW y una altitud de 1 110; General Simón Bolívar a 24° 30’a 24° 45’ LN y 103° 00’ a 103° 20 LW; y San Juan de Guadalupe a 24° 22’ y 25° 05’ LN y entre 103° 23’ y 103° 03’ LW y una altitud entre 1 300 y 2 200 m.

En este estudio de regionalización, se utilizaron como indicadores el índice de aridez, el índice de sequía anual, la dominancia de vegetación y el tipo de suelo, coincidiendo con los criterios seleccionados por Pedroza et al. (2023).

Se seleccionaron 18 estaciones climáticas de influencia en la zona que contenían un mínimo de 30 años con registro de información, dentro de la serie de datos 1991-2020. Para la extracción de información climatológica histórica se utilizó Sistema Nacional Meteorológica. El método de interpolación empleado fue el de la media ponderada inversa de la distancia (IDW, por sus siglas en inglés).

El software QGIS (Quantum Geographic Information System) como sistema de información geográfica, se empleó para realizar la interpolación y para asociar la dominancia y agrupaciones principales de vegetación y unidades de suelo para cada micro región obtenida. El Índice de Aridez de Emberger modificado por Stretta & Mosiño (1963) se utilizó para determinar los diferentes grados de aridez en la región de estudio.

En tanto que, para determinar la intensidad de la sequía anual se realizaron comparaciones de los registros anuales con la precipitación media anual de 30 años (1991-2020), obtenida de las normales climatológicas proporcionadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2024). La sequía anual fue expresada en porcentaje de acuerdo con los años donde se presentó precipitación anual por debajo de su media histórica. Para categorizar los niveles de sequía, se realizó una escala en porcentaje de años con presencia de sequía (Mendoza & Puche, 2007; Bravo et al., 2006).

El procedimiento para la micro regionalización consistió en sobreponer los mapas digitales obtenidos anteriormente para identificar qué condición presenta cada micro región resultante de la integración de los cuatro criterios de regionalización (Figura 1, Cuadro 1).

Resultados y discusion

Con base en la integración del grado de aridez, intensidad de sequía, tipo de suelo y vegetación (Figura 1) resultaron 13 microrregiones caracterizadas en el Cuadro 1. Se identifica que la vegetación predominante en la región es el matorral rosetófilo, seguido del matorral micrófilo, la agricultura de riego y la vegetación halófita respectivamente, mientras que las unidades de suelo predominantes en la región son los litosoles y xerosoles.

En cuanto al índice de aridez se identificaron tres categorías de aridez: A2 que corresponde a la zona más secas de las zonas áridas siendo la que ocupa la mayor extensión, seguido de B2 que corresponde a la menos seca de las zonas áridas y B1 que corresponde a la menos secas de las zonas desérticas. La intensidad de sequía fue mayormente media, en segundo lugar, lo ocupa la sequía moderada y por último la intensidad mínima

Cada micro región demuestra el estado en que se encuentra el recurso hídrico con base al uso de suelo y condiciones ambientales; esto representa una herramienta sumamente útil en la planificación sistemática del uso de los recursos naturales de cada municipio o localidad, incluso tiene potencial para ser usado en el ordenamiento territorial ecológico.

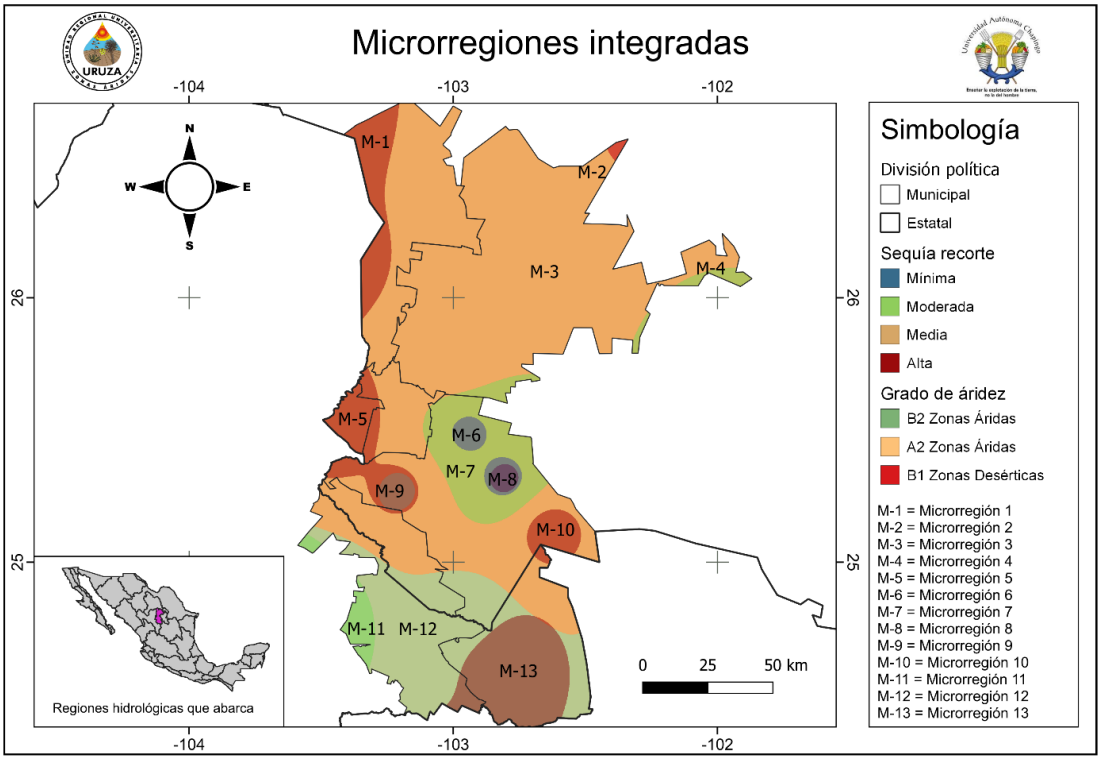


Figura 1. Micro regiones resultantes de la combinación de criterios de aridez, intensidad de sequía anual y fisiografía en la zona este de la Comarca Laguna del Estado de Durango, México.

Cuadro 1. Caracterización agroecológica de las micro regiones resultantes con base en la integración del grado de aridez, condición de sequía anual, tipo de vegetación y tipo de uso de suelo en la zona este de la Comarca Lagunera del Estado de Durango, México.

Microrregión	Índice de Aridez	Clases de sequía	Fisiografía	Unidad del suelo
1	A2	Alta	Matorral rosetófilo	Litosol
2	B1	Media	Matorral rosetófilo	Xersol
3	A2	Media	Matorral rosetófilo	Litosol
4	A2	Moderada	Matorral rosetófilo	Litosol
5	A2	Alta	Agricultura de riego	Xersol
6	A2	Mínima	Veg. Secundaria halófita xerófila	Xersol
7	A2	Moderada	Vegetación halófita xerófila	Solonchak
8	B1	Mínima	Vegetación halófita xerófila	Solonchak
9	B2	Alta	Agricultura de riego	Xersol
10	A2	Alta	Matorral micrófilo	Litosol
11	B2	Moderada	Matorral rosetófilo	Litosol
12	B2	Media	Matorral micrófilo	Litosol
13	B2	Alta	Veg. Secundaria de matorral	Xersol

Conclusiones

La interacción entre los dos criterios de aridez, sequía anual, adicional al tipo de vegetación y suelo dominantes, dieron origen a 13 microrregiones con características fisiográficas y climáticas propias. La micro regionalización de territorios es una herramienta fundamental en la toma de decisiones en las actividades productivas ya que permite una planificación más precisa y eficaz al considerar características específicas de cada área. Al segmentar el territorio en unidades homogéneas, es posible optimizar el uso de recursos naturales, mejorar las prácticas de manejo agrícola y aumentar la productividad.

Referencias

Azpilcueta-Perez M.E, Pedroza-Sandoval, A., Sánchez-Cohen, I., Salcedo-Jacobo, M. del. R. y 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

Bravo L., A. G., Salinas G., H. & Rumayor R., A. (2006). Sequia: Vulnerabilidad, impacto y tecnología para afrontar en el Norte Centro de México. México, D.F.: 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

Hernández-Cerdá, M. E. (1992). Delimitación espacial de las zonas áridas de México. Estudios Geográficos, 53(206): 27–43. https://doi.org/10.3989/egeogr.1992.i206.27

Mendoza, N. & Puche, M. (2007). Evaluación de la ocurrencia de sequía en localidades de Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ), 24: 661-678. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182007000400004

Pedroza-Sandoval, A. Yáñez-Chávez, L., 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. Memorias del VIII Congreso Nacional y I Congreso Internacional de Riego, Drenaje y Biosistemas. 14 p.

SMN (2024). Normales Climatológicas por Estado. Gobierno de México. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado?estado=dgo

Stretta, J. C., & Mosiño, P. A. (1963). Estudio del Índice de Emberger para zonas áridas y semiáridas en México. Anales del Instituto de Biología, UNAM, 34(1): 34-48.

Torres, F., Agüero, R., y Tepetla, V. (2017). Retos y oportunidades de la gestión de los recursos hídricos subterráneos: Aproximación al problemático acceso al agua en Valles Centrales de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(16): 289-307. https://doi.org/10.15174/au.2019.2429

USO DE ACEITES ENRIQUECIDOS CON COMPUESTOS AROMATICOS EN OVEJAS AL PARTO

Juan de Dios Jasso-González[1]*, Héctor Aaron Lee-Rangel[2], Juan Carlos Garcia-Lopez[2], Gregorio Alaverez-Fuentes[3], Pedro Abel Hernandez-Garcia[4], Anayeli Vazquez-Valladolid[5]

[1]Facultad de Agronomía y Veterinaria, UASLP; Centro de Biociencias, UASLP. [2]Instituto de Zonas Desérticas, UASLP. [3]Universidad Autónoma del Estado de México. *Autor para correspondencia: jassoglez11@outlooik.es / a170258@alumnos.uaslp.mx

Introducción

Las ovejas fueron probablemente los primeros animales domesticados por el hombre para proveerse de leche, carne y piel o lana, y aunque la producción a nivel mundial de leche de oveja es pequeña (1.3 %) cuando se compara con la de bovino (84%) (FAO, 2016). Uno de los periodos críticos en el ciclo productivo de la hembra ovina es el periodo de lactancia; la importancia de este periodo reside en el hecho que en él se define en buena medida el futuro productivo, reproductivo, metabólico y sanitario del animal (Campos y Jaramillo, 2008). El manejo nutricional de las ovejas durante el período de transición es un factor crucial que influye en el peso al nacer de los corderos, el desarrollo de la ubre y la producción de leche y calostro. Dado que el 80% del crecimiento del feto tiene lugar en los dos últimos meses de gestación, las necesidades de nutrientes de las ovejas aumentan significativamente durante este período (Dawson et al., 1999).

En la producción intensiva de ovejas lecheras, los sistemas de alimentación se han alejado de dietas basadas en pastos hacia dietas altas en concentración, lo que puede afectar el valor nutricional de la grasa láctea, disminuyendo la concentración de ácidos grasos (AG) potencialmente beneficiosos para la salud. En estos sistemas de producción también está muy extendida la suplementación de la dieta con lípidos para aumentar la densidad energética de la ración y por tanto del nivel de producción (Mele et al., 2005; Gargouri et al., 2006; Palmquist & Jenkins, 2017).

En la producción de rumiantes ha requerido un sentido de urgencia en el desarrollo de alternativas económicamente competitivas como los nutracéuticos vegetales, aceites esenciales extractos de plantas (Broudiscou et al., 2000; Calsamiglia et al., 2007; Grainger et al., 2009; Wang et al., 2009). Los aceites esenciales (AE) son compuestos volátiles naturales extraídos de las plantas mediante métodos de destilación (Greathead, 2003). Los AE como compuestos naturales tienen el potencial de usarse en alimentos para ganado (Benchaar et al., 2006). De este modo hipotetizamos que la suplementación con aceite de canola y aceite de canola enriquecido con compuestos aromáticos de anís mejorara la productividad de ovejas lactantes, así como el crecimiento de sus corderos. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de suplementar con aceite de canola y aceite de canola enriquecido con compuestos aromáticos de anís a ovejas en periodo posparto sobre su producción de leche y cambios de peso, así como el crecimiento de sus corderos.

Materiales y métodos

Treinta ovejas multíparas raza Rambouillet, de 3 años (peso corporal inicial [PC] 60KG ± 2kg) desde el día del parto fueron asignadas a uno de los siguientes tratamientos: I) control (pastura y concentrado) (n=10); II) Pastura y concentrado + 20 ml/oveja/d de aceite de anís suplementario (n = 10); y III) Pastura y concentrado + 20 ml/oveja/d de aceite de canola suplementario (n = 10).

El aceite suplementario se dosificará individualmente utilizando una jeringa de 20 ml todos los días a las 08:00 h. Los corderos se pesarán al momento del nacimiento, al mes y a los dos meses (destete), se registraron los pesos para analizar las ganancias de peso. Las ovejas se pesaron el día del parto, al mes y a los meses, se registraron los pesos para medir los cambios de peso. Para estimar el consumo de alimento se utilizó la ecuación de AFRC (1998) como:

$$\text{Consumo de materia seca de ovejas lactantes} = (138.0 \times PV^{0.75}) / 1000$$

Donde: $PV^{0.75}$ es el peso vivo metabólico, kg.

La producción de leche se midió cada 15 días como lo describen Reynolds et al. (2006). Las ovejas fueron separadas de sus crías a las 08:00 h y fueron inmediatamente ordeñadas a mano. Esta leche se ofrecerá a los corderos. Después de 3 h, se aplicó una inyección de oxitocina (20 UI) vía intramuscular 10 minutos después las ovejas fueron ordeñadas registrando la producción de esta. Las muestras de leche se congelarán hasta su posterior análisis.

Para estimar la curva de lactación se utilizó la función gamma incompleta o modelo de Wood (Wood, 1967) debido a que sus tres parámetros tienen una relación con la biología de la curva de lactación (Portolano et al., 1996) además, este modelo muestra buen ajuste en estudios de producción de leche en ovejas (Ángeles Hernández et al., 2018; Nava-García et al., 2019).

El modelo es: $y_t = at^b e^{-ct}$, donde: y_t es la producción de leche en el periodo de tiempo, *e* es la base para el logaritmo natural, *a, b* y *c* son parámetros de la curva, donde *a* representa la producción de leche al inicio de la lactancia, mientras que *b* y *c* representan el límite en el descenso de la producción de leche al inicio de la lactancia.

Los resultados se analizaron mediante un Diseño Completamente Aleatorizado, las medias se compararon mediante los siguientes contrastes ortogonales: I) control vs aceites; CII) aceite de anís vs aceite de canola. Las medias también se compararon mediante la prueba de Tukey. El modelo de la curva de lactancia se analizó mediante la función NLIN (SAS, 2020)

Resultados y discusión

El Peso final y consumo de materia seca de ovejas lactantes suplementadas con aceite de canola y aceite de canola enriquecido con anís no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) respecto al grupo testigo. Sin embargo, los cambios de peso fueron mayores ($p < 0.05$) en el grupo suplementado con aceite de canola enriquecido con anís; también, la producción de leche fue superior ($p < 0.05$) para los tratamientos de ovejas que fueron suplementadas.

Cuadro 1. Efecto de la suplementación con aceite de canola y aceite de canola enriquecido con anís en ovejas lactantes

	Testigo	Aceite Canola	Aceite Canola + Anís	EEM	C1	C2
Peso Inicial, kg	62.14	60.92	61.08	2.19	0.61	0.63
Peso Final, kg	60.99	61.67	69.05	1.44	0.80	0.81
Consumo de Materia Seca, kg	3.01	3.03	2.93	0.94	0.61	0.87
Cambio de Peso, kg	-1.15[a]	0.750[a]	-2.03[b]	0.47	0.76	0.34
Producción de Leche, mL	1015[a]	1202[ab]	1398[b]	1.91	0.02	0.17

[a,b,c] Diferentes literales indican diferencias significativas mediante Tukey test ($p < 0.05$); EEM, Error Estándar de la Media; C1=Contraste "Testigo vs aceites"; C2= Contraste "Aceite vs Aceite".

La suplementación con aceites podría prevenir la pérdida de peso durante la lactancia para de esta forma reducir el impacto del balance energético negativo. Tripathi (2014) no encontró una respuesta en términos de cambios de peso vivo en cabras suplementadas con aceite de palma durante las primeras 17 semanas de lactación.

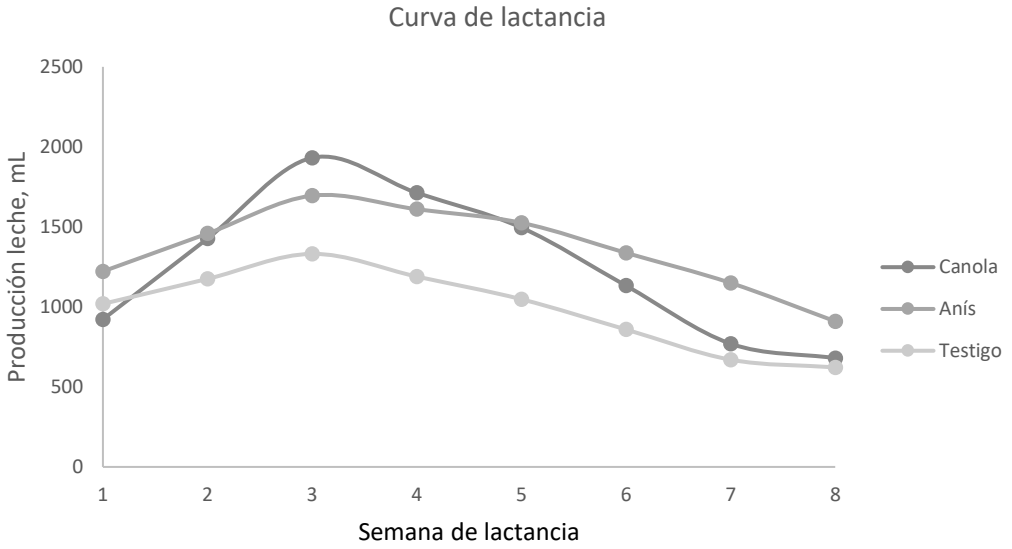


Figura 1. Curva de lactancia de ovejas suplementación con aceite de canola y aceite de canola enriquecido.

El peso final, cambios de peso y ganancias de peso de corderos lactando a ovejas suplementadas con aceite de canola fueron mayores ($p < 0.05$) respecto al grupo testigo y al tratamiento aceite de canola enriquecido con anís.

Cuadro 2. Efecto de la suplementación con aceite de canola y aceite de canola enriquecido con anís en cambios de peso de corderos lactantes.

	Testigo	Aceite Canola	Aceite Canola + Anís	EEM	C1	C2
Peso al Nacimiento, kg	3.95	4.58	4.08	0.26	0.10	0.08
Peso Final, kg	17.95[a]	22.41[b]	17.19[a]	0.92	0.16	0.007
Cambio de Peso, kg	13.94[a]	17.69[b]	13.10[a]	0.016	0.20	0.008
Ganancia de Peso, kg	0.23[a]	0.29[b]	0.21[a]	0.01	0.20	0.008

[a,b,c] Diferentes literales indican diferencias significativas mediante Tukey test ($p < 0.05$); EEM, Error Estándar de la Media; C1=Contraste "Testigo vs aceites"; C2= Contraste "Aceite vs Aceite".

Los cambios en el peso corporal de los corderos reflejan la eficiencia de la conversión de leche materna en peso corporal durante el periodo de lactancia (Titi et al., 2011), las diferencias en la producción de leche, así como en los niveles de grasa y proteína de la leche lo que los influye los parámetros de crecimiento directamente (Manso et al., 2011). En este estudio, los corderos se alimentaron exclusivamente con leche materna.

Conclusiones

La suplementación con aceite de canola y aceite de canola enriquecido con anís mejora la producción de leche, lo que se refleja en el crecimiento de los corderos lactantes.

Referencias

AFRC (Agricultural and Food Research Council). An advisory manual prepared by the AFRC technical committee on responses to nutrients. Wallingford, UK: CAB International; 1998.

Ángeles Hernández, J.C., Radic Schilling, S., Vera Arias, M.A., Echeverría Pérez, R.A., Castelán-Ortega, O.A., Ramírez Pérez, A.H., & González Ronquillo, M. (2018). Effect of live weight pre- and post-lambing on milk production of East Friesian sheep. Italian Journal of Animal Science, 17(1), 184-194.

Benchaar, C., Petit, H.V., Berthiaume, R., Whyte, T.D., Chouinard, P.Y., 2006. Effects of addition of essential oils and monensin premix on digestion, ruminal fermentation, milk production, and milk composition in dairy cows. J. Dairy Sci. 89, 4352–4364.

Broudiscou, L.-P., Papon, Y., Broudiscou, A.F., 2000. Effects of dry plant extracts on fermentation and methanogenesis in continuous culture of rumen microbes. Anim. Feed Sci. Technol. 87, 263–277.

Calsamiglia, S., Busquet, M., Cardozo, P.W., Castillejos, L., Ferret, A., 2007. Invited review, Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. J. Dairy Sci. 90, 2580–2595.

Campos R. y Jaramillo L. (2008). Estrés y factores asociados al periparto en bovinos. Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira. p 3.

Dawson LER, Carson AF, Kilpatrick DJ. The effect of digestible undegradable protein concentration of concentrates and protein source offered to ewes in late pregnancy on colostrum production and lamb performance. Anim Feed Sci Technol. 1999; 82:21-36

FAO. Estadísticas de producción de leche ovina en el mundo. (2016). faostat.fao.org

Gargouri, A.; Caja, G.; Casals, R.; Mezghani, I. Lactational evaluation of effects of calcium soap of fatty acids on dairy ewes. Small Rumin. Res. 2006, 66, 1–10.

Grainger, C., Clarke, T., Auldist, M.J., Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Waghorn, G.C., 2009. Potential use of Acacia mearnsii condensed tannins to reduce methane emissions and nitrogen excretion from grazing dairy cows. Can. J. Anim. Sci. 89, 241–251.

Greathead H (2003) Plant and plant extract for improving animal productivity. Proc. Nutr. Soc. 62: 279-290.

Manso, T., Bodas, R., Vieira, C., Mantecon, A.R., & Castro, T. Feeding vegetable oils to lactating ewes modifies the fatty acid profile of suckling lambs. Animal 5:1659-67. (2011)

Mele, M.; Buccioni, A.; Serra, A. Lipid requirements in the nutrition dairy ewes. Ital. J. Anim. Sci. 2005, 4, 53–62. Ruminant Research, 24(1), 7-13.

Nava-García, A., Martínez-Rojero, R.D., Mastache-Lagunas, A.A., & Ulloa-Arvizu, R. (2019). Curva de rendimiento y composición de leche en ovejas criollas de la Montaña de Guerrero, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 6(17), 391-398.

Palmquist, D.L.; Jenkins, T.C. A 100-Year Review: Fat feeding of dairy cows. J. Dairy Sci. 2017, 100, 10061–10077.

Portolano, B., Spatafora, F., Bono, G., Margiotta, S., Todaro, M., Ortoleva, V., & Leto, G. (1996). Application of the Wood model to lactation curves of Comisana sheep. Small Ruminant Research, 24(1), 7-13.

Reynolds CK, Cannon VL, Loerch SC. Effects of forage source and supplementation with soybean and marine algal oil on milk fatty acid composition of ewes. Anim Feed Sci Technol 2006; 131:333.

Sall J, Lehman A, Stephens M, Creighton L. JMP Start Statistics: a guide to statistics and data analysis. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc; 2020.

Titi, H.H., Hasan, Y.L., Al-Ismail, K., Zakaria, H., & Tabbaa, M.J. (2011). Response of Shami goats and kids to variable levels of soybean or sunflower oils in diets. Journal of Animal Feed Science, 20:493-508.

Tripathi MK. Effect of nutrition on production, composition, fatty acids and nutraceutical properties of milk. J Adv Dairy Res 2014;2:115.

Wang, C.J., Wang, S.P., Zhou, H., 2009. Influences of flavomycin, ropadiar, and saponin on nutrient digestibility, rumen fermentation, and methane emission from sheep. Anim. Feed Sci. Technol. 148, 157–166.

Wood, P.D.P. (1967). Algebraic model of the lactation curve in cattle. Nature, 216, 164-165.

VALORACIÓN DE LA POTENCIA ANTIMICROBIANA DE LA GENTAMICINA EN UN PRODUCTO FARMACÉUTICO VETERINARIO INYECTABLE

Marmolejo-Ruiz, G. S.[1], Alba-Romero, J. J.[1], Ocampo-López, J. S.[2], Rico-del-Rio, A. E.[2], Lozano-Moran, M.[2], Martínez-Romero, A.[1], Téllez -López, M. Á.[1], Hernández-González, S. I.*[1]

[1] Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Articulo123 s/n, Fracc. Filadelfia. C.P. 35010, Gómez Palacio, Durango, México. [2] Comercializadora Pecuaria de México S.A. de C.V. C. Indé No. 824, Parque Industrial Carlos A. Herrera Araluce, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango, México. *E-mail: sandra.hernandez@ujed.mx

Introducción

La industria farmacéutica se esfuerza por mejorar la calidad de los medicamentos, promover la investigación, desarrollo, producción y comercialización de nuevas formas farmacéuticas, (Gligo, N., 2023). Uno reto principal es combatir el uso indiscriminado de los antibióticos en el sector veterinario que a su vez conduce a la resistencia bacteriana, la cual se define como la capacidad de una bacteria para sobrevivir en ambientes con concentraciones de antibióticos capaces de matar o inhibir el crecimiento a los cuales previamente eran sensibles (Inostroza-Ruiz L., et al., 2023). Es de gran interés tener dentro del Laboratorio de Control de Calidad metodologías, instrumentos, equipos y personal capacitado que permitan determinar la veracidad y validez de los productos farmacéuticos. El objetivo de esta investigación fue determinar la potencia antimicrobiana de la Gentamicina (el cual es un antibiótico aminoglucósido bactericida que ejerce actividad contra bacilos gramnegativos y cocos grampositivos, (Krause, K.M et al., 2016) por el método cilindro en placa.

Materiales y métodos.

Se analizó la capacidad antimicrobiana de un producto farmacéutico inyectable con Gentamicina como principio activo. La metodología utilizada para el método Cilindro Placa (difusión en agar) tiene como referencia el MGA 0100, Valoración Microbiológica de Antibióticos de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, 13a edición, (2021). La investigación se llevó a cabo en colaboración con la industria privada en el Laboratorio de Control de Calidad en el área de Microbiología de la Comercializadora Pecuaria de México S.A de C.V. y el Laboratorio B de Investigación del departamento de Bacteriología Médica Diagnóstica y Salud Pública de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Químicas unidad Gómez Palacio, Durango.

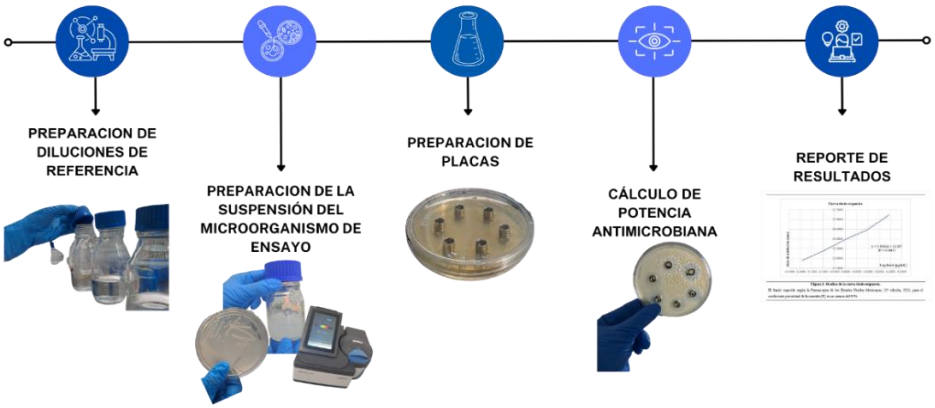


Figura 1. La metodología utilizada para el método Cilindro Placa (difusión en agar) tiene como referencia el MGA 0100, Valoración Microbiológica de Antibióticos de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, 13a edición, (2021).

Resultados y Discusión

Potencia antimicrobiana. En el cuadro 1, se observan datos obtenidos para calcular la potencia antimicrobiana, para los cálculos iniciales, se obtuvieron nueve datos de cada suma de las diluciones de SRef (a, b, d, e) y nueve datos de la muestra (m). Para el caso de la concentración central (c) se cuenta con 36 valores. Para todos los casos se determinó el promedio ($\overline{x}$), la desviación estándar (σ) y coeficiente de variación (CV). Posteriormente se realizó una corrección de variación de los halos de inhibición, como se describe en el MGA 0100, Valoración Microbiológica de Antibióticos de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, 13a edición, pág. 280-283, (2021); como resultado se obtiene la curva dosis-respuesta.

Cuadro 1. Valoración del método Cilindro Placa para Gentamicina. Datos para curva dosis-respuesta de SRef.

Solución	Concentración (µg/100 mL)	Placa 1 (mm)			Placa 2 (mm)			Placa 3 (mm)			$\overline{x}$	σ	CV
C_a	1	13.2	13.4	13.3	13.4	14.7	13.7	14.7	14.4	14.6	13.933	0.6146	4.411
a	0.64	12.9	12.6	12.8	13.0	12.9	12.9	12.9	12.9	12.8	12.856	0.1066	0.829
C_b	1	13.8	13.3	13.8	13.2	14.6	13.5	14.4	14.3	14.0	13.878	0.4637	3.342
b	0.8	13.3	13.2	13.3	13.5	13.2	13.1	13.3	13.5	13.3	13.3	0.1247	0.938
C_d	1	13.6	14.3	13.8	14.0	13.5	13.3	14.0	14.1	14.7	13.922	0.4049	2.908
d	1.25	14.1	14.6	14.4	14.2	14.6	14.7	14.8	14.0	14.3	14.411	0.2643	1.834
C_e	1	14.0	14.1	14.0	14.3	13.6	13.9	14.4	14.6	14.2	14.122	0.278	1.969
e	1.56	16.2	14.9	15.1	15.1	16.2	15.6	14.8	15.1	15.5	15.389	0.4954	3.219
										C36	13.9764	0.1693	1.2114
Muestra													
Cm		14.4	14.6	14.9	14.9	14.3	14.7	14.8	14.2	14	14.533	0.324	2.23
Muestra		14.8	14.4	14.3	14.2	14.8	14.1	14.8	14.5	14.1	14.444	0.2793	1.934

Donde $\overline{x}$ es el promedio, σ es desviación estándar, CV el coeficiente de variación, C es la concentración central, a, b, d, e las concentraciones de SRef.

Se utilizó la medición de la zona promedio corregida en la ecuación de la línea de la curva dosis-respuesta (se graficaron las mediciones corregidas de los halos de inhibición en función del logaritmo de los valores de la concentración de la SRef) con el fin de determinar el logaritmo de la concentración de la muestra, log (m).

En la figura 2 se observa la ecuación de la recta obtenida y el coeficiente porcentual (R^2) de la muestra, el cual sirve como criterio de aceptación de la prueba. En este ensayo el rango de aceptación para R^2 es no menos del 95%, para una regresión aceptable ocurre solo si el porcentaje (%) de R^2 obtenido excede el valor predeterminado, por lo que los valores se consideran válidos y se puede proseguir al cálculo final de la potencia antimicrobiana. Cunha, E.K.A., & Estrela, M.A.A., (2021), en su estudio de sobre la amoxicilina realizo un análisis de regresión lineal simple con el propósito de verificar la linealidad del método, la estadística de regresión demostró una relación lineal estadísticamente significativa (R^2 = 0,9975), dando como valor al coeficiente de regresión 95% basándose en la Farmacopeia Brasileira, volume 1. 6.ed. Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, (2019).

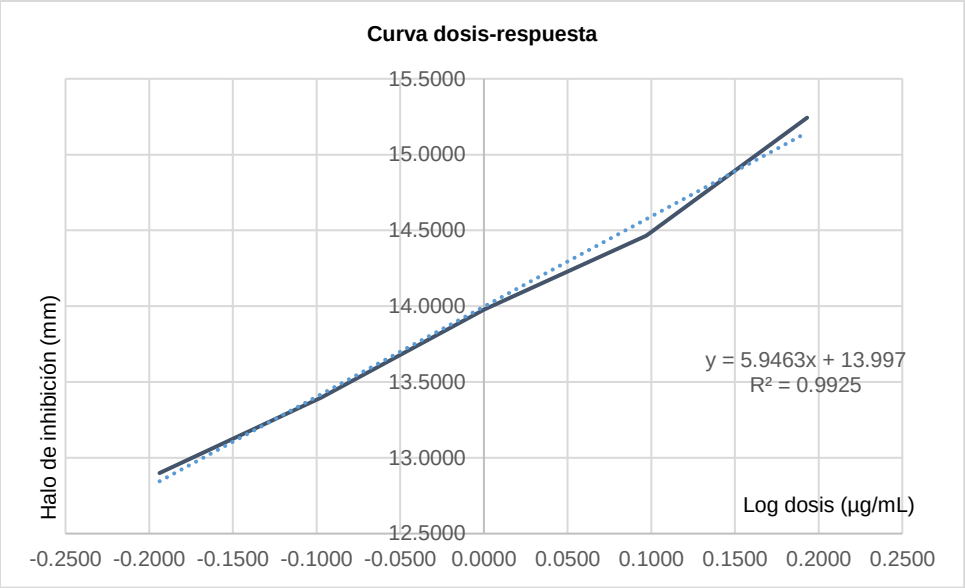


Figura 2. Grafica de la curva dosis-respuesta, el límite sugerido según la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, 13ª edición, 2021, para el coeficiente porcentual de la muestra (R^2) es no menos del 95%.

En el cuadro 2 se muestran los resultados de la potencia de la muestra, la FEUM, 13a edición, (2021) habla sobre el criterio de aceptación se encuentra en un rango de 80 a 125 %, que, si el coeficiente porcentual de la muestra excede el límite sugerido del 95%, el análisis es aceptable. La potencia obtenida para el producto farmacéutico inyectable con Gentamicina fue de 95.83%, el cual es aceptable y confiable. Lo que nos muestra que el producto farmacéutico inyectable inhibe el crecimiento del microorganismo de prueba, *Staphylococcus epidermidis* (ATCC 12228).

Cuadro 2. Resultados de la valoración microbiológica (potencia antimicrobiana)

Log (m)	-0.0185
Concentración de la muestra	0.9583
Porcentaje de concentración	95.83

Doxandabarat, X.D., et al., (2020), en un estudio sobre el cefovecin, el cual es un antimicrobiano betalactámico, en sus resultados presentados describen la curva de diámetros de halos en función de la concentración fueron validadas con una exactitud entre el 80% y 120%. Las curvas, según sus pendientes y ordenadas al origen resultaron estadísticamente equivalentes. Al realizar esta metodología evaluó según las diferentes condiciones que indica el laboratorio productor, corroboran que no perdió su potencia antimicrobiana. La United States Pharmacopeia (2022) describe los resultados para la valoración de Gentamicina en solución inyectable, bajo la clasificación de venta genérica y de marca, obtiene un porcentaje de la cantidad declarada, dentro de la especificación de la Farmacopea vigente en un rango de 90,0% – 125,0%. Loor A. (2020) en su trabajo obtiene un porcentaje promedio que fue de 102,02% para la clasificación genérica, y 103,83% para la de marca.

Conclusión

El método microbiológico Cilindro en Placa para la valoración de potencia antimicrobiana de Gentamicina, cumple con los parámetros de validación recomendados por la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, 13a edición, (2021).

Referencias

Cunha, E.K.A., & Estrela, M.A.A., (2021). Método Espectrofotométrico para dosificación de Amoxicilina en Suspensiones Orales. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinaria - ISSN 2675-6218, 2 (11), e211951. https://doi.org/10.47820/recima21.v2i11.951.

Doxandabarat, X. D., Paes-RodrÍguez, J. D., Albarellos, G. A. (2020). Prueba in vitro de potencia de cefovecin luego de su conservación a distintas temperaturas. InVet, 22(1), 1.

Farmacopeia Brasileira (2019), volume 1. 6.ed. Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

Gligo, N., Peres, W., Plottier, C. (2023). Industria farmacéutica y sistemas de salud en la Argentina, el Brasil, Chile, México y el Uruguay: estructura, desempeño y políticas (No. 68655). Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Inostroza-Ruiz L., et al. (2023). "Globalización e industria farmacéutica: la dimensión ética del cuidado de la salud." Encuentros. Revista de Ciencias Humanas, Teoría Social y Pensamiento Crítico 17: 26-38.

Krause, K. M., Serio, A. W., Kane, T. R., Connolly, L. E. (2016). Aminoglycosides: An Overview. Cold Spring Harb Perspect Med. 6(6): a027029. Doi: 10.1101/cshperspect.a027029. PMID: 27252397; PMCID: PMC4888811.

Loor, A. (2022). Determinación de límites de confianza en valoración microbiológica de gentamicina de dos formas farmacéuticas bajo la venta de medicamento genérico o de marca utilizando el método cilíndrico placa. Tesis maestría. Escuela Superior Politécnica. ESPOL. FCNM. del Litoral. http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56484.

MGA 0100, Valoración Microbiológica de Antibióticos de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, 13a edición, (2021).

United States Pharmacopeia, (2022), “Sulfato de Gentamicina, Inyección”, 43 NF 38., p. 49759.

EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DEL PROBIÓTICO *Bacillus toyonensis* EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LECHONES

Alma Rosa Álvarez Cruz[1], Juan A. Núñez Colima[2]*, Juan A. Granados Montelongo[2], Ernesto Torres García[3]. Aida I. Leal Robles[4], Francisco A. Gordillo Mendoza[5]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Estudiante de la carrera de Ingeniero Agrónomo Zootecnista, Saltillo, Coahuila, México. [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Recursos Naturales Renovables, Saltillo, Coahuila, México. [3]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Ciencias Básicas, Saltillo, Coahuila, México. [4]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Botánica, Saltillo, Coahuila, México. [5]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Fitomejoramiento, Saltillo, Coahuila, México. *Autor de Correspondencia: janc.199021@gmail.com

Introducción

La porcinocultura es parte fundamental de la economía social, la crianza y comercialización de los porcinos genera empleos y desarrollo en diferentes zonas del País (INAES, 2018), en México existen tres sistemas de producción de carne de cerdo: el tecnificado, semitecnificado y de traspatio, para el año 2022 se contabilizó un inventario superior a los 18 millones de animales con una producción de más de 1.4 millones de toneladas de carne anual, el 77 % de la producción nacional se distribuye en los siguientes Estados Jalisco, Sonora, Puebla, Yucatán, Veracruz y Guanajuato (SENASICA, 2022).

Los suplementos alimenticios son productos diseñados para complementar la dieta regular de los animales, ya sea para proporcionar nutrientes adicionales, corregir deficiencias nutricionales o apoyar funciones específicas del organismo, dependiendo de su objetivo puede contener vitaminas, minerales, aminoácidos o hasta ácidos grasos esenciales u otros compuestos nutricionales, que pueden estar disponibles como tabletas, polvos, líquidos o incluso incorporados en el alimento principal (Arquimea, 2022). Los probióticos han sido definidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), como organismos vivos que cuando se administran en cantidades adecuadas confieren un beneficio para la salud del hospedero (FAO, 2021). Son pocos los estudios donde se involucra el uso de *Bacillus toyonensis* en lechones, se han realizado investigaciones; sobre la aplicación de probióticos en diferentes especies de monogástricos, aplicada en diferentes protocolos, así como distintos criterios a evaluar, existen estudios de *Bacillus Toyonensis* (BT) en animales como los son conejos y aves, inclusive en cerdos, los estudios realizados en diferentes etapas de desarrollo de los animales han dado como resultado mejoras en el estado de la salud de los animales junto con mejora en la productividad y al estado inmune (Pinheiro, 2007), sin embargo, en la etapa de pre inicio y destete no existe información, por lo anterior el objetivo del presente trabajo es evaluar el desarrollo y el crecimiento de los lechones en la etapa de pre inicio y destete durante un lapso de seis semanas (46 días).

Materiales y métodos

El experimento, se llevó del día 14 de febrero de 2024 y al día 30 de marzo de 2024 , en la Granja Porcina de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Buenavista, Saltillo, Coahuila en las siguientes coordenadas: 25°21´10´´ latitud norte y 101°1´52´´ longitud oeste, a una altitud de 1783 msnm (Google Maps, 2024).

En el siguiente cuadro (cuadro 1) se muestra cada uno de los tratamientos, así como las diferentes fechas en las que se aplicó *Bacillus toyonensis* con nombre comercial Toyocerin, la dosis utilizada fue 0.5 mg por individuo.

Cuadro 1. Diferentes tratamientos aplicados a los lechones.

Tratamientos	Procedimiento	Tiempo de duración de cada tratamiento aplicado
1	Alimento durante la lactancia (preinicio) + Bacillus Toyonensis.	15 días
2	Alimento durante el destete (iniciador)+ Bacillus Toyonensis.	15 días
3	Alimento (Testigo)	15 días

Variables a evaluar. Se utilizaron lechones de la raza Landrace de los cuales fueron usados cuatro individuos machos para cada tratamiento todos de la misma edad, los lechones fueron pesados desde el primer día con una báscula digital de la marca Grane scale, mientras que para la condición corporal se utilizó una cinta métrica, estas evaluaciones se llevaron a cabo cada semana.

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de medidas repetidas en el tiempo donde se evaluaron las seis fechas de muestreo para cada variable (Ganancia de peso (kg), Condición Corporal (cm), posterior a los análisis antes mencionados se realizó un análisis de comparaciones múltiples de medias de Tukey. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa estadístico SPSS 26, con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$.

Resultados y discusión

Peso. El análisis de medidas repetidas en el tiempo muestra que hay diferencia estadística significativa para el paso de las semanas en los tratamientos ($F= 329.96$, g.l.= 5,90, $P < 0.00$), así como en la interacción semanas por tratamientos ($F= 1.680$, g.l.= 25,90, $P < 0.040$). El tratamiento uno fue el mejor de los tratamientos con un peso de 10.4 kg, seguido por el tratamiento tres y dos (9.4 y 8.5 kg), en el cuadro 2 se muestra cada uno de los tratamientos respectivamente con las semanas del estudio.

Cuadro 2. Promedio ± la desviación estándar de los pesos semanales de cada tratamiento durante un lapso de seis semanas.

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
M_T1	3.37 ± 0.26a	4.6 ± 0.36a	5.82 ± 0.40a	7.2 ± 0.53a	8.4 ± 0.80a	8.67 ± 1.28ab
M_T2	2.17 ± 0.65b	3.2 ± 0.69b	3.92 ± 0.92b	4.82 ± 1.16b	5.87 ± 1.51b	5.9 ± 2.04b
M_T3	2.82± 0.46ab	4.3 ± 0.53a	5.67 ± 0.53a	6.82 ± 0.49a	8.25 ± 0.73ab	8.67 ± 1.18ab

En los resultados obtenidos durante los 46 días de investigación no se encontraron diferencias significativas, ya que el tratamiento 3 que es el testigo obtuvo el mismo resultado que el tratamiento uno con peso con promedio de 8.67 ± 1.18 Kg, sin embargo, el tratamiento dos fue el menor en la obtención de ganancia de peso teniendo un promedio de 5.9 ± 2.04 debido al tiempo de administración del probiótico como se puede observar en la figura 1. Carriño (2014) realizó una investigación donde desteto a los 26 días y con una duración de 21 días en su experimento, en el cual sus mejores resultados fue el tratamiento 2 (alimento normal + 0.05 de BT) con una ganancia de 8.647 kg en el cual sus resultados fueron inferiores a los que obtuvimos en el tratamiento 1 con un peso de 8.67 kg (alimento + 0.05 g de BT) esto fue durante la etapa de pre inicio durante 15 días, esto se debe a que el probiótico Bacillus Toyonensis ayuda a la disminución de trastornos digestivos y reducción de bacterias patógenas, y por ende aumenta la digestibilidad de los nutrientes en el intestino, permitiendo una mejor absorción de proteínas y nutrientes (Mccartney, 1992).

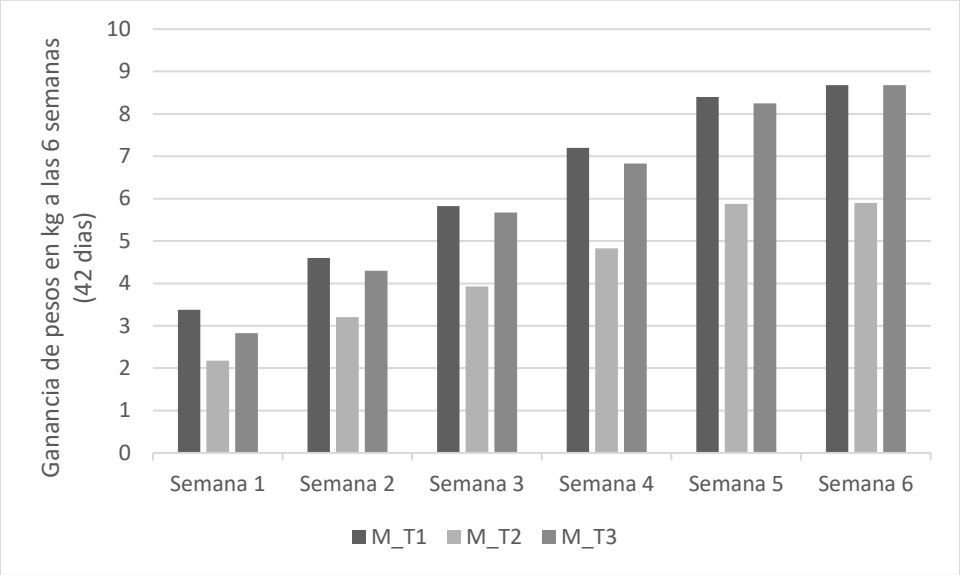


Figura1. Gráfica de los promedios de los pesos de los individuos durante un lapso de seis semanas con los diferentes tratamientos en lechones en la Granja Porcina de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

M_T1= Se les suministro el BT con alimento iniciador a partir de los 7 días de nacidos y se les elimino hasta cumplir los 15 días del consumo. M_T2= Se les suministro el BT con alimento iniciador a partir de los 22 días de nacidos una vez estando en destete y se les retiro una vez cumpliendo 15 días de consumo. M_T3= No se les administro ninguna cantidad de BT.

Ancho del Lomo. El análisis de medidas repetidas en el tiempo muestra que hay diferencia estadística significativa para el paso de las semanas en los tratamientos (F= 345.288, g.l.= 5,90, P < 0.00), así como en la interacción semanas por tratamientos (F= 1.227, g.l.= 25,90, P < 0.239). El tratamiento tres fue el mejor de los tratamientos para el desarrollo del ancho del lomo (46.9 cm), seguido por el tratamiento dos y uno (46 y 43.1 cm), en el siguiente cuadro se muestra cada uno de los tratamientos respectivamente con las semanas del estudio, como se puede observar en el cuadro 3.

Cuadro 3. Promedio de la condición ± desviación estándar del ancho del lomo de cada tratamiento durante seis semanas.

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
M_T1	30.25 ± 1.84b	37.025 ± 2.64a	38.25 ± 2.22a	40.1 ± 2.16a	45.07 ± 3.33ab	45.55 ± 3.19ab
M_T2	26.25 ± 2.90b	31.125 ± 3.29b	31.75 ± 2.77b	34.75 ± 1.84b	39.9 ± 3.65b	40.52 ± 3.41b
M_T3	30.12 ± 2.86b	33.7 ± 1.53ab	34.87 ± 1.10ab	37.92 ± 1.64ab	45 ± 1.60ab	45.9 ± 1.63ab

En los resultados obtenidos durante los 46 días de investigación se encontraron diferencias significativas, por lo tanto, el tratamiento uno obtuvo mejores desarrollos del ancho del lomo con promedio de 45.55 ± 3.19 cm, sin embargo, el tratamiento dos fue el menor en la obtención condiciones corporales de un promedio de 40.52 ± 3.41.

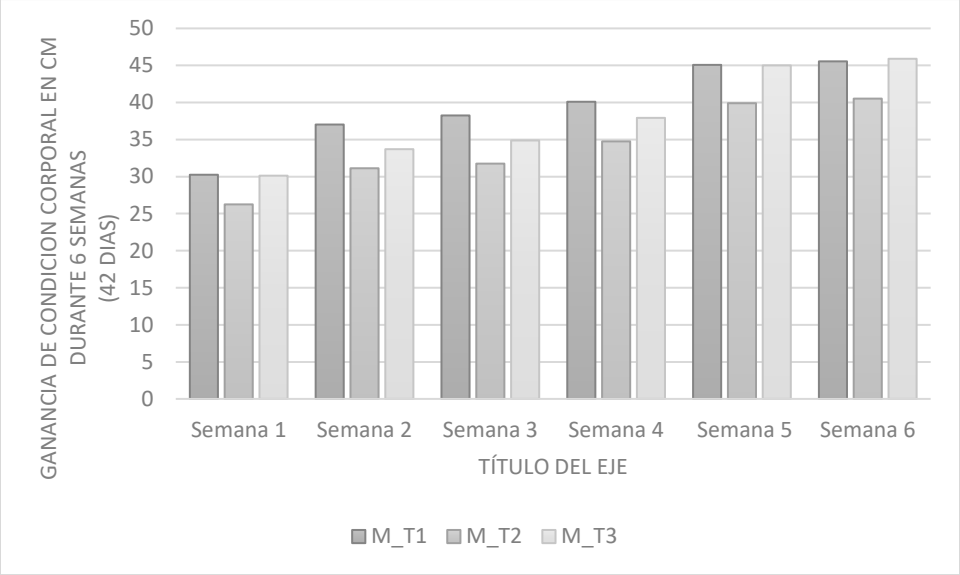


Figura 2. Gráfica de los promedios de la ganancia de condición corporal de los individuos durante un lapso de seis semanas con los diferentes tratamientos en lechones en la Granja Porcina de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

M_T1= Se les suministro el Toyocerin con alimento iniciador a partir de los 7 días de nacidos y se les eliminó hasta cumplir los 15 días del consumo. M_T2= Se les suministró el BT con alimento iniciador a partir de los 22 días de nacidos una vez estando en destete y se les retiro una vez cumpliendo 15 días de consumo. M_T3= No se les administro ninguna cantidad de BT.

Respecto a la condición corporal actualmente no se han hecho investigaciones donde midan esta variable, sin embargo, al realizar este trabajo de investigación se puede observar en el cuadro 3 que si hay diferencias significativas, esto se debe a que el probiótico Bacillus Toyonensis ayuda a la disminución de trastornos digestivos y reducción de bacterias patógenas, lo cual hace que se logre mayor utilización del alimento brindado (Mccartney, 1992), BT ayuda a equilibrar la microbiota intestinal, promoviendo la presencia de microorganismos los cuales son beneficiosos, evitando que los cerdos pasen por un periodo de estrés y tengan problemas gastrointestinales (FAO, 2001), es recomendable aplicar el tratamiento M_T1 ya que fue el que mostro mejor resultado en cuanto a ganancia de pesos y condición corporal, ya que funcionó como un reductor de incidencia de enfermedades digestivas debido al cambio de alimentación al momento de ser destetados y esto tubo una mejoría para el desarrollo de los lechones.

Conclusión

La suplementación con *Bacillus Toyonensis* en la alimentación de Lechones durante la etapa de pre-inicio, ayuda a mejorar el desarrollo de los mismos, incrementando la ganancia de peso y mejorando el ancho del lomo, evitando que los cerdos pasen por un periodo de estrés y tengan problemas gastrointestinales los cual les provocara que sufran un trastorno y por ende esto los puede llevar a una diarrea y causarles pérdida de peso, es por ello que es recomendable el uso de este producto para el crecimiento y desarrollo de los lechones.

Referencias

Arquimea. (31 de 07 de 2022). Obtenido de https://www.arquimea.com/es/blog/suplementos-alimenticios-dieta-animal/

Carriño. (2014). *Evaluación de cuatro niveles de Lactobacillus cereus variedad toyoi, como probiótico, en la performance de lechones destetados precozmente, en el distrito de Cerro Colorado, provincia y departamento Arequipa, 2013. Tesis de Licenciatura UCSM.* Obtenido de Evaluación de cuatro niveles de Lactobacillus cereus variedad toyoi, como probiótico, en la performance de lechones destetados precozmente, en el distrito de Cerro Colorado, provincia y departamento Arequipa, 2013. Tesis de Licenciatura UCSM.

Carriño. (2014). *Evaluación de cuatro niveles de Lactobacillus cereus variedad toyoi, como probiótico, en la performance de lechones destetados precozmente, en el distrito de Cerro Colorado, provincia y departamento Arequipa, 2013. Tesis de Licenciatura UCSM.*

FAO. (2001). Obtenido de: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/382476b3-4d54-4175-803f-2f26f3526256/content

FAO. (21 de 04 de 2021). Obtenido de http://www.fao.org/3/a0512e/a0512e.pdf

Google Maps. (26 de 08 de 2024). Obtenido de Google Maps: https://www.google.com/maps/@25.3529771,-101.0372382,15z?hl=es&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MDgyMy4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D

inaes. (13 de 04 de 2018). Obtenido de https://www.gob.mx/inaes/articulos/porcicultura-una-actividad-milenaria?idiom=es

Mccartney, E. (1992). *Bacillus toyoi : La biorregulación rentable.*

Pinheiro, M. &. (2007). Obtenido de https://polipapers.upv.es/index.php/wrs/article/view/590

senasica. (03 de 02 de 2022). Obtenido de https://www.gob.mx/senasica/articulos/porcino-lo-sabias-llega-el-instituto-mexicano-de-la-porcicultura#:~:text=la%20de%20ave.-,En%20M%C3%A9xico%2C%20existe%20un%20inventario%20superior%20a%20los%2018%20millones,ciento%20de%20la%20producci%C3%B3n%20naciona

Toyocerin en producción animal : la experiencia es un. (2022b).

Villarraga, C. (2019). *Evaluación de la ganancia de peso en cerdos suplementados con bacillus cereus variedad toyoi en la fase de precebos luis.*

SUPLEMENTACIÓN DE CABRAS CON SELENIO Y VITAMINA E EN LA ÉPOCA DE ANESTRO, Y SU RELACIÓN CON LA TASA OVULATORIA Y EL TAMAÑO DE CUERPOS LÚTEOS

Raquel Santos-Silva[1*], Cesar A. Meza-Herrera[1], Ma. Guadalupe Calderón-Leyva[2], Oscar Ángel-García[2], Cayetano Navarrete-Molina[3], Marco Andrés López-Santiago[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo 35230, México. [2]Departamento de Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna, Torreón 25315, México. [3]Universidad Tecnológica de Rodeo, Rodeo 35760, México. *Autor de correspondencia: raquel.santos@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

A nivel mundial la caprinocultura es una actividad socioeconómica que participa en la conservación de la biodiversidad y enfrenta los problemas de pobreza en zonas rurales y desérticas especialmente ante un aumento desmedido de la población y la demanda de alimentos de origen animal (Chávez-Espinoza et al., 2021; Vasco, 2001). En México, la mayor parte de la población caprina se encuentra en la parte árida y norte del país (Aréchiga et al., 2008), donde las cabras han desarrollado la habilidad de aprovechar, adaptarse y producir con la vegetación de estas zonas (Nava-Joachin et al., 2023). En la Comarca Lagunera, la mayor parte de las cabras se mantienen en pastizales, donde existen drásticas fluctuaciones alimentarias a lo cual se le suma un inadecuado balance de nutrientes, esto se ve reflejado en bajas condiciones corporales y a su vez en un inadecuado desempeño productivo y reproductivo (Machado-Ramos et al*.,* 2023, Calderón-Leyva, 2013). La reproducción de las cabras es estacional, por lo que el fotoperiodo afecta el aumento o disminución de la liberación de GnRH (Calderón-Leyva, 2017). Esto es una limitante fisiológica-ambiental para los productores así que el reto es extender la temporada de reproducción para generar más productos con la mayor calidad posible (Cano, 2016), de tal manera que a través de la suplementación de vitaminas y minerales podamos identificar nuevas alternativas de producción. El selenio es un mineral considerado como esencial en la suplementación del animal por su escasez en los suelos mexicanos, de igual manera, la vitamina E es el antioxidante que más se usa en la alimentación animal, participando en conjunto en la respuesta inmune, crecimiento, reproducción e integridad de los tejidos (Nava-Joachin et al., 2023; Delgado, 2015; Pérez, 2017; Carbajal et al., 2012), por lo tanto, el objetivo de este estudio fue cuantificar el posible efecto de la suplementación con Selenio + Vitamina E sobre la tasa ovulatoria y el tamaño promedio de cuerpos lúteos en cabras en la época de anestro bajo un sistema de producción intensivo en el norte de México.

Materiales y métodos

El estudio se realizó durante los meses de abril y mayo (i.e., anestro natural) del 2022 en el ejido Lázaro Cárdenas ubicado en el municipio de San Pedro, Coahuila de Zaragoza, México, entre las coordenadas geográficas 25°45´50´´ N y 103°11´03´´ W a una altura de 1111 msnm (Google Earth, 2023). El clima del lugar es muy seco semicálido con lluvias en verano. La temperatura promedio registrada es de 24 °C, máxima de 41 °C en mayo y junio, y mínima de -1 °C en diciembre y enero. El rango de precipitación media anual registrada es de 200 a 300 mm con variaciones durante el año que comprende entre los meses de mayo a octubre (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2021; Garza, 2010).

Para este experimento se utilizaron 32 cabras multíparas anéstricas multirraciales (i.e., cruzas de diversas razas lecheras) de un sistema de producción intensivo, las cuales se dividieron en dos grupos homogéneos con un peso vivo (PV, 39.4±1.3 Kg) y condición corporal (CC, 1.7±0.0 unidades, escala del 1-4) uniformes. Los animales fueron alimentados a base de heno de alfalfa, agua y sales minerales sin restricciones, se les adicionó 200 g de un concentrado comercial por cabra por día (14% PC). El estado del anestro estacional se confirmó evaluando la función ovárica, a través de dos exploraciones ecográficas en ambos ovarios con una diferencia de 7 días entre cada una de ellas, para esto se utilizó un ultrasonido transrectal (Chison Eco 2, transductor de 7.5 MHz de frecuencia). Solo se utilizaron las cabras que no mostraban evidencia de desarrollo folicular.

Después que se comprobó el estado anovulatorio de las cabras, éstas fueron inducidas a estro a través de la aplicación de progesterona (20 mg vía IM) y 24 horas después se les administró la hormona gonadotropina coriónica equina (eCG, 400 UI, vía IM) que fue considerado como el día cero, y se asignaron bajo un diseño completamente al azar a dos tratamientos: 1) grupo tratado (Se+Vit E; n=16) se les suministró 5 mg de Selenio más 350 UI de Vitamina E cada 7 días por 21 días y al 2) grupo control (CONT; n=16) se les aplicaron inyecciones con solución salina fisiológica (1ml, vía IM). Después, se introdujeron machos cabríos sexualmente activos a los dos grupos durante 10 días para inducir la actividad estral y ovulatoria (efecto macho) (Delgadillo et al*.,* 2012). En cuanto a las variables de peso vivo (PV) y condición corporal (CC), éstas se registraron cada 12 días antes de la alimentación durante todo el periodo del estudio. La CC se medió a través de palpación de la región lumbar (Iturbe, 2007).

Trece días después de la introducción de los machos, se realizó una ecografía en cada una de las cabras en ambos ovarios para determinar la tasa ovulatoria, registrando el número y tamaño de cuerpos lúteos (CL) encontrados.

Las variables de respuesta de atributos como el peso vivo y la condición corporal fueron analizadas mediante un análisis de varianza de parcelas divididas para muestras repetidas a través del tiempo. Se compararon las medias de tratamientos para las variables respuesta número de cuerpos lúteos (tasa ovulatoria) así como el diámetro de estos (TO y DCL, respectivamente) para determinar el efecto del tratamiento sobre la respuesta del grupo control. Todas las variables evaluadas fueron analizadas estadísticamente mediante el procedimiento GLM y LSD de SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA).

Resultados y discusión

En el cuadro 1 se muestran las medias de mínimos cuadrados y el error estándar para las variables de PV (kg), CC (unidades), TO (unidades) y DCL (milímetros). Solamente se observó diferencia ($P<0.05$) entre tratamientos a favor del grupo SEL+VIT E para la variable de tasa ovulatoria. Para las demás variables no se observaron diferencias ($P>0.05$) entre grupos experimentales.

Cuadro 1. Medias de mínimos cuadrados ± error estándar para Peso vivo inicial (PV1, kg), Condición corporal inicial (CC1, unidades), Tasa ovulatoria (TO, unidades) y Diámetro del cuerpo lúteo (DCL, mm) en cabras suplementadas con Selenio+Vitamina E (SEL+VIT E; n=16) o control (CONT; n=16) en condiciones fotoperiódicas naturales durante la época de anestro en el norte de México (25°31´41´´ N).

Variables	SEL+VIT E	CONT
PV1	41.36±1.67[a]	41.47±1.73[a]
CC1	1.60±0.05[a]	1.64±0.05[a]
TO	1.20±0.22[a]	0.42±0.22[b]
DCL	0.91±0.11[a]	0.92±0.19[a]

[a,b] Valores en la misma línea con diferente superíndice, difieren (P<0.05).

Las variables de PV y CC fue declarada no significativa (P>0.05) entre tratamientos, sin embargo, aunque se observó un ligero aumento a favor del grupo control, a lo largo del tiempo, los cambios encontrados no fueron estadísticamente significativos. Con relación a la variable tasa ovulatoria (TO), se observó una diferencia (P<0.05) a favor del grupo tratado (SE+VIT E) con respecto al grupo control (CONT). Para la variable de DCL no se observaron diferencias entre grupos experimentales (P>0.05).

En la hipótesis formulada al inicio del experimento se consideró que la suplementación con Se+Vit E aumentaría el número de cuerpos lúteos, así como el diámetro promedio de los mismos en cabras en época de anestro. De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, la hipótesis planteada no se rechaza debido a que el tratamiento con Se+Vit E si aumentó significativamente la variable de tasa ovulatoria en cabras anéstricas, sin embargo, no existieron diferencias respecto al diámetro de los cuerpos lúteos. Los resultados anteriores suponen que la suplementación de cabras en un estado metabólico bajo, durante el periodo de anestro, produjo incrementos en la tasa ovulatoria, aun cuando la suplementación con Se+Vit E sólo se brindo en un periodo corto de tiempo, lo cual es coincidente con lo publicado por Agredo (2018).

Vázquez-Hernández et al. (2017) reportan que la aplicación de Se genera un efecto inmediato y mediato sobre el número de cuerpos lúteos de manera positiva lo que concuerda con los resultados obtenidos en nuestro estudio. Sin embargo, la información con respecto al efecto del Se en el desarrollo de CL aún es poca, por otro lado, Tolentino-Castro et al. (2015) plantean que el tamaño de la cavidad del cuerpo lúteo puede variar debido a que puede contener líquido en su interior o reducir su tamaño al avanzar el ciclo estral, sin que la producción de P4 o la fertilidad se vea alterada.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que la suplementación con Selenio+Vitamina E en cabras durante la época de anestro en el norte de México (25°), influye significativamente en el número de cuerpos lúteos detectados, sin incidir en el diámetro de los cuerpos lúteos, lo anterior sin diferencias en el peso vivo y la condición corporal entre los grupos experimentales

Referencias

Agredo, P. J. A., (2018). Efecto del estrés nutricional sobre la función lútea post-servicio en cabras inducidas a ovular durante el anestro estacional. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/1003/1/RI004106.pdf

Aréchiga, C. F., Aguilera, J. I., Rincón, R. M., Méndez de la Lara, S., Bañuelos, C. A. y Meza-Herrera, C. A. (2008). Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización. *Tropical and Subtropical Agroecosystems,* 9(1). https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911227001

Calderón-Leyva, M. G. (2013). Suplementación de glutamato, inicio de pubertad y metabolitos sanguíneos en cabras: proteína total y urea. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo].

Calderón-Leyva, M. G. (2017). Control de la actividad sexual de ovejas nulíparas mediante carneros Dorper tratados con testosterona y/o glutamato: comportamiento sexual y efecto macho. [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro].

Cano, V. O. (2016). Efecto de la suplementación de nopal enriquecido (Opuntia megacantha-salm-dyck) sobre el comportamiento reproductivo en cabras anéstricas expuestas al efecto macho bajo condiciones extensivas. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo].

Carbajal, H. M. A., Aquí, Q. G. C. y Díaz, G. C. (2012). Uso de selenio en ovinos. *Abanico veterinario.* https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7390217.pdf

Chávez-Espinoza, M., Cantú-Silva, I., González-Rodríguez, H., Montañez-Valdez, O. D. (2021). Sistemas de producción de pequeños rumiantes en México y su efecto en la sostenibilidad productiva. *Revista MVZ Córdoba,* 27(1). https://revistamvz.unicordoba.edu.co/article/view/e2246/3640

Delgadillo, J. A., Duarte, G., Flore, A., Vielma, J., Hernández, H., Fitz-Rodríguez, G., Bedos, M., Fernández, I., Muñoz-Gutiérrez, M., Retana-Márquez, M. S. y Keller, M. (2012). Control de la actividad sexual de los caprinos sin hormonas exógenas: uso del fotoperiodo, efecto macho y nutrición. *Tropical and Subtropical Agroecosystems,* 15(1). https://www.redalyc.org/pdf/939/93924484002.pdf

Delgado, V. J. L. (2015). Respuesta reproductiva de cabras en anestro estacional al efecto macho más hembras estrogenizadas en dos sistemas de producción. [Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6889/REPRODUCTIVACABRASANESTROESTACIONALEFECTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Garza, F. E. (2010). *Periódico oficial*. http://periodico.sfpcoahuila.gob.mx/ArchivosPO/73-PS-10-SEP-2010.PDF

Google earth. (2023). https://earth.google.com/web/search/ejido+lazaro+cardenas+coahuila/@25.76418305,-103.18424929,1110.26426703a,131.59113326d,35y,0.00000001h,44.96910474t,360r/data=CokBGl8SWQolMHg4NjhmY2E2MzgxMjFlZjA3OjB4ODlhY2NlODZhZGFmN2RmNxkOJJRjV8M5QCGKKNzh5ctZwCoeZWppZG8gbGF6YXJvIGNhcmRlbmFzIGNvYWh1aWxhGAEgASImCiQJvufl8QeVSEAR846aRTmRSEAZsrlClYgjNEAhBmiD1tUJNEA

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). *Aspectos geográficos Coahuila de Zaragoza.* https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_05.pdf

Iturbe, D. M. (2007). Condición corporal en cabras lecheras. [Monografía, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42263/MARIO%20ITURBE%20DIAZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Machado-Ramos, M. G., Meza-Herrera, C. A., De Santiago-Miramontes, A., Mellado, M., Véliz-Deras, F. G., Arellano-Rodríguez, F., Contreras-Villarreal, V., Arévalo, J. R., Carrillo-Moreno, D. I. and Flores-Salas, J. M. (2023). A circular economy approach to integrate divergent ruminant production systems: using dairy cow feed leftovers to enhance the out-of-season reproductive performance in goats. *Animals,* 13(2431). https://www.researchgate.net/publication/372680878_A_Circular_Economy_Approach_to_Integrate_Divergent_Ruminant_Production_Systems_Using_Dairy_Cow_Feed_Leftovers_to_Enhance_the_Out-of-Season_Reproductive_Performance_in_Goats/fulltext/64c50beb6f28555d86e05075/A-Circular-Economy-Approach-to-Integrate-Divergent-Ruminant-Production-Systems-Using-Dairy-Cow-Feed-Leftovers-to-Enhance-the-Out-of-Season-Reproductive-Performance-in-Goats.pdf?origin=ResearchDetailAlternativeSimilarResearch&_rtd=eyJjb250ZW50SW50ZW50Ijoic2lt

aWxhciJ9&_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6Il9kaXJlY3QiLCJwYWdlIjoicHVibGljYXRpb24ifX0

Nava-Joachin, F., Ángel, G. O., Rojas, H. S., Olivares, P. J., Quiroz, C. F., Valdés, M. A. D. y Robledo, R. 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(1). https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9029427

Pérez, G. R. (2017). Influencia de la vitamina E (Natural vs. Sintética) en dietas enriquecidas con ácido α-linolénico sobre la producción y composición de la leche de oveja. [Tesis de maestría, Universidad de Valladolid].

Tolentino-Castro, C., Miranda-Jiménez, L., Quero-Carrillo, A. R. y Pescador-Salas, N. (2015). Frecuencia, morfología y concentración de progesterona in vitro de cuerpos lúteos cavitarios de ovejas. *Agrociencia,* 49(3). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000300003

Vasco, M. J. A. (2001). Evaluación productiva de la cabra boer en el árido norte de México. [Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro].

Vázquez-Hernández, S. D., Miranda-Jiménez, L., Segura-León, O. y Quero-Carrillo, A. R. (2017). Desarrollo de folículos y cuerpo lúteo en cabras como respuesta al suministro de selenio. *Agroproductividad* 10(2). https://core.ac.uk/download/pdf/249320725.pdf

COBERTURA VEGETAL Y VARIABLES DEL SUELO EN LA ESTABILIDAD DE AGREGADOS EN UN AGOSTADERO SEMIÁRIDO

Alfonso Serna-Pérez[1]*, José Israel Casas Flores[1], Francisco G. Echavarría-Chairez[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Km 24.5 Carr. Zacatecas-Fresnillo, Calera, Zacatecas, México. *Autor de correspondencia: serna.alfonso@inifap.gob.mx

Introducción

En los agostaderos semiáridos del centro norte de México es muy importante conservar y mejorar la condición de los pastizales. En esta región hay degradación del suelo, pérdida de la cobertura vegetal y cambios en la composición florística que afectan la habilidad del agostadero para solventar las necesidades alimenticias de las especies animales de interés económico. El cambio en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y los procesos ecológicos asociados suceden a cambios importantes en la vegetación de los sitios de pastoreo (Herrick et al., 2002). La reducción de la cobertura vegetal expone al suelo a los efectos de la precipitación pluvial resultando, ya sea en el encostramiento o la dispersión del suelo, reducción del contenido de materia orgánica por oxidación (exposición a la radiación directa) y cambios en la densidad y porosidad del suelo lo que puede afectar su estabilidad y agregación (Brady & Weil, 2000). Por lo que es necesario identificar los factores relacionados con la vegetación, edáficos, geomorfológicos y su interrelación, así como de manejo asociados con los ciclos de energía, nutrientes y agua con la finalidad de entender los procesos involucrados, modelarlos y ubicarlos de manera geográfica para diseñar formas de manejo y de mejora de las áreas de pastizal. El objetivo de este trabajo fue estimar la correlación entre variables de la cobertura vegetal y del suelo con la estabilidad de agregados en un agostadero semiárido en Zacatecas.

Materiales y métodos

El área de estudio es una cuenca de 135 ha dedicada a la producción de ganado bovino para carne ubicado en Valparaíso, Zacatecas (22° 48' 20.93'' N, 103° 38' 9.74'' O, a 2018 msnm). Se geolocalizaron (GPS) 28 sitios de muestreo donde la vegetación presentó diferencias en su composición y condición, suelo, erosión, pendiente y geomorfología. En cada sitio se estimó la pendiente del terreno en cinco repeticiones con regla graduada y nivel. Se determinó la densidad aparente (Dap, gcc^{-1}) con cilindro de volumen conocido (Black, 1965). Se colectaron varios agregados de la capa superficial del suelo, se empacaron con cuidado y se secaron directamente exponiéndolos al ambiente. Con una barrena de caja se determinó la profundidad del suelo fértil y la profundidad total del suelo hasta la capa dura. Se tomó muestra de suelo compuesta a partir de tres submuestreos de la capa superficial (de 20 - 30 cm), las muestras se secaron y tamizaron para retirar gravillas mayores a 2 mm de diámetro. En el laboratorio se estimó el contenido gravimétrico de humedad ($\Theta_{g/g}$) a 0.03 y 1.5 Mpa con el método de ollas y membranas de presión y se estimó la humedad volumétrica aprovechable ($\Theta_{v/v}A=\{\Theta_{g/g[0.03MPa]}-\Theta_{g/g[1.5MPa]}\}\times Dap$). Además, con métodos recomendados por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2003) se determinó textura, contenido de materia orgánica (%), Nitrógeno inorgánico y Fósforo (N y P; mg Kg^{-1}), pH, conductividad eléctrica (dS m^{-1}) y aniones y cationes solubles (Carbonatos, Bicarbonatos, Cloruros, Sulfatos, Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio en meq L^{-1}). Se estimó la estabilidad de agregados en agua (tres agregados por sitio) usando el equipo y procedimiento recomendado por Herrick et al. (2002) y Herrick et al. (2005 a y b).

En el mes de septiembre, en cada sitio de muestreo se estimó la cobertura del suelo con transecto de 40 m de longitud con el método de intercepción línea-punto a cada metro. Se registraron todos los elementos de la cobertura interceptados desde la superficie del suelo hasta el dosel superior, reportándose la cobertura de dosel (foliar) y basal (Herrick et al., 2005 a y b). Se usó como parte del estudio la cobertura de dosel (%) por ser la proyección visible desde un observador aéreo y la definimos como cobertura foliar. Los elementos registrados fueron pastos y herbáceas, pasto rosado, arbustos (espinosos y no espinosos), arbórea, material vegetal seco (MVS), grava, rocas y suelo desnudo (Sd+R+Gr). También al final de la estación lluviosa (octubre) se realizó vuelo aéreo no tripulado (VANT), a través del área de estudio utilizando un dron de ala fija eBee integrado con una cámara Canon S110 NIR. La altura de vuelo fue a 114 m lo que permitió una resolución espacial de pixel de 4 cm por lado. Las imágenes se utilizaron para generar un ortomosaico con las bandas espectrales Verde (GREEN; 0.53-0.59 nm), Roja (RED; 0.64-0.67) y NIR (Infrarrojo cercano; 0.7-2.5 nm).

Todas las variables reportadas como porcentaje fueron ajustados a la distribución normal usando la transformación: $\text{arco seno}\sqrt{\text{porcentaje}}$. Por sitio, la estabilidad de agregados se correlaciono linealmente (r) con el resto de la información obtenida. Solo las correlaciones estadísticamente significativas (P=0.05 y P=0.01) son reportadas. Con fines de comparación y para ayudar a la presentación y discusión de los resultados se obtuvieron mediante técnicas geomáticas mapas de variables con correlación estadísticamente significativas, aquí se presentan de manera gráfica: cobertura de pastos y herbáceas, humedad volumétrica aprovechable ($\Theta_{v/v}A$), Potasio (soluble), profundidad del suelo fértil, además de la estabilidad de agregados y un ortomosaico. Para ello, se creó una base de datos de los sitios y su correspondiente valor, después el software QGis (Sistema de información geográfico) usando la herramienta de interpolación IDW (Ponderación de distancia inversa) se interpolaron valores por celda calculando promedios de los datos por punto de muestreo en la vecindad de cada celda. Esto para un área de 30 ha con la mayor variación de vegetación, suelo y pendiente en 13 sitios de muestreo.

Resultados y discusión

En el cuadro 1 se muestran los coeficientes de correlación entre la estabilidad de agregados, elementos de la cobertura foliar y profundidad del suelo que resultaron estadísticamente significativos. La cobertura por pastos y herbáceas y pasto rosado presentaron una correlación estadísticamente significativa y muy significativa con la estabilidad de agregados. La correlación fue negativa para el primer tipo de cobertura y positiva para el segundo. Lo que indicó que el pasto rosado, al ser una planta invasora de reciente aparición en la región ha competido mejor por el espacio que los pastos “nativos” o con un mayor tiempo de establecimiento en la región.

Cuadro 1. Correlación lineal entre estabilidad de agregados, y Cobertura (foliar) y profundidad del suelo Valparaíso, Zacatecas.

Cobertura por (foliar, %)		Profundidad (cm)	
Pastos y herbáceas	Pasto rosado	Suelo fértil	Total (hasta capa pedregosa)
-0.490**	0.338*	-0.468**	-0.356**

Variables determinadas a través de 28 sitios del área de estudio. *r ≥ 0.317 (P=0.05); **r ≥ 0.0.437 (P=0.01).

La profundidad de suelo fértil y la total mostraron una correlación muy significativa estadísticamente y en sentido negativo con la estabilidad de agregados, lo que podría sugerir que los suelos entre más delgados presentarían una mayor estabilidad. Esto puede explicarse a partir de la información misma de profundidad del suelo tanto fértil como total o del perfil. Ambos tipos de profundidad están directamente correlacionadas (r=0.726) es decir una profundidad mayor de suelo fértil corresponde a una mayor del perfil o total, además de que esto sucede solamente en cinco sitios, dos de los cuales coinciden con valores muy bajos de estabilidad de agregados. Por lo que en general ambas profundidades medias tienden a ser bajas, 19.3 cm y 34.8 cm, para suelo fértil y total, respectivamente.

En el cuadro 2 se muestran los coeficientes de correlación entre la estabilidad de agregados, elementos de la cobertura foliar y profundidad del suelo que resultaron estadísticamente significativos. Los componentes de la textura del suelo, arena y arcilla fueron estadísticamente significativos con la estabilidad de agregados del suelo, y con una relación positiva en el primer caso y negativa en el segundo. Alrededor del 50 % de los sitios de muestreo tienden a ser suelos arenosos y franco arenosos, el 39 % son franco arcillo arenosos y solo el 11 % presentan una proporción importante de arcilla lo que puede explicar el sentido de la correlación. Con respecto a la humedad volumétrica, el contenido a 0.03 y 1.5 MPa fueron muy significativas y la aprovechable estadísticamente significativas con la estabilidad de agregados. Aunque por la razón explicada anteriormente con respecto al contenido de arcillas, con una correlación negativa. El Potasio soluble (K) del suelo fue la única variable química que presentó una correlación positiva con la estabilidad de agregados del suelo.

Cuadro 2. Correlación lineal entre estabilidad de agregados y componentes de la textura, humedad volumétrica y cationes solubles del suelo Valparaíso, Zacatecas.

Textura		Humedad volumétrica ($\Theta_{[v/v]}$, %)			Cationes solubles ($MeqL^{-1}$)
Arena (%)	Arcilla (%)	0.03MPa	1.5 MPa	Aprovechable	K
0.420*	-0.430*	-0.492**	-0.511**	-0.339*	0.394*

Variables determinadas a través de 28 sitios del área de estudio. *r ≥ 0.317 (P=0.05); **r ≥ 0.0.437 (P=0.01).

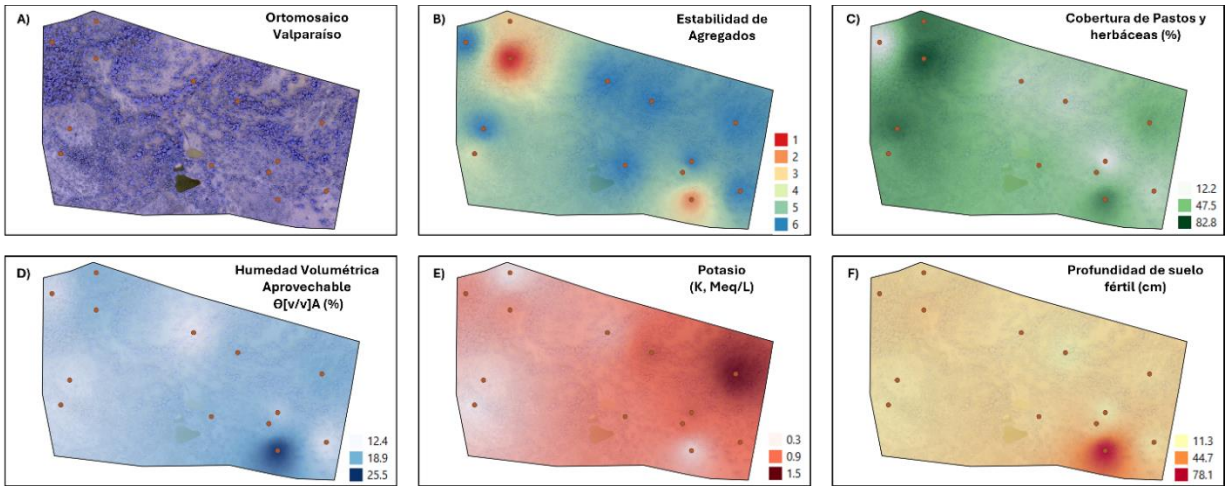


Figura 1. (A,B,C,D,E y F). Ortomosaico y distribución en el área pastoreada de la estabilidad de agregados, cobertura de pastos y herbáceas, humedad volumétrica aprovechable, potasio soluble y profundidad del suelo fértil. Valparaíso, Zacatecas.

En la figura 1 (A,B,C.D,E y F) se muestra el Ortomosaico y la distribución, a través del área de estudio, de la estabilidad de agregados, cobertura de pastos y herbáceas (foliar), humedad volumétrica aprovechable, Potasio (K) y profundidad del suelo fértil. En la figura 1 A se puede observar la distribución de la vegetación principalmente de la arbustiva y arbórea en donde los puntos rojos corresponden con los 13 sitios de muestreo usados para la interpolación de las diferentes variables representadas. En la figura 1 B, se muestra la distribución en el espacio de la estabilidad de agregados (en agua), que de acuerdo con Herrick et al. (2005 a) es la variable para calificar el desarrollo estructural y la resistencia a la erosión del suelo, además de reflejar su integridad biótica. En general la coloración observada indica la presencia de valores altos de estabilidad de agregados (4 a 6) y solo dos sitios con magnitudes de estabilidad muy bajas representando una mínima proporción del área observada, lo que sugiere que el pastoreo se ha llevado con orden y procurando que la cobertura vegetal sea relativamente alta como se observa en la figura 1 C, en donde a simple vista las coberturas de pastos y herbáceas tienden a ser igual o mayores al 50 porciento. Sin embargo, la humedad aprovechable (figura 1 D) sí reciente el efecto de la frecuencia de suelos menos profundos (figura 1 F). Es importante hacer notar que esta área de pastoreo se localiza al inicio de la sierra por lo que las precipitaciones tienden a ser mayores. La distribución en el espacio del Potasio (K) soluble se presenta en la figura 1 E.

Conclusiones

La cobertura por pastos y herbáceas y pasto rosado presentaron una correlación estadísticamente significativa y muy significativa con la estabilidad de agregados. La correlación fue negativa para el primer tipo de cobertura y positiva para el segundo. La profundidad de suelo fértil y la total mostraron una correlación muy significativa estadísticamente y en sentido negativo con la estabilidad de agregados. Los componentes de la textura del suelo, arena y arcilla fueron estadísticamente significativos con la estabilidad de agregados del suelo, y con una relación positiva en el primer caso y negativa en el segundo. Con respecto a la humedad volumétrica, el contenido a 0.03 y 1.5 MPa fueron muy significativas y la aprovechable estadísticamente significativas con la estabilidad de agregados. El potasio soluble (K) del suelo fue la única variable química que presentó una correlación positiva con la estabilidad de agregados del suelo.

Referencias

Black, C. A. (1965). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling. Agronomy Monograph Series. Amer Soc Agron. Madison, Wis., USA.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2000): *Elements of the Nature and Properties of Soil*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, USA. 539 p.

Herrick, J. E., Brown, J.R., Tugel, A. J., Shaver, P. L., & Havstad, K. M. (2002). Application of soil quality to monitoring and management: Paradigms from rangeland ecology. *Agron J. 94(1)*, 3-11.

Herrick, J. E., Van Zee, J. W., Havstad, K. M., Burkett, L. M., & Whitford W.G. (2005 a). *Monitoring manual for grassland and savanna ecosystems. Volume I: Quick Start.* USDA-ARS Jornada Experimental Range, Las Cruces, NM, USA. 36p.

Herrick, J. E., Van Zee, J. W., Havstad, K. M., Burkett, L. M., & Whitford W.G. (2005 b). *Monitoring manual for grassland and savanna ecosystems. Volume II: Design, supplementary methods and interpretation*. USDA-ARS Jornada Experimental Range, Las Cruces, NM, USA. 200p.

SEMARNAT. (2003). *Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos*. Diario Oficial de la Federación del 23 de abril de 2003.

IMPACTO DEL FUEGO EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO EN ZONAS SEMIÁRIDAS DEL SURESTE DE SALTILLO

Diana Yemilet Avila-Flores, David Castillo-Quiroz*, Francisco Castillo-Reyes, Dora Alicia García-García

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Saltillo. *Autor para correspondencia: castillo.david@inifap.gob.mx

Introducción

Los ecosistemas áridos y semiáridos del norte de México abarcan 70.79 millones de hectáreas (Villavicencio-Gutiérrez et al.,2021); en estos ecosistemas se desarrolla el matorral xerófilo, caracterizado principalmente por especies entre otras arbustivas de hojas pequeñas y de forma de roseta, cactáceas y arbóreas (Rzedowski, 2006). Los incendios en las zonas áridas y semiáridas son menos frecuentes que en otras comunidades vegetales, su impacto puede causar daños considerables tanto a la cobertura y la diversidad de las especies, disminución de nutrientes y de materia orgánica en el suelo y la disminución de comunidades de organismos en el suelo y subsuelo (González-Medrano 2012; Guida et al., 2014). Los efectos en las propiedades del suelo están supeditados a la intensidad y duración del fuego (Añó et al., 2022) y su impacto puede modificar las propiedades físicas, químicas y biológicas (CONAFOR, 2010). Donde la materia orgánica es particularmente susceptible, logrando experimentar desde una ligera volatilización de componentes menores hasta la carbonización o la oxidación completa (Certini, 2005). El objetivo de la presente investigación fue evaluar las características físicas y químicas del suelo en seis áreas experimentales, de las cuales tres fueron impactadas por un incendio forestal en el año 1972 al sur del estado de Coahuila.

Materiales y Métodos

El presente estudio se realizó en el “Cañón de Molano” en el municipio de Saltillo, Coahuila (Figura 1). El área de estudio se encuentra dentro de una microcuenca ubicada dentro del Área Natural Protegida Sierra de Zapalinamé (Periódico Oficial, 1996). Esta área está situada al norte de la Sierra Madre Oriental y se extiende como una estribación de la Gran Sierra Plegada, en la región de transición entre las provincias florísticas de la Sierra Madre Oriental y la Altiplanicie. Se seleccionaron seis parcelas experimentales de 400 m², tres de estas fueron afectadas por un incendio en 1972 (SQ), en tanto, los tres restantes se tomaron como sitios testigo (ST), sin historial de incendios.

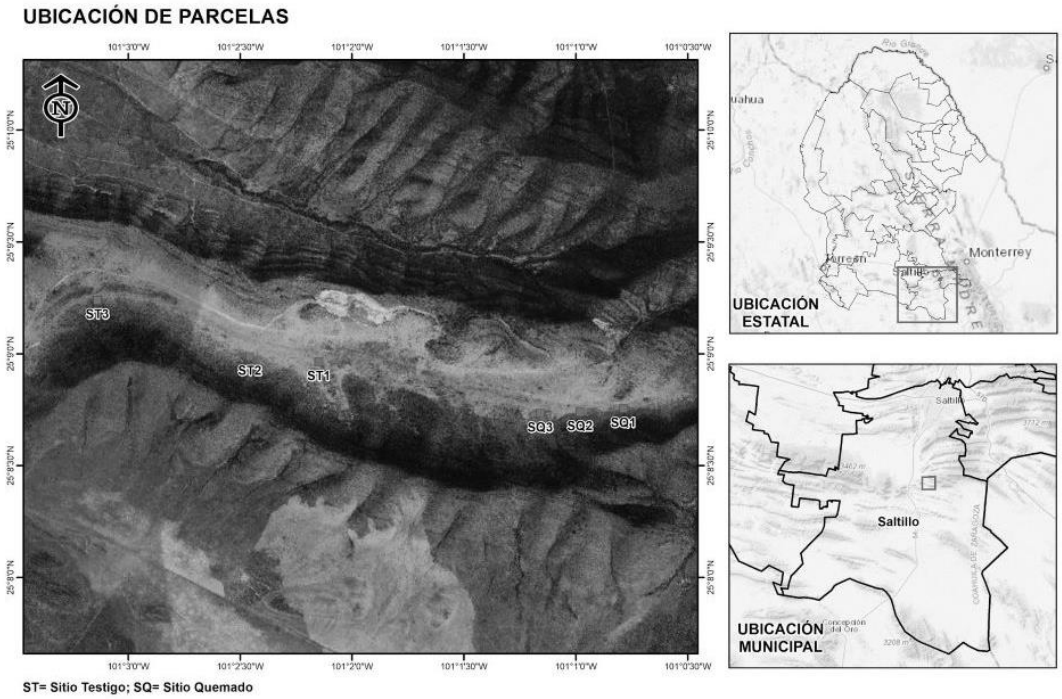


Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio.

El clima en el área de estudio está clasificado como templado subhúmedo (Cw), con una temperatura media anual que varía entre los 10°C y 18°C, y en algunas áreas de 18°C a 22°C, con una precipitación anual de 400 mm SMA (2022). Los suelos son del tipo Litosol. La vegetación en el área incluye comunidades vegetales con características propias de zonas áridas y semiáridas, específicamente del tipo de vegetación matorral desértico rosetófilo (Rzedowski, 2006), donde destacan especímenes en forma de roseta como los géneros *Dasylirion, Nolina, Yucca* y otras especies.

Toma de muestras de suelo. Para la determinación de las características físicas y químicas del suelo, al azar se obtuvo una muestra de suelo de 1 kg en cada parcela para su análisis correspondiente. Se determinó el % de materia orgánica, K extraíble (ppm), pH, % Arena, % Arcilla, % Limo, Clase Textural, N-NO3 (ppm), y los macro y micro elementos P (ppm), Fierro (ppm), Cobre (ppm), Zinc (ppm), Manganeso (ppm), Calcio (me/L), Magnesio (me/L), Sodio (me/L), Potasio (me/L), CaCO3 (me/L), HCO3 (me/L), Cloruros (me/L) y Sulfatos (me/L). El análisis del suelo se realizó en el Laboratorio de Suelos del Campo Experimental Río Bravo, del Centro de Investigación Regional Noreste del INIFAP.

Resultados y Discusión

Los resultados de la caracterización física de los suelos indicaron una textura franco y franco-arenosa tanto en suelo sometido a fuego como en suelo sin efecto del fuego (Cuadro 1). Así mismo, se observó una disminución del 27% en el contenido de materia orgánica en las áreas afectadas por el fuego (SQ) en comparación con las áreas testigo (ST). El pH del suelo, es tipo alcalino en ambos escenarios (Cuadro 1).

Según Lombao et al. (2015), indican que las alteraciones en las propiedades fisicoquímicas del suelo y el pH, generan impactos indirectos en las comunidades microbianas. Comúnmente, inmediatamente después de un incendio, se observa un aumento en el valor de pH, principalmente debido a la presencia de cenizas y bases intercambiables que neutralizan el suelo, provenientes de la materia orgánica quemada (Alva y Manosalva, 2019), aunque en estén caso no se alteró tal valor de pH en el suelo bajo efecto del fuego. Los niveles de Potasio (K), Fósforo (P) mostraron disminuciones en las áreas afectadas en comparación con el área testigo (Cuadro 2).

Cuadro 1. Propiedades físicas del suelo en el Cañón de Molano, municipio de Saltillo, Coahuila.

Nombre del Sitio	Clase Textural	% Arena	% Arcilla	% Limo
SQ1	Franco arenoso	62.76	11.06	26.18
SQ2	Franco	52.76	13.06	34.18
SQ3	Franco	46.76	16.06	37.18
ST1	Franco	48.76	12.06	39.18
ST2	Franco arenoso	56.76	7.06	36.18
ST3	Franco arenoso	56.76	7.06	36.18

Cuadro 2. Propiedades químicas del suelo en el Cañón de Molano, municipio de Saltillo, Coahuila.

Sitio	**% de Materia Orgánica**	**K extraíble (ppm)**	**N-NO_3 (ppm)**	**P (ppm)**	**pH**
SQ1	4.84	78	0.92	0.33	7.59
SQ2	5.23	373	2.75	1.99	7.44
SQ3	4.37	175	ND	0.88	7.58
Promedio	4.8	208.7	1.8	1.1	7.5
ST1	3.78	595	1.28	6.55	7.61
ST2	6.69	251	0.73	5.17	7.75
ST3	9.41	330	1.10	3.79	7.61
Promedio	6.6	392.00	1.0	5.2	7.7

ppm= partes por millón

En el Cuadro 3 se muestran los valores de los micronutrientes en el suelo bajo los dos escenarios evaluados. Según los resultados muestran una ligera disminución de los micronutrientes en zonas por la acción el fuego, debido posiblemente al efecto del tiempo transcurrido desde el inicio del siniestro (1972) y al momento de realizar la evaluación de la presente investigación.

Cuadro 3. Propiedades de los micronutrientes del suelo en el Cañón de Molano, municipio de Saltillo, Coahuila.

Sitio	Fierro (ppm)	Cobre (ppm)	Zinc (ppm)	Manganeso (ppm)	Calcio (me/L)	Magnesio (me/L)	Sodio (me/L)	Potasio (me/L)	Cloruros (me/L)	Sulfatos (me/L)
SQ1	1.909	1.030	0.586	3.795	2.13	0.86	5.22	0.00	1.40	5.20
SQ2	0.993	0.376	0.659	4.077	2.47	1.31	2.98	0.00	1.20	4.55
SQ3	0.659	1.108	0.450	3.895	2.13	0.76	2.36	0.00	0.40	3.65
	1.2	0.8	0.6	3.9	2.2	1.0	3.5	0.0	1.0	4.5
ST1	0.409	0.559	0.502	2.989	2.39	1.01	4.71	0.13	1.60	5.44
ST2	2.576	0.455	0.889	5.527	2.39	0.69	4.03	0.08	1.40	5.00
ST3	1.576	0.533	2.542	4.681	3.09	1.10	6.62	0.10	2.60	7.11
	1.5	0.5	1.3	4.4	2.6	0.9	5.1	0.1	1.9	5.9

SQ= sitios incendiados, ST =sitios testigo, ppm= partes por millón, me/L= miliequivalente por litro.

Estudios realizados por Vázquez y Fancelli (2006), evidencian una relación entre los microelementos y ciertas características químicas del suelo que afectan tanto el contenido como la movilidad en el perfil del suelo. Según las afirmaciones de Pulido (2014), la disponibilidad de micronutrientes en el suelo está sujeta a diversos factores físicos, químicos y biológicos, tales como la presencia de agua, el espesor del suelo, el tipo de materia orgánica y la existencia de organismos vivos. Según Cervera (2019), en incendios de alta intensidad, se observa una disminución en el contenido de materia orgánica del suelo, señalando que los horizontes superficiales son los más afectados por el fuego. Serna (2017), indica que, aunque no se observan cambios significativos en los valores de pH, se registra un ligero descenso en los niveles de pH. Según Foster y Motzkin (2003), el proceso de recuperación natural se lleva a cabo de manera integral cuando existen especies de importancia estructural, y este proceso se ve influido por las características particulares del suelo en términos de tipo y calidad. La regeneración natural demanda periodos extensos para su completa efectividad. Cabe resaltar la relevancia de la introducción de material vegetal y la modificación del relieve, ya que estas prácticas tienen el potencial de acelerar significativamente el proceso de retención de agua en el suelo, especialmente en zonas semiáridas.

Conclusiones

La composición del suelo mostró una reducción de materia orgánica y disminución de nutrientes en zonas impactadas por el fuego, con diferencias bajas, ello debido a la influencia del tiempo transcurrido desde la presencia del incendio y confirmando así la tendencia a la recuperación del área. Este tipo de estudio destaca la importancia de comprender los efectos de los incendios para la conservación de los ecosistemas áridos y semiáridos.

Referencias

Alva, D. M., & Manosalva, H. I. (2019). Efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el cañón de Sangal, Cajamarca. Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte. 90 p.

Añó Vidal, C., Sánchez Díaz, J., & Carbó Valverde, E. (2022). Efectos de los incendios en los suelos forestales de la Comunidad Valenciana. Revisión bibliográfica. Cuaternario y Geomorfología, 36. DOI: https://doi.org/10.17735/cyg.v36i1-2.92407

Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143, 1-10. DOI 10.1007/s00442-004-1788-8

Cervera, B., J. N. 2019. Evolución del incendio forestal de Carcaixent: dos años después (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2010). Incendios forestales. Guía práctica para comunicadores 59 p. http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20%20Incendios%20Forestales.pdf?_amp=true

Foster, D. R., & Motzkin, G. (2003). Interpreting and conserving the open land habitats of coastal New England: insights from landscape history. Forest Ecology and Management, 185(1-2), 127-150. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00251-2

González-Medrano. F. (2012). Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 173 p.

https://agua.org.mx/wpcontent/uploads/2012/11/las_zonas_aridas_y_semiaridas_de_mexico_y_su_vegetacion.pdf

Guida, R. J., Abella, S. R., Smith Jr., W. J., Stephen, H., & Roberts, C. L. (2014). Climatic change and desert vegetation distribution: assessing thirty years of change in Southern Nevada's Mojave Desert. The Professional Geographer, 66(2), 311-322.

https://doi.org/10.1080/00330124.2013.787007

Lombao, A., Barreiro, A., Carballas, T., Fontúrbel, M. T., Martín, A., Vega, J. A., Díaz R. M. 2015. Changes in soil properties after a wildfire in Fragas do Eume Natural Park (Galicia, NW Spain). Catena, 135, 409-418. https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.08.007

Periódico Oficial. (1996). Decreto del Área Natural Protegida, con Carácter de Zona Sujeta a Conservación Ecológica, un Área de la Serranía conocida como Zapalinamé. Coahuila, México; Periódico Oficial del Gobierno del estado de Coahuila. Saltillo, Tomo CIII: pp. 69-75.

Pulido, F. M. (2014). Indicadores de calidad del suelo en áreas de pastoreo. Universidad de Extremadura, España. 284 p.

Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 p. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxPort.pdf

Serna, V. A. (2017). Efectos en el suelo del incendio forestal de Carcaixent del 2016 (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València) 40 p.

https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/85714/memoria?sequence=1&isAllowed=y

Vázquez, M. & Fancelli, A. (2006). Micronutrientes en la fisiología de las plantas. *Editora Vázquez,* M. Micronutrientes en la Agricultura. Diagnóstico y fertilización en la Argentina. La experiencia brasilera, 11-22.

Villavicencio-Gutiérrez, E.E., Cano-Pineda, A., Castillo-Quiroz, D., Hernández-Ramos, A., Martínez-Burciaga, O.U. (2021). Manejo forestal sustentable de los recursos no maderables en el semidesierto del norte de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* Vol. Especial. 32-53 pp. DOI: https://doi.org/10.29298/rmcf.v12iEspecial-1.1083

EFECTO DEL FUEGO EN LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA DE LA VEGETACIÓN EN ZONAS SEMIÁRIDAS

Diana Yemilet Avila-Flores, David Castillo-Quiroz*, Francisco Castillo-Reyes, Dora Alicia García-García

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Noreste. Campo Experimental Saltillo. Carretera Saltillo-Zacatecas Km 342+119 No. 9515. Col. Hacienda Buenavista, Saltillo, Coahuila. *Autor para correspondencia: castillo.david@inifap.gob.mx

Introducción

Las zonas áridas y semiáridas en México ocupan más del 50% de su superficie, este tipo de ecosistemas integra diversas comunidades vegetales como arbóreas y arbustivas, conocidas comúnmente como matorral xerófilo, (Rzedowski, 2006). El fuego en estos ecosistemas provoca modificaciones físicas y químicas importantes, como la disminución de la cobertura vegetal y pérdida de la biodiversidad (Cydzik y Hogue, 2009). A pesar que los incendios en las zonas áridas y semiáridas son menos frecuentes que en otros tipos de ecosistemas, su ocurrencia puede causar daños considerables tanto a la cobertura y la diversidad de las especies (González-Medrano, 2012). Los incendios forestales son eventos comunes en el entorno natural, pero su ocurrencia suele ser impredecible (Zaitsev et al., 2016). Los ecosistemas áridos y semiáridos son sobre todo vulnerable a este tipo de alteraciones, como es el caso en el área de estudio, dado que conllevan la pérdida de la cobertura vegetal, lo que afecta negativamente su funcionalidad y la capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos. El impacto del fuego en el ecosistema está fuertemente relacionado con la intensidad del incendio (Vallejo et al., 2012), siendo más acentuado el impacto en áreas vulnerables con baja calidad de sitio como son las zonas áridas y semiáridas (Hedo et al., 2014). El objetivo de la presente investigación fue describir la vegetación en seis áreas experimentales, de las cuales tres fueron impactadas por un incendio forestal en el año 1972.

Materiales y Métodos

La presente investigación se realizó en el “Cañón de Molano” al sur en el municipio de Saltillo, Coahuila. El área de estudio se encuentra dentro de una microcuenca ubicada dentro del Área Natural Protegida Sierra de Zapalinamé (Periódico Oficial, 1996). Esta área está situada al norte de la Sierra Madre Oriental y se extiende como una estribación de la Gran Sierra Plegada, en la región de transición entre las provincias florísticas de la Sierra Madre Oriental y la Altiplanicie. Se delimitaron y establecieron parcelas experimentales de 400 m², tres en un área afectada por un incendio en 1972 (SQ), y tres como sitios testigo (ST) en un área sin historial de incendios.

Captura de información y análisis de datos. En cada una de las parcelas, se recolectaron datos dasométricos y ecológicos para vegetación herbácea, arbustiva y arbórea para estimar los siguientes parámetros: frecuencia, dominancia, densidad e identificación taxonómica de la composición florística. Para medir la diversidad de la comunidad se utilizaron los índices de Simpson $D = (\sum_(i = 1)\text{^}S\ ni \cdot (ni - 1))/(N \cdot (N - 1))$, Índice de Shannon $H = -\Sigma_(I = 1)\text{^}S\ pi \cdot In(pi)$, Dominancia $D = \Sigma_(i = 1)\text{^}S\ (pi/P)^2$.

Resultados y Discusión

En toda el área evaluada se registraron catorce especies distribuidas en nueve familias (Cuadro 1), destacando *Quercus pringlei* Seemen ex Loes con 326 individuos, seguido por *Pinus cembroides* Zucc. con 39 y *Nolina cespitifera* Trel. con 14. En los sitios incendiados (SQ), *Q. pringlei* destacó con 247 individuos, lo que puede ser relacionado con su capacidad de rebrote ya que esta, se ve estimulada como respuesta a los efectos generados por el incremento de la temperatura del suelo causado por el fuego.

Cuadro 1. Abundancia de especies por tipo de sitios en Cañón de Molano, municipio de Saltillo, Coahuila.

Especies	SQ1	SQ2	SQ3	ST1	ST2	ST3	Individuos	Familia
Berberis trifoliolata Moric.	0	1	0	0	0	0	1	Berberidaceae
Celtis pallida Torr.	0	1	0	0	0	0	1	Cannabaceae
Dasylirion cedrosanum Trel.	4	0	0	0	0	0	4	Asparagaceae
Ferocactus pilosus (Galeotti) Werderm	0	1	0	0	0	0	1	Cactaceae
Mammillaria heyderi Muehlenpf.	0	0	1	0	0	0	1	Cactaceae
Mimosa biuncifera Benth	0	0	0	0	2	8	10	Fabaceae
Nolina cespitifera Trel.	0	4	0	0	10	0	14	Asparagaceae
Opuntia engelmannii Salm-Dyck ex Engelm.	0	0	0	1	2	3	6	Cactaceae
Opuntia kleiniae DC.	2	0	0	0	0	4	6	Cactaceae
Pinus cembroides Zucc.	0	4	10	7	9	9	39	Pinaceae
Purshia plicata (D. Don) Hendrickson	1	1	6	2	1	0	11	Rosaceae
Quercus pringlei Seemen ex Loes	129	70	48	37	42	0	326	Fagaceae
Rhus virens Lindh. ex A. Gray	0	4	0	5	1	1	11	Anacardiaceae
Yucca carnerosana (Trel.) McKelvey	7	0	6	1	6	3	23	Asparagaceae

SQ: Sitio incendiado, ST: Sitio testigo (sin incendio).

Los resultados de diversidad indicaron lo siguiente; para el Índice de Shannon se obtuvieron los siguientes valores tanto para los sitios incendiados (SQ) y los sitios testigo (ST) respectivamente: SQ1 (0.4351), SQ2 (0.8028) y SQ3 (1.018), dichos valores sugieren que los sitios tienen tendencia a la recuperación después del incendio (Figura 1a y 1b). En los sitios testigos los valores obtenidos fueron ST1 (1.014), ST2 (1.368), ST3 (1.598), estos valores, más altos en comparación con los SQ sugieren una diversidad considerable, en este caso posiblemente debido a una menor perturbación (Figura 1a y 1b).

Alanís-Rodríguez et al. (2011) señalan que los ecosistemas impactados por incendios forestales revelan mayor diversidad en especies arbóreas y una mayor heterogeneidad en comparación con otros ecosistemas, dado que presentan valores más elevados para el mismo índice. Este hecho muestra que la presencia de incendios forestales puede tener un impacto significativo en la estructura y composición de los ecosistemas, propiciando una mayor diversidad de especies arbóreas y originando una mayor variabilidad; los valores bajos para este índice se consideran normales para el tipo de vegetación especifica presente en la zona, situación indistinta al disturbio (Rosales-Mata et al*.,* 2021; Mora Don Juan et al., 2014).

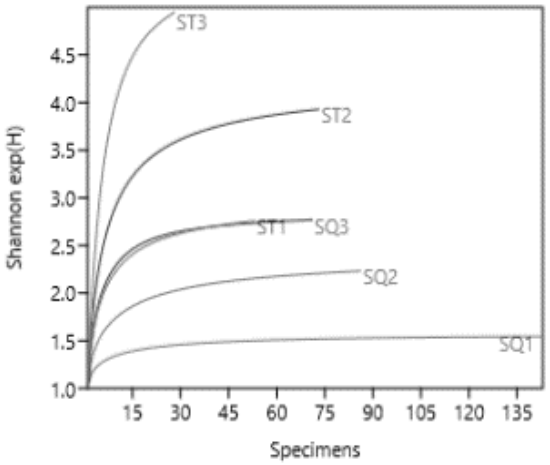


Figura 1a. Índice de riqueza de Shannon en las parcelas evaluadas

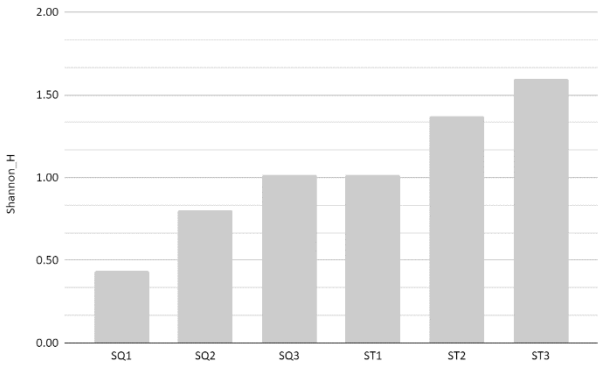


Figura 1b. Índice de riqueza de Shannon en las parcelas evaluadas. SQ: Sitio incendiado, ST: Sitio testigo (sin incendio).

Los resultados del Índice de Simpson señalan valores para SQ1 (0.1828), SQ2 (0.3304), SQ3 (0.5086), las áreas ST obtuvieron los siguientes valores 0.4842, 0.6264 y 0.7704 para ST1, ST2 y ST3 respectivamente, (Figura 2a y 2b); El índice de Shannon-Weaver (H') promedio en las parcelas incendiadas fue de 0.752 lo cual se considera bajo en comparación con las parcelas testigo que fue de 1.32 que indica una diversidad normal para este tipo de ecosistemas, el índice de Simpson promedio, de igual forma fue superior en las parcelas testigo presentando un valor promedio de 0.627.

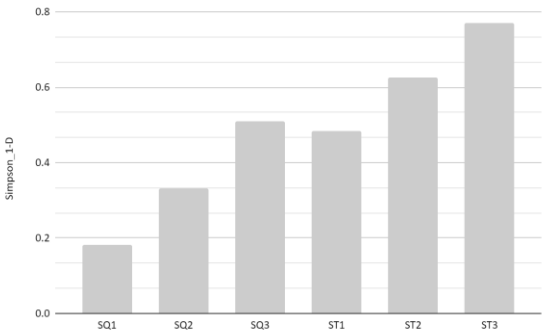


Figura 2a. Índice de riqueza de Simpson en las parcelas evaluadas.
SQ: Sitio incendiado, ST: Sitio testigo (sin incendio).

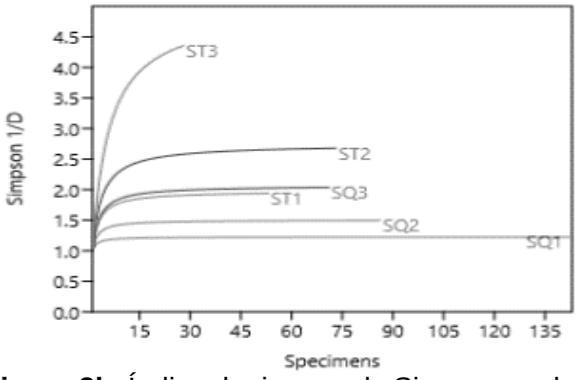


Figura 2b. Índice de riqueza de Simpson en las parcelas evaluadas.

En cuanto al número de taxones por parcela no hubo una mayor diferencia que por solo una especie más en los sitios testigo (Figura 3a). A pesar de que las parcelas incendiadas presentan un mayor número de especies, por lo tanto, una mayor dominancia monoespecífica, esto no significa que presente una mayor diversidad ya que en estas se encontró una sola especie dominante (*Q. pringlei*) lo cual indica un grado de perturbación en el área (Figura 3b).

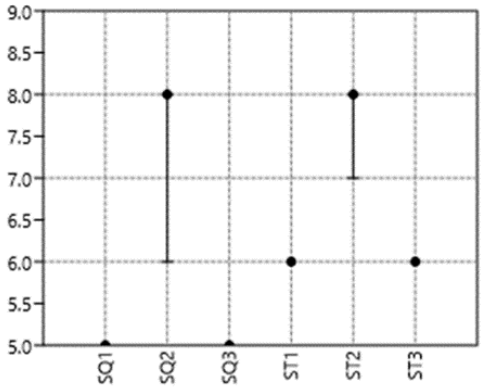


Figura 3a. Número de taxones por parcela

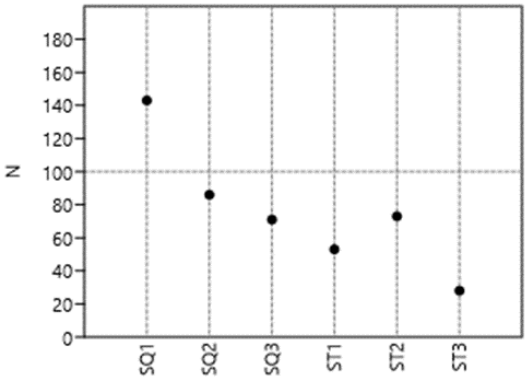


Figura 3b. Dominancia por parcela

A pesar que los incendios tienen el potencial de cambiar la dominancia de las especies, las respuestas difieren entre las áreas afectadas y no afectadas. En las áreas afectadas, se observa una mayor dominancia en tres especies que fueron las más abundantes, *Quercus pringlei* Seemen ex Loes con 326 individuos, *Pinus cembroides* Zucc. con 39 y *Nolina cespitifera* Trel. con 14, las cuales podrían estar adaptadas al fuego. En contraste, las áreas no afectadas tienden a mostrar una distribución más equitativa de especies. Según Zavala (2000) reconoce al fuego como un factor que contribuye a la presencia de determinadas especies como en el caso de *Q. pringlei*, como los resultados obtenidos en este estudio, ya que el fuego funciona como una fuerza selectiva que promueve el desarrollo de adaptaciones a ambientes desfavorables.

Conclusiones

En zonas áridas y semiáridas de México, los incendios forestales son disturbios poco frecuentes que cuando se presentan causan alteraciones notables en la vegetación, ya que dichas zonas son sensibles al fuego, es decir presentan tanto vegetación que responde favorable a la presencia del fuego como vegetación. Los resultados de este estudio sugieren impactos variables en la diversidad de especies, con signos de recuperación post-incendio, las áreas no afectadas mantienen una diversidad considerable; en las áreas afectadas, aunque la cobertura vegetal se ha recuperado, la diversidad ha sido afectada como los demuestran los resultados obtenidos, ya que estas áreas se encuentran dominadas por una sola especie (*Q. pringlei*) la cual tiende a ser primaria después de un disturbio ecológico.

Referencias

Alanís, R.E., J., Jiménez, A. Valdecantos, M. Pando, O. Aguirre, y E. Treviño, (2011). "Caracterización de regeneración leñosa postincendio de un ecosistema templado del Parque Ecológico Chipinque, México". Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 17(1), 31-39.

Cydzik, K., & Hogue, T. S. (2009). Modeling post fire response and recovery using the hydrologic engineering center hydrologic modeling system (HEC-HMS) 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 45(3), 702-714.

González-Medrano. F. (2012). Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 173 p.

Hedo, J., Rubio, E., Dadi, T., López-Serrano, F. R., Alfaro-Sánchez, R., Moya, D., & Heras, J. D. L. (2014). Is remote sensing a good method to define forest fire resilience? A particular case in the South-eastern of the Iberian Peninsula.

Mora-Donjuán, C. A., Rubio-Camacho, E. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., González-Tagle, M. A., Mata-Balderas, J. M., y Mora-Olivo, A. (2014). Composición y diversidad vegetal de un área de matorral desértico micrófilo con historial pecuario en el noreste de México. Polibotánica, (38), 53-66.

Periódico Oficial. (1996). Decreto del Área Natural Protegida, con Carácter de Zona Sujeta a Conservación Ecológica, un Área de la Serranía conocida como Zapalinamé. Coahuila, México; Periódico Oficial del Gobierno del estado de Coahuila. Saltillo, Tomo CIII: pp. 69-75.

Rosales-Mata, S., González-Tagle, M. A., y Alanís-Rodríguez, E. (2021). Efecto de los incendios forestales en la diversidad estructural en bosques de Durango, México. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 17(2), 49-54.

Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 p. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxPort.pdf

Vallejo, V.R., Arianoutsou, M., Moreira, F. (2012). Fire Ecology and Post-Fire Restoration Approaches in Southern European Forest Types. In: Moreira, F., Arianoutsou, M., Corona, P., De las Heras, J. (eds) Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests. Managing Forest Ecosystems, vol 24. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2208-8_5

Zaitsev, A. S., Gongalsky, K. B., Malmström, A., Persson, T., & Bengtsson, J. (2016). Why are forest fires generally neglected in soil fauna research? A mini-review. Applied Soil Ecology, 98, 261-271.

Zavala, Ch. F. Z. (2000). El fuego y la presencia de encinos. Ciencia ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 7(3).

IMPACTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN ECOSISTEMAS SEMIÁRIDOS: REVISION BIBLIOGRÁFICA Y CASO DE ESTUDIO EN EL NORESTE DE MÉXICO

Diana Y. Avila Flores[1*], José G. Flores Garnica[2], Gabriela Ramírez Ojeda[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Noreste. Campo Experimental Saltillo. Carretera Saltillo-Zacatecas Km 342+119 No. 9515. Col. Hacienda Buenavista, Saltillo, Coahuila. [2]INIFAP; Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Av. Biodiversidad 2470, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. *Autor para correspondencia: avila.diana@inifap.gob.mx

Introducción

Las áreas semiáridas son ecosistemas frágiles que desempeñan un papel crucial en la regulación de los ciclos de carbono y nutrientes a nivel global. La ocurrencia de incendios en estas regiones puede alterar significativamente su funcionamiento ecológico, afectando la diversidad, la calidad del suelo, y los procesos de recuperación post-incendio.

A nivel global, las zonas semiáridas enfrentan desafíos similares. Un estudio realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) indica que los incendios forestales en estas regiones pueden llevar a la degradación del suelo. La pérdida de biodiversidad y la alteración de los ciclos hidrológicos (FAO, 2018). En Australia, por ejemplo, los incendios forestales han impactado áreas de ecosistemas semiáridos, afectando no solo fauna y vegetación, sino que también a las comunidades que dependen de dicho recurso (CSIRO, 2020). En México los incendios forestales han aumentado en frecuencia e intensidad en las últimas décadas. Según la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en 2020 se registraron más de 6000 incendios que afectaron más de 200,000 hectáreas de bosques y selvas (CONAFOR, 2020). Dichos fenómenos no solo afectan a la flora y fauna, sino que también afectan la calidad del aire y contribuyen al cambio climático liberando grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera.

Además, los incendios forestales en zonas semiáridas pueden tener un impacto socioeconómico significativo; la perdida de tierras agrícolas y pastizales puede llevar a la falta de seguridad alimentaria y a la migración forzada de comunidades enteras. Según informe del banco mundial, se estima que el cambio climático y los incendios forestales podrían desplazar a más de 140 millones de personas en todo el mundo para 2050 (Banco Mundial, 2021).

Bajo este escenario, el objetivo del presente trabajo fue realizar un análisis bibliográfico sobre la importancia de estudiar áreas semiáridas afectadas por incendios forestales, comparando investigaciones realizadas en México y otras regiones del mundo. Se revisan estudios clave que examinan los impactos ecológicos de los incendios en ecosistemas semiáridos, resaltando los métodos empleados, resultados más relevantes, y su contribución al entendimiento global de estos ecosistemas, así mismo se presenta un caso de estudio el municipio de Arteaga, Coahuila

Materiales y métodos

El trabajo se basó en una revisión bibliográfica de artículos científicos publicados entre 2010 y 2024. Se utilizaron bases de datos como Scopus, Web of Science, y Google Scholar, con términos de búsqueda que incluyeron "incendios forestales en áreas semiáridas", "degradación del suelo post-incendio" y "restauración ecológica en zonas semiáridas". Se seleccionaron estudios publicados entre 2000 y 2024 que abordaran el impacto de los incendios en áreas semiáridas, tanto en México como en otros países.

Los criterios de inclusión se centraron en: 1) Relevancia del contenido: Estudios que investiguen directamente los efectos de incendios en ecosistemas semiáridos. 2) Metodología robusta: Investigaciones que empleen técnicas reconocidas de análisis ecológico y seguimiento post-incendio. 3) Comparabilidad: Estudios que permitan una comparación entre las condiciones mexicanas y otros contextos internacionales. Los artículos seleccionados fueron analizados en términos de su enfoque metodológico, hallazgos principales y su contribución al campo del estudio de áreas semiáridas quemadas.

Resultados y discusión

Impactos Ecológicos de los Incendios en Áreas Semiáridas. Los estudios revisados confirman que los incendios en áreas semiáridas provocan una significativa pérdida de cobertura vegetal, una disminución en la diversidad de especies y una degradación del suelo que puede ser irreversible si no se manejan adecuadamente. García-Moya et al. (2019) documentaron que, en el norte de México, los incendios han llevado a una reducción del 30% en la diversidad vegetal en un periodo de cinco años post-incendio. Asimismo, Flores et al. (2020) observaron que la recuperación natural de la vegetación es extremadamente lenta, con tasas de regeneración que no superan el 15% en las primeras dos décadas post-incendio.

Los incendios forestales en ecosistemas semiáridos tienen un impacto directo en la estructura del suelo, la biodiversidad y los ciclos hidrológicos. La pérdida de cobertura vegetal resulta en una mayor erosión y una reducción en la capacidad del suelo para retener agua, lo que puede llevar a una desertificación progresiva (Díaz-Delgado et al., 2020). Además, se ha documentado que los incendios incrementan la emisión de gases de efecto invernadero, exacerbando el cambio climático (CSIRO, 2020). Asimismo, en regiones semiáridas de África, estudios de Bond y Keeley (2005) han destacado que la biodiversidad post-incendio puede verse gravemente reducida, afectando tanto a especies vegetales como animales.

En México, estudios recientes han mostrado que los incendios en áreas semiáridas no solo afectan a la flora y fauna, sino que también causan un impacto significativo en la calidad del aire y la salud humana, especialmente en comunidades rurales dependientes de los recursos naturales (CONAFOR, 2020). La migración forzada de estas comunidades debido a la pérdida de tierras agrícolas es otro problema emergente, como se documenta en informes del Banco Mundial (2021).

Comparativa de Estrategias de Restauración. La restauración ecológica en áreas semiáridas quemadas varía significativamente dependiendo de las estrategias empleadas. En el caso de México, las iniciativas de reforestación han mostrado resultados mixtos. Un estudio realizado por Ávila y Ramírez (2020) en la región noreste de México reportó que las áreas reforestadas presentaron un incremento en la cobertura vegetal de un 25% en diez años, pero no se logró recuperar la diversidad original de especies. En contraste, en Australia, estudios como el de Bradstock et al. (2019) han implementado técnicas de manejo del fuego más adaptativas, que han demostrado ser más eficaces para la restauración de estos ecosistemas, con una regeneración de hasta el 40% de la cobertura vegetal en los primeros 15 años post-incendio.

Los estudios revisados indican que la recuperación de las áreas semiáridas quemadas es un proceso lento y dependiente de múltiples factores, incluyendo el tipo de vegetación, la severidad del incendio y las condiciones climáticas posteriores. En México, investigaciones de Yépez et al. (2018) han documentado que las especies nativas muestran una capacidad de resiliencia moderada, pero la invasión de especies exóticas puede complicar la restauración de estos ecosistemas.

En contraste, estudios en la región del Mediterráneo (Moreira et al., 2011) han evidenciado que la recuperación puede ser más rápida en áreas con un manejo adecuado del suelo y la implementación de estrategias de revegetación temprana. Esta diferencia resalta la importancia del contexto ecológico y la intervención humana en la recuperación post-incendio.
Impactos Socioeconómicos

Los incendios en áreas semiáridas también tienen repercusiones socioeconómicas significativas. Según un informe del Banco Mundial (2021), el desplazamiento de comunidades y la pérdida de tierras agrícolas debido a los incendios en estas zonas puede llevar a la inseguridad alimentaria y a la migración forzada, afectando a más de 140 millones de personas para el 2050. En México, la CONAFOR (2020) reporta que las áreas semiáridas quemadas han provocado la pérdida de más de 10,000 empleos en los últimos cinco años, debido a la disminución de la productividad agrícola y ganadera.

Los resultados de este estudio subrayan la necesidad de desarrollar e implementar estrategias de manejo adaptativo del fuego y restauración ecológica que sean específicas para las condiciones únicas de las áreas semiáridas en México. Aunque las estrategias de reforestación han mostrado cierto éxito, es evidente que no son suficientes para restaurar completamente la biodiversidad y la estructura del suelo. La comparación con estudios internacionales, como los realizados en Australia y Sudáfrica, destaca la importancia de incorporar prácticas de manejo del fuego que consideren las condiciones climáticas y ecológicas particulares de cada región.

El análisis comparativo realizado revela que los incendios en áreas semiáridas tienen efectos significativos en la estructura ecológica de estos ecosistemas, tanto en México como en otros contextos globales. La recuperación post-incendio es un proceso complejo que requiere un enfoque adaptativo y basado en el contexto específico de cada región. Es esencial que las políticas de manejo y conservación consideren las particularidades de los ecosistemas semiáridos, promoviendo la investigación continua y la implementación de prácticas de restauración efectivas.

Caso de estudio. El municipio de Arteaga, Coahuila, ha sido particularmente vulnerable a incendios forestales en los últimos años; por lo que se consideró para el desarrollo de un proyecto a cargo de INIFAP, el cual está en marcha y se está desarrollando una evaluación de un área incendiada en esta región para cuyo objetivo principal es describir los efectos locales en este tipo de ecosistemas y diseñar estrategias de recuperación basadas en la restauración de ecosistemas semiáridos. Este estudio incluye la medición de la erosión del suelo, la evaluación de la recuperación de la vegetación antes y después del incendio. Se trata específicamente en la localidad conocida como la Coyotera, en el municipio de Arteaga, Coahuila. En dicha ubicación se presentó un incendio forestal en mayo 2022 y tuvo una duración de 12 días, fue originado por una descarga eléctrica y afecto superficie 300 Ha, con la siguiente afectación por estrato: arbolado adulto: 71.00 Ha., renuevo: 10.00 Has, arbustivo: 100.00 Has y herbáceo: 119 Has.

De acuerdo a lo encontrado algunos autores mencionan algunas adaptaciones de especies de zonas áridas y semiáridas como para recuperarse tras el paso de fuego, ya sea por algunos caracteres (corteza gruesa, hojas inflamables que reducen la intensidad del fuego, capacidad de rebrote, etc.) o por las condiciones creadas por el fuego para su repoblación (Rodríguez –Trejo et al., 2019), por lo que se considera importante continuar con este tipo de investigaciones en zonas áridas y semiáridas.

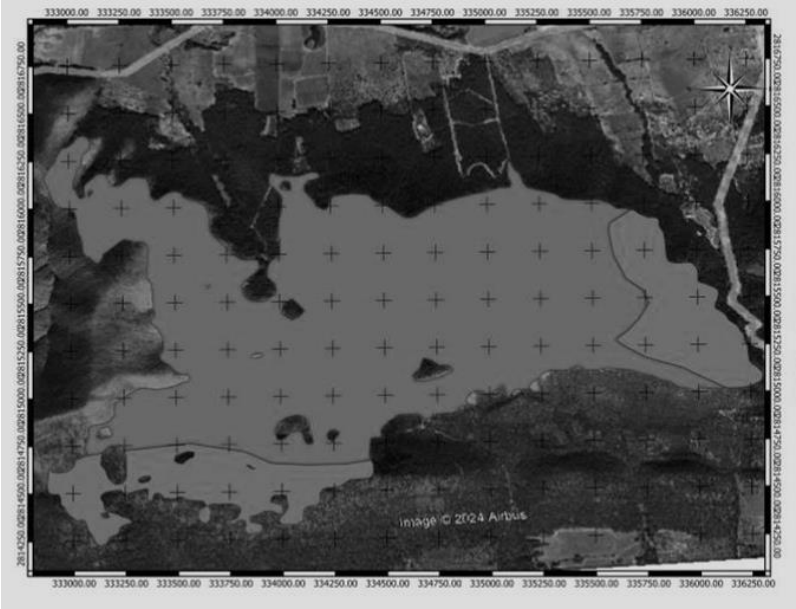


Figura 1. Área de afectación en la localidad la Coyotera, municipio de Arteaga, Coahuila.

Conclusiones

La investigación en áreas semiáridas afectadas por incendios forestales es esencial para la comprensión y mitigación de los impactos negativos de los mismos en México. Es necesario un enfoque de restauración adaptativo que incluya no solo la reforestación, sino también técnicas de manejo del fuego y restauración del suelo más avanzadas. Las políticas públicas deben centrarse en la integración de la restauración ecológica con el desarrollo socioeconómico, para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de estos ecosistemas vulnerables, especialmente el Arteaga Coahuila.

Referencias

Arredondo, T., Rodríguez-Trejo, D. A., & Cervantes, J. (2013). Efectos de los incendios en ecosistemas semiáridos de México: una revisión. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 4(18), 69-82.

Ávila, D. Y., & Ramírez, G. (2020). Impacto de los incendios forestales en ecosistemas semiáridos. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 12(58), 143-159.

Banco Mundial. (2021). Cambio climático y migración forzada. https://www.worldbank.org/

Banco Mundial. (2021). Cambio climático, incendios forestales y migración: Un análisis global. Informe del Banco Mundial.

Bond, W. J., & Keeley, J. E. (2005). Fire as a global 'herbivore': The ecology and evolution of flammable ecosystems. Trends in Ecology & Evolution, 20(7), 387-394.

Bradstock, R. A., Gill, A. M., & Williams, R. J. (2012). Flammable Australia: Fire regimes, biodiversity, and ecosystems in a changing world. CSIRO Publishing.

Bradstock, R. A., Gill, A. M., & Williams, R. J. (2019). Fire Regimes and Biodiversity in Semi-arid Landscapes. Australian Journal of Botany, 67(4), 285-299.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2020). Incendios forestales en México: Estadísticas anuales. CONAFOR Reporte Anual. https://www.gob.mx/conafor

CSIRO. (2020). Impact of wildfires on semi-arid ecosystems. https://www.csiro.au/

Díaz-Delgado, R., Lloret, F., & Pons, P. (2020). Fire effects on vegetation. In Fire ecology (pp. 99-128). Springer.

Flores, J. G., & García, E. (2020). Evaluación de la regeneración de la vegetación en áreas semiáridas afectadas por incendios. Ecología Austral, 30(3), 245-260.

García-Moya, E., & Valiente-Banuet, A. (2019). Evaluación de la recuperación de la vegetación en áreas semiáridas afectadas por incendios en el norte de México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 10(50), 120-135.

González, R. G., & Santos, J. R. (2021). Estrategias de manejo del fuego en zonas semiáridas: Un enfoque comparativo entre México y Sudáfrica. Revista Internacional de Restauración Ecológica, 15(3), 65-78.

Moreira, F., Catry, F., Rego, F., & Bugalho, M. N. (2011). Post-fire management of Mediterranean oak woodlands: The relevance of the fire recurrence interval. Forest Ecology and Management, 261(12), 2307-2317.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). Impactos de los incendios forestales en zonas semiáridas. FAO Informe Técnico.

Ramírez, G., & Ávila, D. Y. (2018). Restauración de áreas quemadas en ecosistemas semiáridos: Un estudio de caso en México. Ciencia Forestal en México, 43(3), 317-332.

Rodríguez-Trejo, D. A., J. G. Pausas y A. G. Miranda-Moreno. (2019). Plant response to fire in a Mexican arid shrub land. Fire Ecology, 15, 11. https://doi.org/10.1186/s42408-019-0029-9

Rodríguez-Trejo, D. A., & Fulé, P. Z. (2011). Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. International Journal of Wildland Fire, 12(1), 23-37.

Silva, E. A., & Torres, F. (2020). Impacto socioeconómico de los incendios forestales en comunidades rurales de México. Estudios Sociales, 28(4), 255-270

Yépez, E. A., Castellanos-Villegas, A. E., & Garibay, A. (2018). Resilience of semi-arid ecosystems after wildfires: A comparative study. Ecological Indicators, 94, 597-606.4o

CARACTERIZACIÓN FISIOLÓGICA DE SEMILLAS DE *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto EN EL ESTADO DE COAHUILA

Adriana Antonio Bautista[1] David Castillo Quiroz[2*], Rubén Isaac Martínez Gutiérrez[3], Francisco Castillo Reyes[2]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Fitomejoramiento [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Saltillo. [3]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Producción,[*] Autor por correspondencia: castillo.david@inifap.gob.mx

Introducción

Echinocactus platyacanthus Link &, es una taxón nativo y endémico de México perteneciente a la familia Cactaceae (Tropicos, 2024). Se distribuye en ecosistemas desérticos de los estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro, Puebla y Oaxaca, (Antúnez-Ocampo et al., 2022). Actualmente sus poblaciones naturales se han reducido por varios factores de riesgo como lo son destrucción de su hábitat, extracción de individuos adultos para la venta ilegal con fines ornamentales para reforestación urbana (Castillo et al.,2014; Jiménez-Sierra y Eguiarte, 2010). *E. platyacanthus* es una de las especies con mayor aprovechamiento, debido a sus características alimenticias con que se utiliza para la elaboración del dulce acitrón empleado en la preparación de platillos en la gastronomía mexicana y en la industria panificadora (Gómez-Serrano et al., 2021; Del Castillo y Trujillo, 1991). Ante el aprovechamiento intensivo al que ha sido sometido por las actividades antrópicas y sin un manejo apropiado para su protección y conservación, sumado a las condiciones climáticas adversas del hábitat, su capacidad de regeneración natural es reducida (Castillo et al., 2014), afectado de manera negativa a sus poblaciones en su área de distribución, por tal motivo, *E. platyacanthus* está sujeta a protección especial (SEMARTAT, 2010). Además, está incluida en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, 2001), así como también está integrada en la categoría de “casi amenazada” de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (IUCN) (Hernández et al., 2017). Ante este escenario se necesitan llevar a cabo estudios sobre pre-tratamientos a la semilla para generar el conocimiento básico de esta especie con fines de conservación de la diversidad genética *in situ* y la conservación *ex situ* en bancos de germoplasma (Iglesias et al., 2006) y la propagación sexual de este taxón. El objetivo del presente estudio fue caracterizar fisiológicamente las semillas de *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en noviembre de 2022 en el Laboratorio del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Saltillo, Buenavista, Saltillo, Coah. México (25°21´22.52” LN y 101°2´9.88” LO).
Material biológico

En el mes de octubre de 2022 se colectaron frutos maduros en una población natural de *E. platyacanthus* localizado en el matorral desértico rosetófilo (Rzedowski, 2006) en el ejido Buñuelos del municipio de Saltillo, Coahuila (25º3´33.07´´N y 101º14´0.40´´O), y una elevación de 1994 m. Se colectaron frutos indehiscentes en 50 plantas. Para la recolección se consideró que los frutos presentan su madurez fisiológica apropiada y se colocaron en bolsas de papel estraza hasta el momento de su caracterización.

Extracción de las semillas. Después de la recolección, los frutos se llevaron al Laboratorio del CCDTS, donde se hizo la extracción de la semilla mediante el macerado del fruto seco y eliminación del mucilago con un soplador de semillas (Marca Seeburo® Equipment Company, EUA). Las semillas limpias se sometieron a un proceso de homogenización para su posterior toma de una muestra representativa de la población para la caracterización fisiológica y aplicación de tratamientos pre-germinativos.

Caracterización fisiológica de las semillas de *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto
Para caracterización fisiológica se realizó una evaluación de la germinación en las semillas de *E. platyacanthus* y para descartar la presencia de latencia se sometieron a siete tratamientos pre-germinativos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos pre-germinativos aplicados a las semillas de *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto.

Tratamientos	Descripción
1	Imbibición en agua destilada por 24 h a temperatura ambiente
2	Imbibición en H_2O_2 durante 24 h a temperatura ambiente
3	Imbibición en Biogib® a una concentración de 0.05 g/ L por 24 h a temperatura ambiente
4	Imbibición en Biogib® a una concentración de 0.05 g/ L por 3 h a temperatura ambiente
5	Imbibición en agua caliente por 24 h
6	Imbibición en agua de grifo por 24 h
7	Testigo (Sin imbibición)

Pruebas de germinación. Las pruebas de germinación se realizaron utilizando el método “entre papel” (Antonio, 2012; ISTA, 2004). Las semillas de *E. platyacanthus* se colocaron entre hojas de papel anchor embebido en agua destilada al 100 % para suministrar la humedad requerida para inducir proceso de germinación, y se conservó saturado durante el tiempo de evaluación. Sobre el papel, se ubicaron 25 semillas por unidad experimental con cuatro repeticiones por tratamiento. Estas se colocaron en hileras dejando espacios entre las hileras. Las semillas se cubrieron con otro papel anchor humedecido para que finalmente se enrollaran. Los rollos se metieron en una bolsa de polietileno y se situaron en una cámara de germinación (marca Biotronette Mark III®) a una temperatura de 25 ± 2°C y un fotoperiodo de 12 h: 12 h luz/oscuridad para inducir la germinación y permanecieron por 13 días, tiempo que duro el período de evaluación.

Durante la evaluación de la germinación se siguieron las normas de ISTA (2004). El monitoreo de la germinación inició a partir de las 24 h posterior a la siembra hasta los 13 días posteriores. Con el registro de ocho variables de respuesta de la germinación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variables fisiológicas evaluadas en semillas de *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto.

Variables	Cálculo	Explicación
PSG	$\text{PSG} = \left(\frac{NSG}{NSS}\right) * 100$ NSG es el número de semillas germinadas NSS número de semillas sembrada	Esta variable se expresó en % y se obtuvo con el conteo de las semillas germinadas hasta el último día de la evaluación. Se consideró semilla germinada cuando presentó una radícula igual o mayor a 2 mm de longitud.
IVG	$IVG = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{ni}{\text{ti}}\right)$ *ni*= Número de semillas germinadas en el intervalo de tiempo *ti*: Número de días después de la siembra *n*= Número de conteos 1, 2…, n conteos	Se calculó con el conteo diario de las semillas germinadas (radícula ≥ 2 mm) a partir de la siembra.
TG	TSG = (N1T1 + N2T2 + …. + NnTn) / (N1 + N2 + …. + Nn) N= es el número de semillas germinadas no acumuladas; T= es el tiempo en días (Hartmann y Kester, 2001).	Se obtiene con el conteo diario de semillas germinadas desde la siembra hasta el último día de su evaluación.
PPN	Se miden con raíz y tallo de las plántulas, cada estructura debe tener una longitud de dos veces el tamaño del largo de semilla en longitud, y el resultado se expresa en porciento.	Número de semillas germinadas y que presentaban todas las estructuras esenciales (plántulas con raíz y tallo, cada estructura con al menos dos veces el tamaño de la longitud de la semilla).
PPA	Se cuantificaron las plantas anormales y el resultado se expresa en porciento.	Plántulas que carecían de una o más de sus estructuras esenciales.
PSD	Se realizó el conteo de las semillas duras y se expresó en porcentaje y el resultado se expresa en porciento.	Se contaron todas las semillas que no absorbieron agua, y que no germinaron al final del experimento.
LMR		Se obtuvo con la medición desde el punto de crecimiento de la raíz hasta el final de esta.
LMP		Se obtuvo midiendo desde el punto de crecimiento de la raíz hasta el meristemo apical de la plántula

PG= Porcentaje de germinación; IVG= Índice de velocidad de germinación; TG= Tasa de germinación; PPN= Porcentaje de plantas normales; PPA= porcentaje de plantas anormales; PSD= Porcentaje de semillas duras; LMR= Longitud media de la radícula; LMP= Longitud media de la plúmula.

Análisis estadísticos. Para la evaluación de las variables fisiológicas se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones y se usó el modelo estadístico:

$Y_{ij} = \mu + T_i + R_j + E_{ij}$. Dónde: Y_{ijk} = Valor observado, μ = Efecto de la media general, k=Repeticiones, T_i = Efecto de los tratamientos R_j = Repeticiones y E_{ijk} = Error experimental

Para el análisis de las variables fisiológicas se realizó un ANOVA con el software estadístico RStudio versión 2022.02.3.0 y para la comparación de medias entre tratamientos se utilizó la prueba comparaciones múltiples de Tukey a un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

Resultados y Discusión

Caracterización fisiológica de las semillas de *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto. Los resultados del análisis de varianza para las distintas variables muestran efectos de los pre-tratamientos, es decir hubo efectos significativos (P> 0.05). Para las variables PG, TSG, y LMO, y se encontró diferencias altamente significativas, mientras que para las variables PPN, PPA y el IVG se encontró diferencias significativas; sin embargo, en PSM y PSD no encontró significancia (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación de medias de las variables fisiológicas de los tratamientos pre-germinativos de las semillas de *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto.

Trat.	PG (%)	PPN (%)	PPA (%)	PSD (%)	TSG (Días)	IVG (Días)	LMR (mm)	LMP (mm)
1	87.5 a	88.58 a	11.41 b	32.14 ab	6.65 cd	6.77 a	6.65 a	9.28 ab
2	33.75 b	56.84 b	43.15 a	94.76 a	13.57 a	0.55 b	3.24 b	4.53 c
3	81.33 a	87.53 a	12.44 b	45.0 ab	10.34 ab	2.46 b	5.29 a	9.78 ab
4	96.25 a	98.68 a	1.31 b	37.50 ab	10.14 b	2.55 b	6.08 a	10.03 a
5	95.0 a	98.75 a	1.25 b	37.5 ab	5.15 d	6.96 a	6.21 a	9.47 ab
6	91.05 a	90.64 a	9.35 b	75.0 ab	8.73 bc	2.86 b	5.99 a	8.14 ab
7	96.18 a	93.61 a	6.38 b	12.5 b	7.71 bcd	4.09 ab	5.52 a	7.36 v

T1 Imbibición en agua destilada por 24 h a temperatura ambiente. T2 Imbibición en H_2O_2 durante 24 h a temperatura ambiente. T3 Imbibición en Biogib® a una concentración de 0.05 g/ L por 24 h a temperatura ambiente. T4 Imbibición en Biogib® a una concentración de 0.05 g/L por 3 h a temperatura ambiente. T5 Imbibición en agua caliente por 24 h. T6 Imbibición en agua de grifo por 24 h. T7 Testigo (Sin imbibición). Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey $p < 0.05$, PG= Porcentaje de germinación; IVG= Índice de velocidad de germinación; TG= Tasa de germinación; PPN= Porcentaje de plantas normales; PPA= porcentaje de plantas anormales; PSD= Porcentaje de semillas duras; LMR= Longitud media de la radícula; LMP= Longitud media de la plúmula

El porcentaje de germinación (PG) varió de 33.75 a 96.25, donde estadísticamente todos los tratamientos fueron similares en la inducción de la germinación incluyendo el testigo, excepto el tratamiento 2 (Imbibición en H_2O_2 durante 24 h a temperatura ambiente) quien afecto significativamente a esta. Así mismo las plantas obtenidas mostraron un alto porcentaje de normalidad (PPN) siguiendo el mismo comportamiento que el PG anteriormente señalado. Sin embargo, el % de plantas anormales tuvo un comportamiento inverso a PPN.

Para la variable PSD el T7 (Testigo) fue el tratamiento con el menor porcentaje de semillas duras con 12.5% y el mayor fue H_2O_2 con 94.76%, Para las variables TSG y IVG el tratamiento T5 resultó el más bajo con 5.17 y 6.96 días, respectivamente. Para la LMR el tratamiento T2 (Imbibición en H_2O_2 durante 24 h a temperatura ambiente) es inferior al resto de los tratamientos, es decir afecto el crecimiento radicular. Las semillas sin tratamiento Testigo=T7 y el T4 fueron los que respondieron mejor al proceso de germinación donde se contabilizó los mejores resultados en la variable PG con un valor máximo de 96.18% y del tratamiento T4 con una ligera diferencia con 96. 25%. Esto demuestra que las semillas de *E. platyacanthus* no presentan latencia, esto coincide con lo reportado por Castillo-Reyes et al. (2014), donde obtuvieron un valor de PG arriba del 85%.

En la variable TSG el tratamiento pre-germinativo que permitió un mayor valor inclusive al testigo fue el T2. Para el IVG los valores más altos se obtuvieron en T1 seguido del T5, y de nueva cuenta el valor más bajo fue observado en el T2, de igual forma en las variables LMR y LMP el tratamiento con los valores más bajos fue el T2. En una investigación realizada por Manzo-Rodríguez et al. (2022), describen que la germinación de *E. platyacanthus* en diferentes concentraciones de sales del medio Murashige & Skoog inició a los 13 días en los tratamientos de 0. 50 y 100% su respuesta en la germinación fue entre los días 16, 17, y 24 para el 100%. Gómez-Serrano et al. (2021), encontraron que el porcentaje de germinación obtenido fue del 70 % en 28 días con el mismo medio, pero sin escarificación química de la semilla, ya que se considera que el uso de ácido concentrados y con tiempos de exposición altos pueden dañar el embrión. Así mismo Ruiz-Pérez et al. (2021), reportan que la germinación en cajas Petri y papel filtro bajo condiciones controladas inicia entre los 9 y 11 días posterior a la siembra.

Conclusiones

Fisiológicamente, las semillas de *E. platyacanthus* no presentan latencia, no requiere ningún pre-tratamiento ya que cualquier tratamiento es indistinto al testigo, quien presentó un alto porcentaje de germinación. Las semillas de *E. platyacanthus* estudiadas alcanzaron su máxima germinación en cinco días después de la siembra y germinaron siete semillas por día.

Referencias

Antonio B.A. 2012. Manual de ensayos de semillas forestales. Secretaría de Medio Ambiente. Secretaría de Medio Ambiente Gobierno del Estado de Coahuila. 27 p.

Antúnez-Ocampo O.M., Castañeda-Zárate G.A., Sabino-López J.E., Espinosa-Rodríguez M., Cruz-Izquierdo S. 2022. Germinación y aspectos morfológicos de plántulas de Echinocactus platyacanthus Link & Otto tratados con rayos gamma. Tropical and Subtropical Agroecosystems 25(101): 1-12

Castillo R.F., Sánchez Ch. J.D., Rangel E.S.E., Canul K.J. 2014. Efecto de microorganismos en la promoción de la germinación de semillas de la cactácea Echinocactus platyacanthus link & Otto. Interciencia, 39(2):863-867.

CITES, 2001. Rapport annuel Année 2001, CITES- Organe de Gestion CITES de Madagascar, Antananarivo.

Del Castillo R. F. and S. Trujillo. 1991. Ethnobotany of Ferocactus histrix and Echinocactus platyacanthus (Cactaceae) in the semiarid central México: past, present and future. Economic Botany 45:495-502

Gómez-Serrano, G., Martínez J., Arreguín-Sánchez, M.L., García-Ochoa, F. 2021. Germinación y crecimiento de Echinocactus platyacanthus Link & Otto (Cactaceae). Polibotánica No. 52.

Hernández, H., Cházaro M., y Gómez-Hinostrosa C. 2017. The IUCN red list of threatened species tm.

Iglesias, L.G., Mora, I., Casas, J.L. 2006. Morfometría, viabilidad y variabilidad de las semillas de la población de Pinus hartwegii del Cofre de Perote, Veracruz, México. Cuadernos de Biodiversidad, 19:14-18

ISTA International Seed Testing Association. 2004. International Rules for Seed Testing. Zurich, Switzerland. 243 p.

Manzo-Rodríguez, S. M., González-Rosas H., García-de los Santos, G., García-Moya, Espinosa-Hernández, E.V. Corona Torres, T. y Robledo-Paz, A. 2022. Viabilidad y germinación de semillas de cuatro especies amenazadas de cactáceas. Caldasia 44 (2): 209- 220.

Ruiz-Pérez A., Vázquez-Díaz E., Ybarra-Moncada M.C. y García-Nava J.E. 2021. Calidad de semilla y sobrevivencia de plántulas de Echinocactus platyacanthus de tres regiones de México. Revista de Fitotecnia Mexicana, 44(1): 33-40.

Rzedowski, J., 2006. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. NOM-059-ECOL 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 6 marzo de 2002. Ciudad de México.

Tropicos.org. 2024. Echinocactus platyacanthus. Missouri Botanical Garden.

MODELO PARA PREDECIR BIOMASA FOLIAR SECA DE *Poliomintha longiflora* A. GRAY EN SAN LUIS POTOSÍ Y COAHUILA

Luis M. Toribio-Ferrer[1*], E. Edith Villavicencio-Gutiérrez[2]

[1]Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Kilometro 145, Nacional 85, 67700 Linares, Nuevo León, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Saltillo. Carretera Saltillo-Zacatecas km 342+119 No. 9515, Col. Hacienda de Buenavista, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. * Autor de correspondencia: toryferrer@live.com

Introducción

El orégano liso (*Poliomintha longiflora* A. Gray) es una planta silvestre que crece en el noreste de México y se distribuye en los estados de Coahuila, San Luis Potosí, Nuevo León, Tamaulipas y en las fronteras de Querétaro e Hidalgo (Aranda et al., 2009). Las hojas de esta planta se utilizan preferentemente como especia y hierba culinaria en alimentos regionales (Zheng and Wang, 2001). En los ejidos aprovechan este recurso forestal no maderable durante los meses de mayo a septiembre, siendo una fuente económica importante para los productores de dicha comunidad, comercializando sus hojas en los mercados locales (Villavicencio et at., 2018). Aranda et al. (2009) llevaron a cabo un estudio para determinar la producción de biomasa de orégano liso, reportando un valor de 66 kg ha^{-1}; así mismo, el análisis fitoquímico del aceite esencial obtenido de esta especie permitió identificar 11 componentes, entre los que destacan el timol y el carvacrol. Los estudios han revelado que el carvacrol y el timol, presentes en el aceite esencial de esta planta, son los principales responsables de su actividad antimicrobiana, lo que sugiere su potencial como conservadores naturales para alimentos (Paredes et al., 2007).

Las ecuaciones alométricas son métodos indirectos eficaces para estimar volúmenes, biomasa, carbono y peso verde de especies maderables y no maderables (Acosta et al., 2002; Velasco et al., 2009), en especies no maderables se han empleado para evaluar biomasa foliar seca de orégano y laurel (Villavicencio et al., 2018; 2020), en biomasa verde de candelilla (Hernández et al., 2019) y en biomasa de los árboles (Acosta et al., 2002; Ares et al., 2002). El uso de las ecuaciones alométricas en el ámbito de manejo de los recursos naturales ayuda a disminuir gastos, tiempo y sirve para proyectar comportamiento en el desarrollo de plantas, sin embargo, es necesario que cumpla con ciertos criterios para asegurar la confiabilidad de sus valores predichos. El presente estudio tuvo por el objetivo de ajustar ecuaciones alométricas basados en las variables dasométricas (altura, diámetro promedio de copa y el peso seco de las hojas) que permitan estimar la producción de biomasa foliar de orégano liso (*P. longiflora*) con la finalidad de generar una herramienta que asista a los prestadores técnicos profesionales en el manejo de la especie.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en poblaciones naturales de orégano liso localizadas en el ejido de Cuauhtémoc, municipio de Saltillo, Coahuila, en las coordenadas 25° 17' 3.61" N y 100° 56' 57.99" O, y en el ejido La Negrita, municipio de Guadalcázar, San Luis Potosí, en las coordenadas 25° 46' 55.4" N y 100° 34' 58.6" O (Figura 1). En ambos ejidos se distribuye dos tipos de suelos Litosol (I) y Xerosol háplico (Xh), de textura media, sin presencia de erosión superficial (INEGI, 2007). El clima corresponde a un tipo semiárido, templado (BS1kw) (INEGI, 2008). La vegetación predominante es el matorral desértico micrófilo (INEGI, 2018).

La muestra consistió en 271 individuos de orégano liso, distribuidas en cinco poblaciones ubicadas en el municipio de Saltillo, Coahuila, y dos poblaciones ubicadas en el municipio de Guadalcázar, San Luis Potosí. El muestreo se realizó durante la época de aprovechamiento de la planta (de julio a octubre) y cada población fue georreferenciada para su localización en gabinete (Figura 1). Las variables dendrométricas independientes medidas en campo fueron altura total (*H*, cm) desde la base del suelo hasta la punta más alta, diámetro menor (*Dm*, cm) y diámetro mayor (*DM*, cm). El diámetro promedio de copa (*Dp*, cm) se obtuvo del promedio de los dos diámetros del arbusto (*DM* y *Dm*). Posteriormente, se llevó a cabo un muestreo destructivo, cortando las hojas y tallos de cada individuo; las muestras se guardaron en bolsas de papel, cada una con su etiqueta correspondiente.

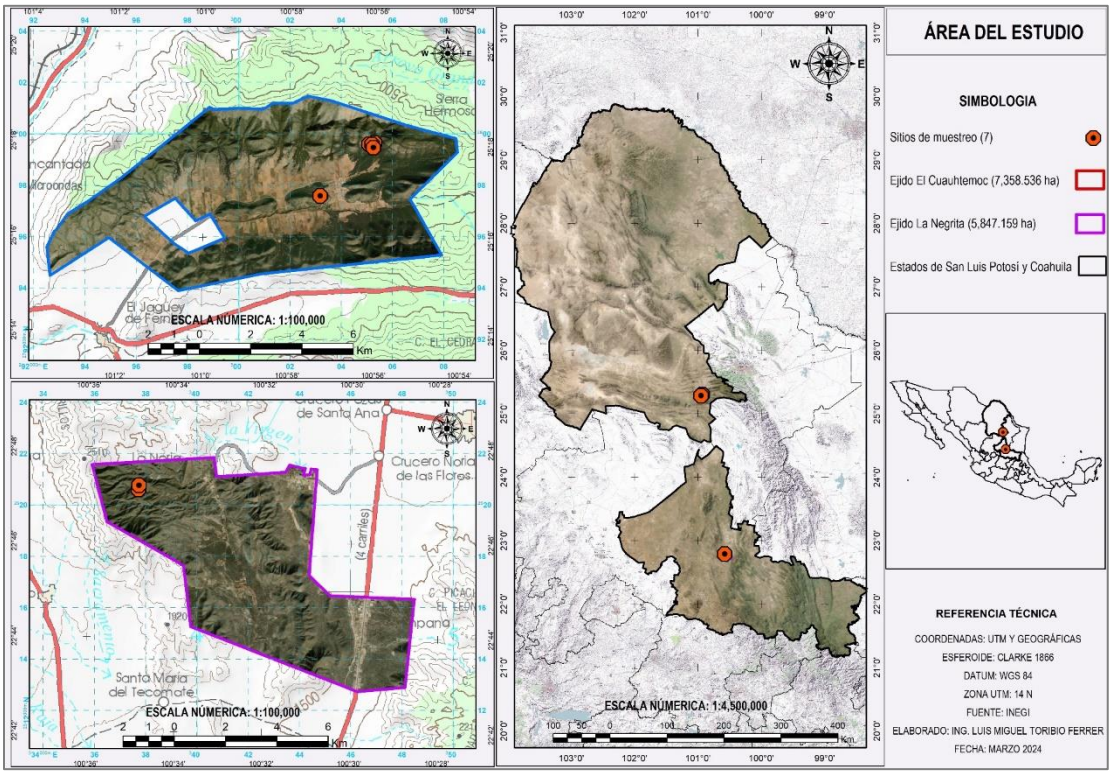


Figura 3. Localización del área de estudio en los estados de Coahuila y San Luis Potosí.

Las muestras recolectadas se secaron al aire libre en el invernadero del Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP durante cinco días, luego las hojas y las ramas fueron separadas de forma manual. El peso de las hojas secas fue determinado mediante una balanza analítica digital ADAM con una precisión de 0.001 g., mediante este método se obtuvo la variable dependiente biomasa foliar seca (*Bfs*).

Se ajustaron un conjunto de ecuaciones alométricos en el paquete estadístico de R (R Core Team, 2023) para estimar la *Bfs* del orégano liso, mismas que han sido evaluados en estudios similares para laurel (Villavicencio et al., 2020), orégano (Villavicencio et al., 2018), candelilla (Hernández et al., 2019) y lechuguilla (Velasco et al., 2009). Las variables de diámetro promedio, altura total y biomasa foliar seca fueron analizadas mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO).

La selección del modelo alométrico fue con base a los siguientes estadísticos de la regresión: mayor valor de coeficiente de determinación ajustado (R^2 *aj*.), error estándar más bajo (*Sxy*), suma de cuadrados de residuales más bajo (*SSE*) y el coeficiente de variación más bajo (*CV %*); además de la significancia de sus parámetros ($P \leq 0.05$). De igual manera se consideraron los supuestos básicos de regresión a través de las pruebas estadísticas de validación del modelo, para determinar si los residuales de los modelos presentan autocorrelación se aplicó la prueba de Durbin-Watson (D-W) (Durbin y Watson, 1950), para determinar la normalidad de los residuales se empleó la prueba de Kolmogórov-Smirnov (K-S) (Kolmogórov y Smirnov, 1933), por último se utilizó la prueba de White para detectar si los modelos presentan heterocedasticidad en sus residuales (White, 1980).

Resultados y discusión

De acuerdo con los datos presentados en el Cuadro 1, la especie de *P. longiflora* mostró en el área de estudio una biomasa foliar seca promedio por individuo de 1.907 g, con una variación que oscila entre 0.086 y 9.777 g. La altura máxima registrada fue de 60 cm, mientras que el diámetro mayor de la copa alcanzó los 74 cm, con un diámetro promedio de copa de 14.806 cm. Este estudio abarcó todas las categorías de altura y diámetro basal presentes en las poblaciones naturales de orégano liso dentro de las áreas analizadas.

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas de *Poliomintha longiflora* A. Gray en el ejido Cuauhtémoc del municipio de Saltillo, Coahuila y el ejido La Negrita del municipio de Guadalcazar, San Luis Potosí.

Variables y componentes	Media	D.S.	CV	Máximo	Mínimo
H (cm)	31.974	11.124	2.874	60.000	10.000
DM (cm)	17.303	9.552	1.811	74.000	4.000
Dm (cm)	10.074	6.386	1.577	48.000	2.000
Dp (cm)	14.806	8.701	1.702	50.500	3.000
Bfs (g)	1.907	1.739	1.097	9.777	0.086

H = Altura total; *DM* = Diámetro mayor; *Dm* = Diámetro menor; *Dp* = Diámetro promedio de copa; *Bfs* = Biomasa foliar seca; D.S. = Desviación estándar (g); CV = Coeficiente de variación (%).

El modelo no lineal de potencia demostró ser superior en la estimación de la biomasa foliar seca de *P. longiflora*, explicando el 83.3% de la variabilidad total con un error estándar de 0.710 g y un coeficiente de variación de 37.26%. Para evaluar la adecuación del modelo de potencia, se realizaron pruebas de diagnóstico. La prueba de Durbin-Watson ($DW = 1.736$, $p > 0.05$) no indicó presencia de autocorrelación serial en los residuos, lo cual es un supuesto fundamental para la validez de los modelos de regresión. La inspección visual de la Figura 2 confirma esta ausencia de patrones sistemáticos. Además, la prueba de Kolmogórov-Smirnov ($D = 0.0559$, $p = 0.3640$) no rechazó la hipótesis nula de normalidad de los residuos, lo que respalda la aplicación de inferencia estadística paramétrica. Por último, la prueba de White ($\chi^2 = 13.41$, $p = 0.1564$) no evidenció heterocedasticidad, sugiriendo que la varianza de los errores es constante a lo largo de los valores predichos. En conjunto, estos resultados indican que el modelo de potencia cumple con los supuestos clásicos de regresión

La variable de *Dp* ha sido ampliamente reconocido como un predictor confiable de la biomasa en arbustos, como lo demuestran estudios previos (Villavicencio et al., 2018; 2020). Por su parte, el modelo de potencia ha demostrado ser una herramienta versátil para estimar biomasa en diversas especies y ecosistemas. Estudios anteriores han utilizado este tipo de modelo para cuantificar biomasa aérea y carbono (Benavides et al., 2021), predecir biomasa forrajera y producción de leña (López et al., 2003), e incluso estimar pesos secos de rebrotes en sistemas de producción sostenibles (Ares et al., 2002).

El modelo de potencia para estimar la biomasa foliar seca de *Poliomintha longiflora* A. Gray quedo estructurado de la siguiente manera:

$$Bfs = 0.047028(Dp)^{1.347942}$$

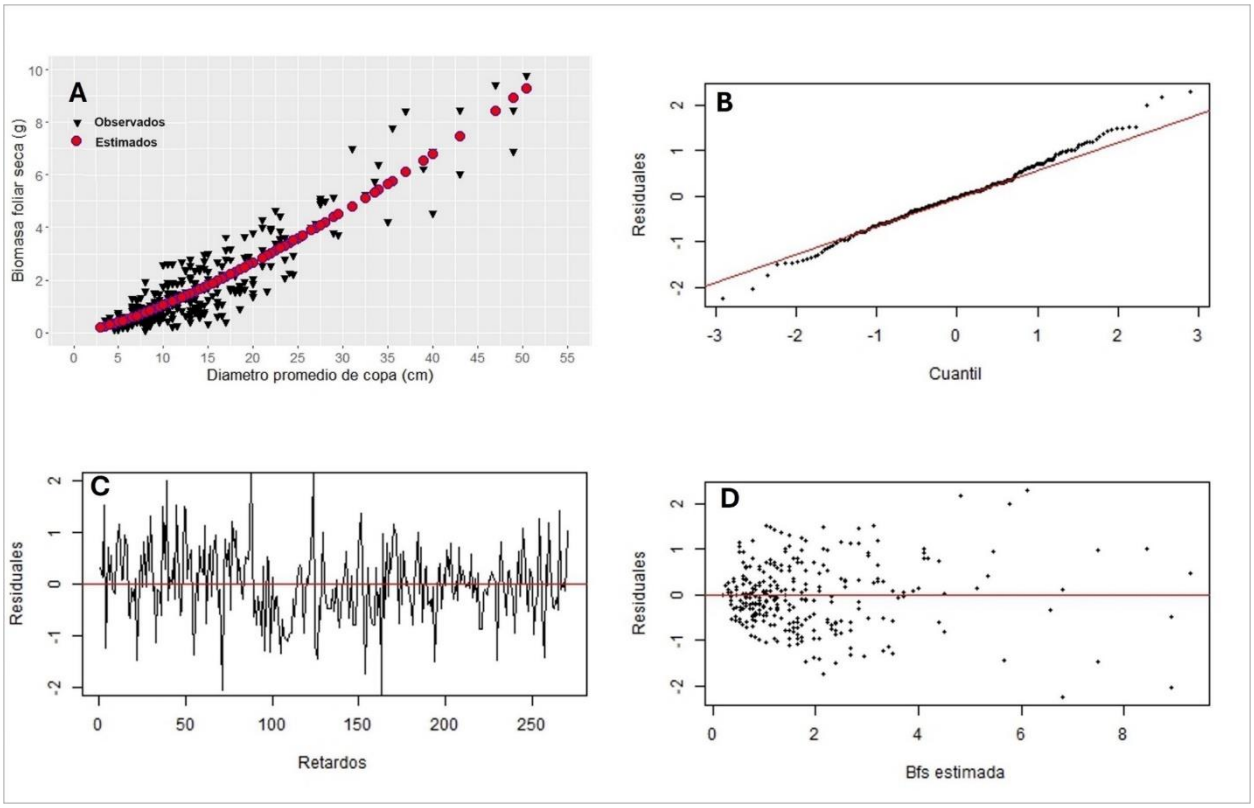


Figura 4. A) *Bfs* observados y estimados, B) Normalidad Q-Plot de los residuales, C) distribución no sistemática de los residuales en la prueba de autocorrelación y D) presencia de homocedasticidad en los residuales del modelo de potencia para *P. longiflora* en el ejido Cuauhtémoc del municipio de Saltillo, Coahuila y el ejido La Negrita del municipio de Guadalcazar, San Luis Potosí.

Conclusiones

El modelo alométrico de potencia en su forma no lineal es la más adecuada para estimar la biomasa foliar seca de *Poliomintha longiflora* al presentar coeficiente de determinación ajustado de 83 % y un coeficiente de variación 37.26 %; además de cumplir con todos los supuestos de validación del modelo de regresión: no autocorrelación, homocedasticidad y distribución normal en sus residuales. El modelo de potencia ajustado en el presente estudio es estadísticamente confiable y se recomienda su uso por parte de los prestadores de servicios profesionales para la toma de decisión en el ámbito de gestión y manejo de la especie en áreas que tengan condiciones climáticas similares y que la estructura de diámetro de copa y altura estén dentro de los rangos de los valores observados en el presente estudio.

Referencias

Acosta, M. M., J. Vargas H., A. Vasquez M. y J. D. Etchevers B. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. Agrociencia 36:725-736.

Aranda, R. J., R. Silva V. y D. I. Franco H. (2009). Caracterización del aceite esencial de orégano liso (*Poliomintha longiflora* A. Gray) de la localidad Infiernillo en el municipio de Higueras, N.L., México. *RESPYN Revista Salud Pública Y Nutrición*, *10*(1).

Ares, A., J. Boniche, J. P. Quesada, R. Yost., E. Molina. y T. J. Smyth. (2002). Estimación de biomasa por métodos alométricos, nutrimentos y carbono en plantaciones de palmito en Costa Rica. Agronomía Costarricense, 26 (2), 19-30.

Benavides, S. J., O. Torres G., J. G. Flores G., M. Acosta M. y A. Rueda S. (2021). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono aéreos de *Cedrela odorata* L. en plantaciones forestales. Revista mexicana de ciencias forestales,*12*(65), 89-111. https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.791.

Durbin, J. and S. Watson G. (1950). Testing for serial correlation in least squares regression: I. Biometrika, 37(3/4), 409-428.

Hernández, R. A., A. Cano P., C. Flores L., J. Hernández R., X. García C., M. Martínez S. y L. Martínez Á. (2019). Modelos para estimar biomasa de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. en seis municipios de Coahuila. *Madera y bosques*, *25*(2). https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521806.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2007). Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II Continuo Nacional Monterrey y Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II Continuo Nacional San Luis Potosí. https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825236182 y https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825235673 (enero de 2024).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2008). Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas. https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568 (enero de 2024).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Conjunto Nacional. https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842781 (enero de 2024).

Kolmogorov, A. N. y V. Smirnov N. (1933). Sobre la representación de una ley de distribución empírica en función de leyes de probabilidad y distribución teórica. Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari, 4(1-2). Pp. 83-91.

López, M. D., L. Soto P., G. Jiménez F. y S. Hernández D. (2003). Relaciones alométricas para la predicción de biomasa forrajera y leña de *acacia pennatula* y *guazuma ulmifolia* en dos comunidades del norte de chiapas, méxico. Interciencia, *28*(6), 334-339.

Paredes, A. M, M G. Gastélum F., R. Silva V. y G. V. Nevárez M. (2007). Efecto antimicrobiano del orégano mexicano (*Lippia berlandieri* schauer) y de su aceite esencial sobre cinco especies del género Vibrio. Revista Fitotecnia Mexicana. Sociedad Mexicana de Filogenética, A.C. Chapingo, México. Pp. 261-267. https://doi.org/10.35196/rfm.2007.3.261.

R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/.

Velasco, B. E., A. Arredondo G., M. C. Zamora M. y F. Moreno S. (2009). Modelos predictivos para la producción de productos forestales no maderables: Lechuguilla. Manual Técnico Núm. 2. CENID-COMEF. INIFAP. México, D.F., México. 56 p.

Villavicencio, G. E. E., A. Hernández R. y X. García C. (2018). Estimación de la biomasa foliar seca de *Lippia graveolens* Kunth del sureste de Coahuila. Revista Mexicana De Ciencias Forestales 9 (45). https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.139.

. Villavicencio, G. E. E., S. Mendoza M. y J. Méndez G. (2020). Modelo para predecir biomasa foliar seca de *Litsea parvifolia* (Hemsl.) Mez. Revista mexicana de ciencias forestales, 11(58), 112-133. https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.642.

White, H. (1980). A Heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity. Econométrica, 48(4). Pp. 817-838.

Zheng, W. and S. Y. Wang. (2001). Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. *Journal of agricultural and food chemistry 49*(11), 5165–5170. https://doi.org/10.1021/jf010697n.

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MARCO LÓGICO PARA EL MEJORAMIENTO DE ECORREGIONES APÍCOLAS EN SITIOS DE INTERÉS DE LA COMARCA LAGUNERA

Perla Susana Martínez-Rojas[1*], Luis Gerardo Yáñez-Chávez[1]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Carretera Gómez Palacio - Ciudad Juárez, Bermejillo, 35230 km 40, Bermejillo, Durango, México. *Autor de correspondencia: al23610241@chapingo.mx

Introducción

La mayoría de las ocasiones, las tareas de identificación, preparación, evaluación, seguimiento y control de proyectos y programas se desarrollan sin un marco de planeamiento estratégico que permita ordenar, conducir y orientar las acciones hacia el desarrollo integral de un país, región, municipio o institución (Ortegón et al., 2015). Al no existir tal claridad, la toma de decisiones se determina sin una estrategia por lo que el resultado de estas no siempre está relacionado a la solución de verdaderos conflictos. Debido a esto, la Metodología de Marco Lógico (MML) al tener una prospectiva o visión de largo plazo, coordinación, evaluación y concertación estratégica ha sido utilizada positivamente en los últimos años (Niño et al., 2016; Ortegón et al., 2015). Este método se basa en la creación de un árbol de problemas en el que desarrollan ideas creativas para identificar las posibles causas del conflicto generando de forma organizada un modelo que explique las razones y consecuencias del problema (Martínez y Fernández, 2023) con el fin de generar soluciones a corto o largo plazo de un modo que pueda ser considerado como viable (Medina et al., 2020).

En el presente estudio, se empleó la MML como referente fundamental para el mejoramiento de ecorregiones apícolas en sitios de interés dentro de la Comarca Lagunera. De esta manera se intenta involucrar conocimiento y aplicación de diferentes técnicas que guían acciones a las necesidades o solución de problemas de la región.

Materiales y métodos

Ubicación geográfica de estudio. El área de estudio abarcó los estados de Coahuila con los municipios de Matamoros, San Pedro y Torreón, mientras que el estado de Durango contó con los municipios de General Simón Bolívar, Gómez Palacio, Lerdo, Mapimí y Tlahualilo con unas coordenadas de 24.758611 y 25.901667 Norte, y los Meridianos -103.086047 y -103.624111 Longitud Oeste (Figura 1); se seleccionaron estos municipios debido a la mayor concentración de apiarios en la Región. Los municipios se encuentran dentro de la Comarca Lagunera, cuyo promedio de lluvia es de 300 mm y una temperatura media anual de 18 a 20 °C (INEGI, 2021).

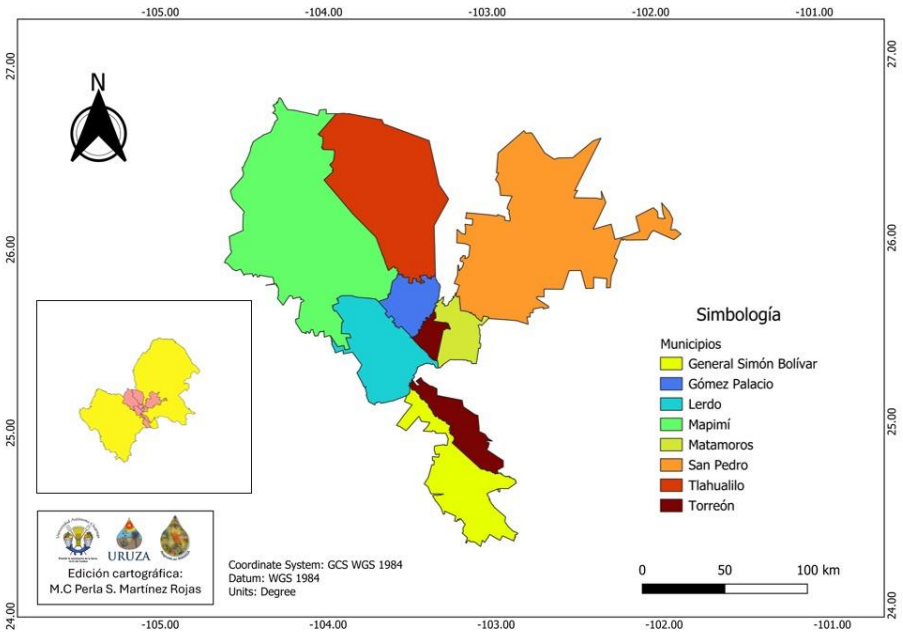


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

Metodología del marco lógico. El estudio fue de tipo exploratorio-descriptivo, el cual se basó en metodología para la construcción del Marco Lógico, misma que constó de 3 fases (Figura 2). La primera etapa de la planificación consistió en identificar un problema referido a la producción apícola dentro del área de estudio en los distintos recursos naturales de interés (hídrico, aire atmosférico, edáfico, flora y fauna) además de analizar sus principales causantes y efectos; lo anterior se realizó con apoyo de referencias bibliográficas y opinión de expertos. Una vez identificada la problemática en cada recurso natural, se plantearon los objetivos respectivos para contrarrestar dichos problemas. Posteriormente, se revisaron las relaciones medios-fines, ya que las causas del problema dan pie a la formulación de los objetivos, es decir se convertirán en medios. Las consecuencias o efectos se convertirán en fines dando origen a la construcción de indicadores de efecto, impacto o desarrollo. Por último, se construyó la Matriz de Marco Lógico.

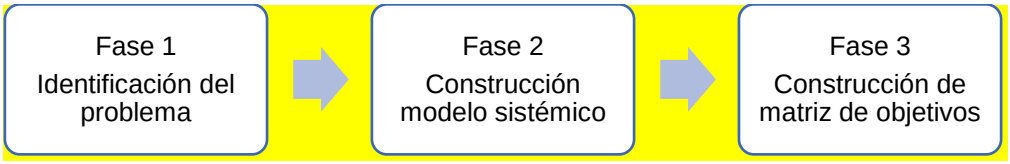


Figura 2. Fases de la metodología de Marco Lógico. Fuente: Aldunate y Córdoba, 2011; Ortegón et al., 2005.

Resultados y discusión

En la problemática encontrada para el sector apícola en el área de interés de acuerdo con los distintos componentes en la Matriz de Marco Lógico (Cuadro 1), se destaca: escasa precipitación para el recurso hídrico, debido a las condiciones climáticas de la región y para el cual se tiene como objetivo promover el establecimiento de especies nativas para incrementar la humedad atmosférica.

Caso similar se reporta en la región centro sur del estado de Chihuahua en el que se observó una crisis del agua por sequías, sobredemanda del recurso y la sobrepoblación de este estado (Salas y García, 2020). Para el recurso natural aire atmosférico, se tiene la presencia de un alto nivel de metales tóxicos y material particulado 2.5 (PM 2.5), provenientes de las múltiples industrias de la región, las cuales podrían mitigar sus emisiones de contaminación mediante una regularización de estas. Esta contaminación atmosférica también se presenta en la Zona Metropolitana del Valle de México debido a las variadas fuentes de emisiones, aunque se resalta de manera importante la ineficiencia e incapacidad del gobierno para manejar dicho problema (Navarro, 2019)

En el caso del recurso edáfico, los sitios de interés presentan el problema de la aplicación de pesticidas neocotinoides, los cuales derivan en disminución de áreas de pecoreo, es decir de recursos disponibles para que las abejas colecten néctar, polen y resinas, por lo que promover el uso de biopesticidas que no afecten el área de recolección de las abejas ni su hábitat, sería una solución viable. Al respecto, en el estado de Guanajuato, la contaminación de suelos por metales y metaloides también significa un problema considerable ya que sus altos niveles en concentraciones de cadmio, plomo, arsénico y mercurio sobrepasan incluso los límites establecidos por la NOM 147 SEMARNAT-SSA1-2004 (Sandoval et al., 2020).

La floración escasa encontrada en la región es uno de los problemas del recurso flora, siendo incluso uno de los más importantes, ya que la fuente de algunos de sus productos (miel, propóleo y polen) se basa en la flora circundante, por lo que la manera de tener un impacto positivo en esta cuestión sería el establecimiento de especies nativas apícolas. De igual forma, en el estado de México, se encontró que la expansión ganadera y baja fertilidad en el suelo, han repercutido de manera importante en la pérdida de la vegetación (Muñoz et al., 2009).

Por el lado del recurso fauna, la especie mejor conocida por ser la abeja con mayor producción de miel (*Apis mellifera*) es considerada como invasora, esto debido a que, comparado con las abejas nativas, brindan un mejor rendimiento en la colmena, sin embargo, una medida de mitigación a este problema es impulsar el uso de las abejas silvestres para disminuir la competencia por los recursos y se logre un equilibrio entre ambas especies. Agüero y asociados en 2018, expresaron también los impactos de la *Apis melífera* como especie exótica sobre plantas y abejas silvestres debido a su introducción por objetivos de producción.

Respecto a la aplicación de la MML, en 2017 se realizó un proyecto de diversificación de la apicultura para la extensión y el mejoramiento de la calidad de propóleo y polen en Paraguay implementando esta metodología, sin embargo, se consideraron problemas relacionados a recursos humanos, por ejemplo, la poca capacitación de los apicultores en la producción de sus recursos naturales, la reducida normativa para garantizar su calidad, falta de tecnología, entre otros con el fin de mejorar el rendimiento de los mismos (Pedretti et al., 2017).

Cuadro 1. Matriz de Marco Lógico.

Estructura	Objetivos	Nombre del indicador	Meta	Medios de verificación
Fin	Contribuir al mejoramiento de ecorregiones apícolas en los componentes: hídrico, aire atmosférico, edáfico y biótico			
Propósito RH	Mitigar la escasa precipitación	Índice de precipitación	Promover reforestación nativa	Reporte anual CONAGUA
Objetivo	Monitorear la baja humedad en la región	Contenido de humedad relativa	Controlar la baja humedad	Reportes diarios
Actividad	Monitoreo y modelación de escenarios para predicción y toma de decisiones	No. de Modelos generados en referencia a la precipitación	Al menos un modelo de predicción por municipio	Documentos técnicos Artículos científicos
Propósito RAA	Controlar los niveles de metales tóxicos y PM 2.5	Presencia PM 2.5, 10 y COV	Minimizar contaminación ambiental	Reportes por periodos de años
Objetivo	Monitorear contaminación ambiental de industrias	Cuantificación de contaminantes del aire	Regularizar contaminación de industrias	Monitoreos diarios
Actividad	Monitorear anomalías físicas de las abejas	Alteraciones físicas de las abejas	Disminuir las anomalías físicas	Reportes SADER
Propósito RE	Controlar la aplicación de pesticidas neocotinoides	Presencia de principios activos	Fomentar uso de biopesticidas	Reportes anuales COFEPRIS
Objetivo	Manejo integrado de plagas	*Varroa* en abejas	Disminuir la presencia de plagas	Campañas anuales contra *Varroa*
Actividad	Incrementar el uso de biopesticidas	Superficie con empleo de biopesticidas	Campañas para el uso de productos de origen natural	Reportes anuales
Propósito RB Flora	Monitorear vegetación	Número de especies	Fomentar reforestación nativa	Reportes anuales
Objetivo	Incrementar la vegetación/ floración	Número de especies por área	Promover reforestación nativa	Reportes anuales CONABIO
Actividad	Promover vegetación apícola	Número de especies	Aumentar especies apícolas	Cartas CONABIO
Propósito RB Fauna	Vigilar a *Apis mellifera* como especie invasora	*Apis mellifera* por apiario	Fomentar el uso de abejas silvestres	Reportes SADER
Objetivo	Controlar de *Apis mellifera* por producción	Producción de miel por especies	Incentivar la producción en abejas silvestres	Informes anuales
Actividad	Mayor competitividad por alimento	Ubicación de apiarios en la región	Disminuir competencia entre especies	Registro de apicultores SADER

RH: Recurso hídrico, RAA: Recurso Aire Atmosférico, RE: Recurso Edáfico, RB: Recurso Biótico, PM: Material Particulado, COV: Compuestos Orgánicos Volátiles.

Conclusiones

La evaluación realizada por la MML permitió resaltar la importancia de un control sistemático de cada recurso natural para el mejoramiento de ecorregiones apícolas en sitios de interés dentro de la Comarca Lagunera. De esta manera, la identificación de deficiencias en el área, algunas asociadas a la naturaleza y otras con fines productivos, permite la planificación de intervenciones para la generación de cambios reales susceptibles. Además, una vez definidas estas debilidades, sus fortalezas pueden verse aumentadas mediante la utilización paralela de otras metodologías e instrumentos de tipo cualitativo y cuantitativo, con el propósito de crear los efectos deseados e identificar los mecanismos empleados para producir los cambios esperados en la región.

Referencias

Agüero J.I., Rollin O., Toretta J.P., Aizen M.A., Garibaldi L.A. Impactos de la abeja melífera sobre plantas y abejas silvestres en hábitats naturales. (2018). *Ecosistemas: Revista científica de ecología y medio ambiente 27*(2):60-69pp.

Aldunate, E., Córdoba J. Formulación de programas con la metodología de marco lógico. (2011). *CEPAL-Serie Manuales 68*:122pp.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aspectos geográficos: Coahuila de Zaragoza. (2021). *Reporte 2021*. Recuperado: 7 de mayo de 2023. Disponible en: resumen_05.pdf (inegi.org.mx)

Martínez R. & Fernández, A. Metodologías e Instrumentos para la formulación, evaluación y monitoreo de programas sociales: árbol de problema y áreas de intervención. (2023). *Naciones Unidas CEPAL*. Recuperado: 7 de mayo de 2024. Disponible en: https://recursos.salonesvirtuales.com/assets/bloques/martinez_rodrigo.pdf

Medina, J.C., Hurtado D.A., Barreda, C. Aplicación de la Metodología del Marco Lógico en los proyectos de semilleros de investigación de una universidad a distancia. (2020). *Revista Científica Profundidad Construyendo Futuro 12*: 2-21pp.

Muñoz D.J. López G.F., Hernández M.M., Soler A.A., López GJ. Impacto de la pérdida de la vegetación sobre las propiedades de un suelo aluvial. (2009). *Terra Latinoamericana 27*: 237-246pp.

Navarro A. Control de la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de México. (2019). *Estudios demográficos y urbanos 34*(3):631-663pp.

Niño, S., Martínez, R., Rojas, M. & Mota, A. Incorporación de la perspectiva de género a la metodología del marco lógico para la planeación del presupuesto de egresos públicos. (2016) *Opción 32*(13), 1067-1098pp.

Ortegón, E., Pacheco, J.F., Prieto, A. Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas. (2005). CEPAL: Serie manuales. Estados Unidos. Naciones Unidas.

Pedretti R., Ruiz A., Oeyen M. Estudio de evaluación final del proyecto de diversificación de la apicultura para la extensión y el mejoramiento de la calidad de propóleos y polen en Paraguay. (2017). *Informe Final. Agencia de cooperación internacional de Japón*. Recuperado: 11 de mayo 2024. Disponible en: https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11855863_01.pdf

Salas JA., García TJ. La crisis del agua en la región centro sur del estado de Chihuahua y la convención de la ONU de 1997. (2020). *Chihuahua hoy*. 37pp.

Sandoval Pérez, J. D., Serafín Muñoz, A. H., Noriega Luna, B., Medina Mejía, M. G., Leal Vaca, J., Mendoza Puga, L. E., & Villalobos Pérez, S. Estudio de la contaminación de suelos del Estado de Guanajuato por metales y metaloides en correlación con los indicadores ambientales. (2020). *Jóvenes en la ciencia 8*, 1–4pp.

INSECTOS VISITANTES FLORALES DE *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. EN LA REGIÓN SEMIDESÉRTICA DE DURANGO.

Clementina Araceli Sandy-Pacheco[1], Fabián García-González[1] *, Hipólito Cortez-Madrigal[2], Ramón Trucíos-Caciano[3], Ricardo David Valdez-Cepeda[4].

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Gómez Palacio - Ciudad Juárez, Bermejillo, 35230 km 40, Durango. [2]Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional, Justo Sierra Oriente. 28, Centro, 59510 Jiquilpan de Juárez, Michoacán. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENID RASPA, Parque Industrial II, 34079 Gómez Palacio, Dgo. [4]Centro Regional Universitario Centro Norte, Universidad Autónoma Chapingo, Kilómetro 24.5, Carretera Zacatecas-Fresnillo, Municipio de Morelos, Zacatecas, en México. *Autor de correspondencia: fabiangglez@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

El *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt, comúnmente conocido Cenizo, Chamizo, Saladillo o Costilla de vaca, es una especie arbustiva perteneciente a la familia Amaranthaceae. Es una planta nativa de zonas semiáridas del oeste de Estados Unidos y norte de México encontrándose en los estados de Coahuila, Durango, Chihuahua y Zacatecas. Se caracteriza por ser perene y ser capaz de crecer en suelos halófitos y condiciones climáticas extremas (Castillo Quiroz et al., 2021; INIFAP, 2024). El chamizo es una planta conocida por su resistencia a incendios, lo que la hace ideal para reforestar zonas áridas (CONAFOR, 1994).

Su morfología es variable, puede alcanzar una altura entre 0.2 a 2 m, se caracteriza por tener hojas finas y alargadas (INIFAP, 2024), sus flores no tienen clara la separación entre cáliz y corola, la parte denominada perianto es la estructura que protege al ovario y /o a los estambres y tiene cinco segmentos y entre tres y cinco estambres si es flor masculina; las flores femeninas son desnudas, pero el ovario tiene los estilos cubiertos (Castillo Quiroz et al., 2021).

El uso de *A. canescens* va desde manejarlo como forraje de bovinos, caprinos y ovinos, la prevención de la erosión del suelo captura de carbono y fitorremediación (INIFAP, 2024) hasta usar un potencial biotecnológico o medicinal contra picaduras de insectos, entre otros (Castillo Quiroz et al., 2021). Lo anterior lo convierte en un recurso valioso tanto en la conservación y restauración de hábitats degradados como materia prima. En la actualidad existe un desconocimiento de la entomofauna asociada a plantas nativas de zonas áridas en el estado de Durango como es el caso de *A. canescens*, es por ello por lo que el presente trabajo tiene como objetivo conocer los órdenes y familias de insectos que suelen visitar a la planta de *Atriplex canescens* en época de floración.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el año 2023, en el Rancho del Carmen, perteneciente a la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACh), ubicado en las coordenadas 25.896316 N, -103.591838 O, a una altitud de 1120 metros sobre el nivel del mar. Se llevaron a cabo muestreos de insectos durante un período de cinco semanas, desde el 2 hasta el 30 de junio coincidiendo con la fase de floración de *Atriplex canescens*. Las recolecciones se realizaron entre las 07:00 y las 10:00 horas. En cada sesión de muestreo, se seleccionaron aleatoriamente diez plantas dentro del transecto designado, en las cuales se capturaron los insectos utilizando una red entomológica, aplicando tres golpes de red en cada planta. Adicionalmente, se registraron lecturas de temperatura y humedad relativa al inicio y al final de cada muestreo, empleando un higrotermógrafo.

Los insectos capturados fueron sometidos a un proceso de congelación para matarlos y posteriormente se limpiaron utilizando un tamiz de tres niveles y un estereomicroscopio. Una vez limpios, los insectos fueron contados y preservados en etanol al 70%. Se realizaron montajes directos, en puntos o en laminillas, según el tamaño de los insectos. Posteriormente, se identificaron a nivel de orden y familia utilizando claves taxonómicas de Borror y White (1970), Borror et al. (1992) y Fernández (2006). Para esta identificación, se emplearon un estereoscopio y/o un microscopio óptico, dependiendo del tamaño de las estructuras anatómicas a observar.

Resultados y discusión

Se colecto un total de 411 insectos de los cuales se identificaron seis órdenes y 23 familias, destacando en número de individuos el orden Thysanoptera y en número de familias el orden Hymenoptera, como se puede ver en la figura 1.

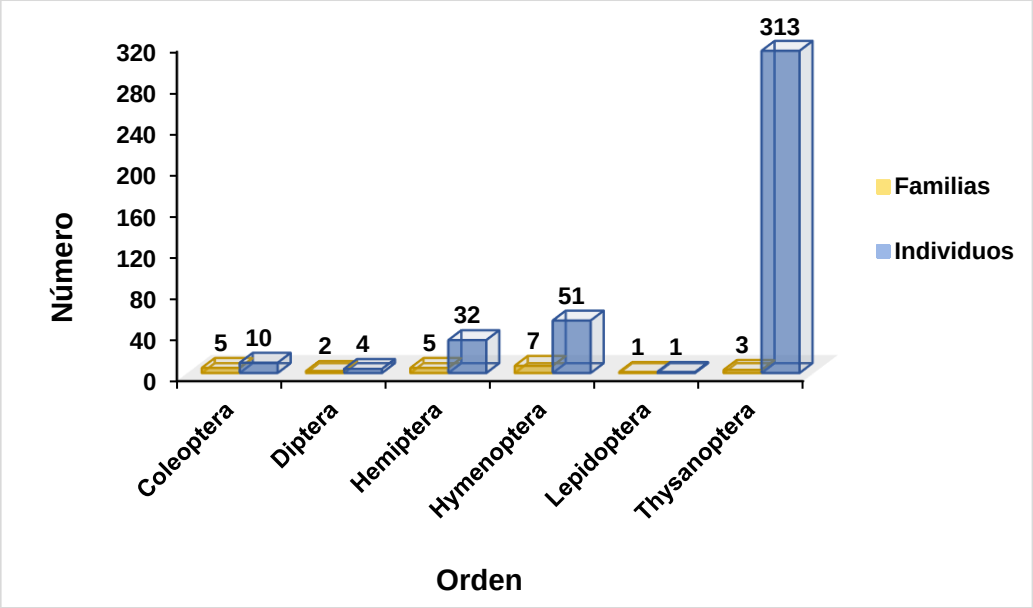


Figura 5. Cantidad de insectos encontrados en Atriplex canescens durante la época de floración, distribuidos por familias de cada orden

De acuerdo con la CONAFOR, (1994) el *A. canescens* puede verse afectada por plagas como pulgones y chinches, especialmente durante la temporada de lluvias, en el presente estudio se encontraron dos posibles especies de chinches (Orden Hemiptera) y tres posibles especies de chicharritas (Hemiptera: Cicadellidae). Otras familias de fitófagos encontradas son insectos de las familias (Hemiptera: Acanaloniidae) y (Hemiptera: Flatidae). Se identificaron tres familias de Trips (Orden Thysanoptera) los cuales generalmente se consideran plagas de las flores pero que de acuerdo con Williams et al. (2001) estos insectos pueden ser polinizadores cuando se desplazan dentro de una planta, entre plantas cercanas o son transportados por el viento a distancias mayores, además señalan que algunas especies son específicas de ciertas estructuras de su planta hospedadora, mientras que otras son inespecíficas y pueden polinizar y reproducirse en múltiples especies vegetales.

Los insectos benéficos identificados en flores de chamizo fueron de diferentes órdenes: En el orden Diptera se identificó la familia Syrphidae que de acuerdo con el estudio realizado en Argentina por Torretta et al. (2021) las moscas de las flores, cómo también se les conoce, son organismos útiles por los servicios ecosistémicos que realizan ya sea como polinizadores generalistas cuando son adultos o en su etapa larvaria como depredadores, principalmente de hemípteros de cuerpo blando. También se identificó a la familia Asilidae la cual es depredadora. La familia Coccinellidae se identificó dentro del orden Coleoptera, la cual cumple la función de depredación. Del orden Hymenoptera se identificaron las familias Encyrtidae, Eulophidae Formicidae, Platygastridae, Pteromalidae, Torymidae y Trichogrammatidae, considerados parasitoides primarios de plagas. De acuerdo con Chambers et al. (2005) la mariposa azul pigmea del oeste (*Brephidium exilis*) es un visitante de *Atriplex* spp, en este trabajo solo se encontró un grupo morfológico del orden Lepidoptera (no identificado) pero no coincide en características con la especie registrada.

Conclusiones

La conservación *Atriplex canescens* como planta nativa de zonas áridas es de carácter fundamental para la salud y resiliencia de estos ecosistemas, no solamente por su capacidad de adaptación a condiciones climáticas extremas y salinidad, sino su uso potencial como forraje a gran escala. Esta especie al actuar como hospedero de una variedad de insectos fitófagos y benéficos contribuyendo a la salud de ecosistema y la biodiversidad. La interacción entre los insectos fitófagos y el A. canescens puede afectar la dinámica de plagas con los cultivos cercanos, mientras que los insectos benéficos como parasitoides, depredadores y polinizadores pueden contribuir a la salud de otras plantas.

Referencias

Castillo Quiroz, D., Gutiérrez Lara, R., Lara Flores, D. Y., Castillo Reyes, F., & Sáenz Ceja, J. E. (2021). Atriplex canescens (Pursh) nutt. una especie multifuncional de las zonas semiáridas de Norteamérica: una revisión. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 12(67). DOI: https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.821

Chambers, N., Gray, Y., Buchmann, S. L., Duenas, R., & Moody, T. (2005). Polinizadores Del Desierto Sonorense. Amsterdam University Press.

CONAFOR. (1994). Atriplex canescens (Pursh) Nutt. Recuperado de http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/887Atriplex%20canescens.pdf

INIFAP. (2024). Atriplex canescens (Pursh) Nutt. una especie multifuncional de las zonas semiáridas de Norteamérica: una revisión. Ciencias Forestales, 12(67). DOI: https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.821

Molina, A. (1992). Efectos de Varios Tratamientos sobre la Germinación de Atriplex canescens en el Laboratorio. Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F.

Ruiz-Fernández, E. (2024). Impacto ecológico de la reforestación con la especie arbustiva Atriplex canescens (Pursh) Nutt. en un matorral desértico micrófilo. Abanico Agroforestal. Recuperado de https://abanicoacademico.mx/revistasabanico/index.php/abanico-agroforestal/article/view/189

Torretta, J. P., López, M. C., & Marrero, H. J. (2021). Flower flies (Diptera: Syrphidae) in Pampean agroecosystems: a study case. Revista de la Sociedad EntomolóGica Argentina, 80(2), 23-34. https://doi.org/10.25085/rsea.800205

Williams, GA & Adam, Paul & Mound, Laurence. (2001). Thrips (Thysanoptera) pollination in Australian subtropical rainforests, with particular reference to pollination of Wilkiea huegeliana (Monimiaceae). Journal of Natural History - J NATUR HIST. 35. 1-21. 10.1080/002229301447853.

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LAS SEMILLAS DE TRES POBLACIONES DE *Echinocereus stramineus*

José Valero-Galván[1*], Lizeth Ribera Juárez[1], Pedro Osuna Ávila, Miroslava Quiñonez Martínez, Raquel González-Fernández[1]

[1]Departamento de Ciencias Químico Biológicas, Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Anillo envolvente del PRONAF y Estocolmo s/n, Ciudad Juárez, Chihuahua,32310, México. *Autor de correspondencia: jose.valero@uacj.mx

Introducción

Las plantas de la familia cactácea son componentes principales de los ecosistemas de las áreas semiáridas y áridas de México. Sin embargo, en la actualidad esta familia está sufriendo pérdida de su diversidad, debido principalmente a la presión antropogénica, pérdida del hábitat, depredación de plantas nodrizas y la depredación de plantas, acarreando problemas de reproducción sexual y bajando sus niveles de producción y establecimiento de plántulas (Flores-Martínez et al., 2013; Lara et al., 2016). Por lo que surge la necesidad de aumentar los conocimientos de su ecología y sus sistemas de reproducción.

Actualmente, la generación de información sobre la morfología, morfométrica y germinación de las semillas y sobre la morfométrica y crecimiento temprano de las plántulas es de gran interés para entender mejor la estructura y dinámica de la poblaciones y comunidades de plantas que crecen en las zonas semiáridas y áridas de nuestro país (González-Cortés et al., 2019). No obstante, esa información es limitada para especies como *Echinocereus stramineus*, la cual tiene una amplia distribución en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas. *E. stramineus* prospera en matorrales xerófilos, pero también se localiza en bosques de pino-encino de las zonas de transición, creciendo sobre colinas rocosas, sobre suelos calizos o volcánicos a unos 1.200 a 2100 m.s.n.m. (Miller, 1988).

Las plantas se desarrollan en un grupo de cactus mono-articulados, de crecimiento no arbustivo, que presentan pequeños tallos de forma globosa a cilíndrica reducida, con 10 a 17 nervaduras verdes ligeramente tuberculadas que forman conglomerados hemisféricos de más de 1 m de ancho y con hasta 10 tallos. Cada planta está armada de 1 a 4 espinas centrales robustas, rectas o curvas, de color amarillo pajizo a blanquecino, de 4 a 9 cm de largo, con 7 a 14 espinas radiales de color rosado a amarillento de 3 cm de largo. La flor no aparece en el ápice del tallo y tiene forma de embudo, de color magenta brillante, de 6 a 12 cm de diámetro (Taylor, 1988). El fruto es globoso con espinas, de color rojo, carnoso, con aroma y sabor a fresa. En Chihuahua, se distribuye ampliamente en el municipio de Juárez y hay pocas evidencias de variaciones morfológicas del fruto, morfométrica y germinación de semillas. En el presente trabajo, se analizaron las características morfométricas y germinación de las semillas de tres poblaciones de *E. stramineus*.

Materiales y métodos

Se recolectaron al azar 10 frutos de 10 plantas de tres poblaciones de *E. stramineus* localizados en tres sitios distintos, una de la Sierra de Ciudad Juárez, otra de la Sierra de Samalayuca y la última de la Sierra Presidio, los tres sitios ubicados en el Municipio de Ciudad Juárez, Chihuahua. Los frutos colectados se lavaron con 500 mL de agua jabonosa agitando en un agitador orbital durante 10 min. Luego, los residuos de jabón se eliminaron con dos lavados de agua destilada en las mismas condiciones que el paso anterior, y finalmente los frutos se secaron con papel secante. Posteriormente, se recuperaron las semillas de la pulpa del fruto colocándola en un colador y lavándola con agua destilada hasta retirar la pulpa. Finalmente, las semillas se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 5 % (v/v) durante 5 min, se lavaron con agua destilada dos veces y se dejaron secar a 25 ºC durante cinco días. Una vez secas las semillas, se seleccionaron al azar 60 semillas de cada población y se midió la masa individual en la balanza analítica. Posteriormente, las 60 semillas para cada etapa de maduración se colocaron uniformemente sobre una hoja milimétrica y se tomó una fotografía digital por cada población. Las imágenes digitales se utilizaron para medir el área y el perímetro de la semilla, el largo y el ancho utilizando el software de procesamiento de imágenes digitales ImageJ.

Previo a la germinación de las semillas, 120 semillas por cada población se desinfectaron utilizando una solución de hipoclorito de sodio al 70% (v/v) durante 3 min, luego se enjuagaron con abundante agua destilada durante 1 min. Enseguida, las semillas de las tres poblaciones se sometieron a los siguientes tratamientos: a). Tres repeticiones de 10 semillas de cada población se sumergieron en 5 mL de H_2SO_4 durante 1 min, luego se enjuagaron con abundante agua destilada; b). Tres repeticiones de 10 semillas de cada población se sumergieron en 5 mL de H_2SO_4 por 3 min, luego se enjuagaron con abundante agua destilada; c). Tres repeticiones de 10 semillas de cada población se sumergieron en 5 mL de H_2SO_4 por 5 min; luego se enjuagaron con abundante agua destilada; d). Tres repeticiones de 10 semillas de cada población se usaron como control. A continuación, las semillas se colocaron en cajas de Petri esterilizadas, utilizando como sustrato 20 g de tierra tipo arenosa previamente esterilizada y se colocaron 13 mL de agua destilada (Reyes-Corral et al., 2022). Finalmente, las cajas se colocaron en una cámara bioclimática a 25 °C, y se aplicó un fotoperiodo de 12 h luz/oscuridad. El progreso de germinación de cada semilla en cada caja se examinó cada 2 días durante 28 días, contabilizando el número de semillas germinadas. Las semillas que no germinaron después de este período se consideraron no viables o latentes, y las que tenían una raíz que sobresalía 1 mm o más se etiquetaron como semillas germinadas (Baskin y Baskin, 2014). Los datos de las semillas germinadas se utilizaron para determinar el porcentaje de germinación (PG), el tiempo medio de germinación (TMG), velocidad media de germinación (VMG) y la tasa media de velocidad de germinación (TMVG) utilizando la metodología propuesta por Souza et al., 2016.

Se realizaron pruebas de normalidad de los datos obtenidos de los valores morfológicos y de los índices de germinación. Para observar si existe diferencias entre las variables analizadas entre las tres poblaciones estudiadas se realizó un análisis de ANOVA univariante y prueba de medias Tukey con un nivel de significancia del 95%. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico IBM SPSS Statistics Base 22.0.

Resultados y discusión

El análisis de las características morfológicas de las semillas de las tres poblaciones se observa en el cuadro 1. Las semillas de la población de Sierra de Ciudad Juárez presentaron los mayores valores en el peso y las características morfométricas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Morfometría de las semillas de las tres poblaciones de *E. stramineus* del Municipio de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Media y desviación estándar (N=60).

Morfometría	Población		
	Ciudad Juárez	Samalayuca	Presidio
Peso (mg)	0.03±0.00^{b}	0.02±0.00^{a}	0.02±0.00^{a}
Largo (cm)	0.13±0.01^{b}	0.11±0.01^{a}	0.12±0.01^{ab}
Ancho (cm)	0.09±0.01^{b}	0.08±0.01^{a}	0.09±0.08^{a}
Relación L/A	1.37±0.12^{a}	1.36±0.15^{a}	1.39±0.13^{a}
Área (cm^2)	0.01±0.00^{b}	0.008±0.00^{a}	0.008±0.00^{a}
Perímetro (cm)	0.37±0.02^{b}	0.34±0.02^{a}	0.34±0.03^{a}

El análisis de los índices de la germinación de las semillas de la población de Sierra de Ciudad Juárez sometidas a tres tiempos de escarificación por H_2SO_4 se muestra en el cuadro 2. Estos resultados mostraron que la escarificación no afectó el porcentaje de germinación y la tasa media de velocidad de germinación (TMVG), pero se observó que el tiempo medio de germinación (TMG) disminuyó según aumentó el tiempo de escarificación, mientras que la velocidad media de germinación (VMG) aumentó con forme aumentó el tiempo de escarificación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Índices de la germinación de las semillas de la población Sierra de Ciudad Juárez del municipio de Juárez, Chihuahua

Índices	Tratamientos			
	Control	Tratamiento 1 (H_2SO_4 1 min)	Tratamiento 2 (H_2SO_4 3 min)	Tratamiento 3 (H_2SO_4 5 min)
PG (%)	80.00±8.66^{a}	86.67±7.64^{a}	90.00±10.00^{a}	95.00±0.00^{a}
TMG (Días)	13.74±0.38^{b}	10.65±0.89^{a}	9.42±0.42^{a}	9.14±0.54^{a}
VMG (Días)	1.25±0.14^{a}	1.71±0.25^{ab}	2.1±0.4^{b}	2.19±0.25^{b}
TMVG (Días^{-1})	0.07±0.00^{a}	0.39±0.51^{a}	0.11±0.00^{a}	0.11±0.01^{a}

Media y desviación estándar (N=3). Porcentaje de germinación (PG), tiempo medio de germinación (TMG), velocidad media de germinación (VMG) y tasa media de velocidad de germinación (TMVG).

El análisis de los índices de la germinación de las semillas de la población de Sierra de Samalayuca sometidas a tres tiempos de escarificación por H_2SO_4 se muestra en el cuadro 3. Estos resultados mostraron que el porcentaje de germinación fue similar entre control y en el tratamiento 3, sin embargo, disminuyó en los tratamientos 1 y 2 (Cuadro 3). Sin embargo, el tiempo medio de germinación (TMG) disminuyó conforme aumentó el tiempo de escarificación, por el contrario, la velocidad media de germinación (VMG) y la tasa media de velocidad de germinación (TMVG) aumentaron conforme aumentó el tiempo de germinación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Índices de la germinación de la población Sierra de Samalayuca del municipio de Juárez, Chihuahua.

Índices	Tratamientos			
	Control	Tratamiento 1 (H_2SO_4 1 min)	Tratamiento 2 (H_2SO_4 3 min)	Tratamiento 3 (H_2SO_4 5 min)
PG (%)	95.0±0.0^{b}	88.33±5.77^{ab}	76.67±10.41^{a}	95.0±0.0^{b}
TMG (Días)	12.62±1.46^{b}	9.79±0.5^{a}	9.82±0.26^{a}	8.93±0.42^{a}
VMG (Días)	1.0±0.00^{a}	1.84±0.20^{bc}	1.61±0.25^{b}	2.18±0.18^{c}
TMVG (Días^{-1})	0.08±0.01^{a}	0.10±0.01^{b}	0.10±0.00^{b}	0.11±0.01^{b}

Media y desviación estándar (N=3). Porcentaje de germinación (PG), tiempo medio de germinación (TMG), velocidad media de germinación (VMG) y tasa media de velocidad de germinación (TMVG).

El análisis de los índices de la germinación de las semillas de la población de Sierra de Presidio sometidas a tres tiempos de escarificación por H_2SO_4 se muestra en el cuadro 4. El porcentaje de germinación aumentó conforme aumentó el tiempo de escarificación (Cuadro 4), sin embargo, el tiempo medio de germinación (TMG) disminuyó conforme aumentó el tiempo de escarificación de las semillas, por el contrario, la velocidad media de germinación (VMG) y la tasa media de velocidad de germinación (TMVG) de las semillas de esta población aumentaron conforme aumentó el tiempo de escarificación.

Cuadro 4. Índices de la germinación de la población Presidio del municipio de Juárez, Chihuahua.

Índices	Tratamientos			
	Control	Tratamiento 1 (H_2SO_4 1min)	Tratamiento 2 (H_2SO_4 3min)	Tratamiento 3 (H_2SO_4 5min)
PG (%)	78.33±2.89^{a}	91.67±7.64^{ab}	91.67±2.89^{b}	93.33±7.64^{b}
TMG (Días)	13.61±1.47^{b}	11.81±0.79^{ab}	9.75±0.59^{a}	9.46±0.43^{a}
VMG (Días)	1.26±0.15^{a}	1.69±0.17^{b}	1.91±0.07^{b}	1.99±0.11^{b}
TMVG (Días^{-1})	0.07±0.01^{a}	0.08±0.01^{a}	0.10±0.01^{b}	0.11±0^{b}

Media y desviación estándar (N=3). Porcentaje de germinación (PG), tiempo medio de germinación (TMG), velocidad media de germinación (VMG) y tasa media de velocidad de germinación (TMVG).

Conclusiones

Las semillas de las tres poblaciones analizadas presentaron un porcentaje de germinación en un rango de 78-95%, sin embargo, solo se observó impactado en la población de la sierra de Presidio, ya que el tiempo de escarificación de las semillas con H_2SO_4 mejoró la germinación desde un 78% en el control hasta un 93% en el tratamiento 3. Además, la escarificación de las semillas con H_2SO_4 mejoró el tiempo medio de germinación de las semillas de las tres poblaciones debido a que disminuyó conforme aumentó el tiempo de escarificación. Asimismo, la escarificación de las semillas con H_2SO_4 aumentó la velocidad media de germinación en las semillas de las tres poblaciones.

Referencias

Baskin, C., Baskin, J. (2014). Seeds, ecology, biogeography, and evolution of dormancy andGermination (A. Press (ed.); Second Edi). Elsevier. 666 p.

Flores-Martínez, A.; Manzanero, G. I.; Golubov, J. y Mandujano, M. C. (2013). Biología floral de *Mammillaria huitzilopochtli*, una especie rara que habita acantilados. *Botanical Science*, 91(3):349-356.

González-Cortés, A., Ramírez-Godina F., Reyes-Valdés, M. H., Robledo-Torres V., Pérez- Rodríguez M. Á., Villarreal-Quintanilla J. A. & López-Benítez, A. (2019). Morfología de semillas de siete especies del género *Opuntia* (Cactaceae) del sureste de Coahuila (México). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica,* 54(4), 1-10.

Lara, J. E. I.; Treviño, C. J.; Estrada, D. B.; Poot, P. W. A.; Vargas, T. V. y Ballesteros, B. C. (2016). Determinación de las especies nodriza de *Ferocactus pilosus* (Galeotti) Werderm. (Cactaceae) en Miquihuana, Tamaulipas, México. *Rev. Mex. Agroecos.* 3(2):184-194.

Miller, J. (1988). Floral pigments and phylogeny in *Echinocereus* (Cactaceae). *Systematic Botany*, 13, 173-183.

Reyes-Corral, V.I., González-Fernández, R., Quiñónez-Martínez, M., Rodrigo-García, J., Garza-Vallejo, G. I. & Valero-Galván, J. (2022). Characterization of the morphometry, germination process, phytochemicals, and antioxidant capacity of seeds of three species of the genus *Cylindropuntia* (Cactaceae) of Chihuahua state. *Journal of the. Professional Association for Cactus Development,* 24, 251-268. https://doi.org/10.56890/jpacd.v24i.506

Souza, D.F.H., Marcos-Filho, J. (2001). The seed coat as a modulator of see-environmental relationships in Fabacaea. *Revista Brasileira de Sementes,* 4, 365-375.

Taylor, N. (1988). Supplementary notes on Mexican *Echinocereus*. *Bradleya*, 65-84.

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE, FUNGICIDA Y BACTERICIDA DE EXTRACTOS HIDROALCOHÓLICOS DE RAÍZ DE *Jatropha dioica* Seseé

Aguilar-Galaviz, Lizeth[1], Cadena-Iñiguez, Jorge[1*], García-Flores, Dalia Abigail[1], Loera-Alvarado, Gerardo[1], Ortega-Amaro, Azucena[2]

[1] Colegio de Postgraduados, Innovación en Manejo de Recursos Naturales, Campus San Luis Potosí, Iturbide 73, C.P. 78600. Salinas de Hidalgo, SLP, México. [2] Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Coordinación Académica Región Altiplano Oeste. Carretera Salinas-Santo Domingo 200, Salinas de Hidalgo, S.L.P. México. C.P. 78600. * Autor de correspondencia: jocadena@gmail.com

Introducción

El 63% del territorio mexicano está constituida por zonas áridas y semiáridas (Díaz-Padilla et al., 2011), y generalmente son áreas con limitantes agroclimáticas, tales como la sequía y cambios en temperatura. En estos escenarios, muchas especies vegetales han desarrollado metabolitos secundarios para supervivir. El género *Jatropha* se distribuye aproximadamente en 40% de la superficie registrada como semiárida (Fresnedo-Ramírez y Orozco-Ramírez, 2013), y la especie *Jatropha dioica* Sessé conocida localmente como sangre de drago está ampliamente distribuida sin usos aparentes. El segundo plan de acción mundial de la FAO (2012) para los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (RFAA) determina en su tercera actividad prioritaria la utilización sostenible, y dentro de esta, realizar el incremento de la caracterización y evaluación y mayor desarrollo de subconjuntos específicos para facilitar su uso. Por lo anterior, se considera relevante hacer procesos de caracterización y evaluación de la actividad biológica para identificar nuevos usos y diseñar productos que puedan innovar en el algún sector de la sociedad. *J. dioica* registra metabolitos secundarios (Maury et al., 2020) con los cuales se puede reorientar y revalorizar su uso actual y obtener formulaciones fungicidas y bactericidas que pueden promover en el mediano plazo proyectos para el desarrollo comunitario con la participación de habitantes rurales (Aguilar-Veloz et al., 2023; Cadena Iñiguez et al., 2020). Con base en lo anterior, se evaluó la actividad biológica fungicida, bactericida y antioxidante de extractos hidroalcohólicos de raíz de *J. dioica*, con el fin de diseñar formulaciones para uso en actividades postcosecha y agroindustrial. Lo anterior coadyuvará a la conservación de *J. dioica* como un RFAA.

Materiales y métodos

J.dioica (Euphorbiaceae) fue recolectada en temporada de estiaje en el ejido Loma de la carreta de Villa González Ortega, Zacatecas, México (23° 11’ y 22° 27’ N y 101° 22’ y 101° 57’ O). Una muestra de 600 g de raíz fue secada a temperatura ambiente (22 °C) y se molió uniformizando el tamaño de partícula con un tamiz del número 20. Se obtuvieron extractos hidroalcohólicos (metanol y etanol) a través de maceración por siete días. Una muestra de 50 g de materia seca fue macerada con 500 mL de etanol (80%) y otra con metanol (99.9%), seguido de una filtración por vacío y concentración del extracto en un rotavapor a 40 °C 120 rpm. Los extractos obtenidos se colocaron en horno de secado y almacenaron en refrigeración a -4 °C hasta su uso. Se preparo una solución madre (0.13 g en 15 mL de agua destilada), diluidos en un baño ultrasónico. Los inóculos fueron proporcionados por el INIFAP C.E. Zacatecas y el IPICYT. La actividad biológica se evaluó sobre *Botrytis cinerea* y *Pseudomonas syringae*, para ambos microrganismos se seleccionó el método de susceptibilidad de dilución en agar y difusión de pozos en agar Luria Bertani (LB).

Bajo un diseño completamente al azar en cajas petri, se evaluaron las concentraciones 500,1000,1500,2000 y 4000 µg mL^{-1} las cuales fueron agregadas en el de medio de cultivo y esterilizados en autoclave (121 °C por 15 min), enseguida se agregaron en cajas Petri para su solidificación, en el centro se colocó un trozo de 4.6 mm de micelio e incubado a 25 ± 2°C, las mediciones se tomaron cada 24 h durante siete días o hasta que el testigo alcanzara su crecimiento total. Para el caso de la bacteria *Pseudomonas syringae*, después de 24 h de incubación se tomó una colonia y fue transferida asépticamente en agua salina (0.85%), por 5 min se diluyó la suspensión seguido de un ajuste con base en el estándar de turbidez de 0.5 McFarland (10^6 UFC mL^{-1}. Sobre el medio LB se aplicó una alícuota de 10 µL de suspensión ajustada. Después se realizaron los pozos con un sacabocados de 6 mm, seguido de la aplicación de 100 µL de las concentraciones 1000, 2500, 5000, 7500, 10000 y 20000 µg mL^{-1}, se dejó reposar por una hora e incubado a 37 °C por 18 h (Al Sa'ady, 2020). En ambos microrganismos se midió el halo de inhibición de crecimiento después del tiempo de incubación. Los resultados se obtuvieron como promedio ± desviación estándar.

La actividad antioxidante fue determinada por DPPH y ABTS, donde el porcentaje de inhibición de radicales libres se calculó a través de la siguiente formula:

% de inhibición de radicales libres = [(Ac – As) ÷ Ac] x 100

Donde: Ac= Absorbancia promedio de la muestra; As= Absorbancia de muestra control

Resultados y discusión

Estudios previos en *J. dioica* (JD) le atribuyen actividad biológica hipoglucemiante (Ramirez-Moreno et al., 2023), quimioprotectora (Martínez et al., 2014) , citotóxica (Silva, 2014) inclusive antimicrobiana en patógenos que causan caries orales, en la cual el extracto tiene un efecto significativo en el control de *Streptococcus mutans* (Terrazas Hernández, 2019). El cuadro 1 muestra el efecto de las dosis de extractos hidroalcohólicos sobre *P. syringae*, resaltando que las concentraciones más altas son las de mayor inhibición. Autores como Pérez-Pérez et al. (2020) registraron que el extracto de raíz de *J. dioica* mostró efecto inhibidor sobre las bacterias P. *syringae* pv tomato y *Clavibacter michiganensis* subsp. Michiganensis (CI_{50}= 0.5 y 1.7 mg mL^{-1})

Cuadro 1. Inhibición del halo (mm) de *Pseudomonas syringae* mediante la aplicación de extractos alcohólicos de *Jatropha dioica*. Valores promedio ± desviación estándar

Solvente de extracción	Dosis µg mL^{-1}	Halo de inhibición (mm)
Etanol	2500	*
	5000	12±0.72
	7500	15±1.37
	10000	17±0.43
	20000	18±0.28
Metanol		
	2500	11.28±0.68
	5000	11.4±0.18
	7500	12.71±0.57
	10000	13±0.10
	20000	15.35±0.15

También se reporta actividad fungistática con extracto hexanico de raíz sobre *Alternaria alternata* (35.9%), *Sclerotium rolfsii* (45.2%), *Colletotrichum gloesporoides* (19.6%) *Rhizoctonia solani* (3.1%) y *Fusarium oxysporum* (12%) (Gutiérrez-Tlahque et al., 2019). De igual forma al extracto etanólico concentrado de raíz de *J. dioica* sobre *F. oxysporum*, con valores de inhibición de 50 a 60% (Tucuch-Pérez et al., 2020). Respecto a la evaluación sobre *Botrytis cinerea*, el cuadro 2 indica que existe actividad fungistática sobre el hongo, mostrando que las mayores concentraciones inhiben el crecimiento micelar.

Cuadro 2. Inhibición del halo micelar (mm) de *Botrytis cinerea* mediante la aplicación de extractos alcohólicos de *Jatropha dioica*.

Solvente de extracción	*Dosis µg mL^{-1}*	*Halo de inhibición (mm)*
Etanol	Control (-)	0±0
	500	7.63±4.11
	1000	16.74±1.87
	1500	24.45±3.59
	2000	35.26±2.28
	4000	42.27±2.20
Metanol	Control (-)	0.00±0
	500	15.83±3.37
	1000	25.48±3.96
	1500	35.75±2.98
	2000	37.47±0.67
	4000	46.68±1.97

La actividad fungistática se ha atribuido a la acción de metabolitos secundarios, en los que destacan los compuestos polifenolicos, los cuales interfieren en el proceso vital de los hongos cambiando el estado fisiológico de las células y debilitando o destruyendo la barrera de permeabilidad de la membrana celular (Rongai et al., 2015).
El cuadro 3 muestra que los dos extractos tienen actividad antioxidante. Los valores en el extracto metanólico son ligeramente superiores respecto al etanólico; sin embargo, en ambos casos la actividad es sobresaliente.

Cuadro 3. Porcentaje de inhibición del radical DPPH y ABTS (valores de media y IC_{50}) en extractos hidroalcohólicos de raíz de *Jatropha dioica* Sessé.

Solvente	Dosis (µg mL^{-1})	Inhibición del radical DPPH (%)	IC^{50} (µg mL^{-1})	Inhibición del radical ABTS (%)	IC^{50} (µg mL^{-1})
Etanol	500	42.47	864	65.24	548
	1000	62.56		87.17	
	1500	72.80		100.0	
	2000	77.85		100.0	
	4000	100.0		100.0	
Metanol	500	42.64	838	81.19	421
	1000	63.38		100.0	
	1500	73.71		100.0	
	2000	78.01		100.0	
	4000	100.0		100.0	

Se ha observado que la concentración de fenoles totales, flavonoides y terpenos es diferente en los diferentes órganos de la planta (raíz y tallo), siendo más alto el contenido en la raíz independientemente del método y solvente de extracción (Gutiérrez-Tlahque et al., 2019). Sin embargo, la extracción con solventes hidroalcohólicos demuestra que los compuestos presentes en la planta son termoestables ya que se mantienen con la exposición a altas temperaturas (Moreno et al., 2016). Autores como Moreno et al. (2016), reportaron una concentración de compuestos polifenólicos en el extracto etanólico de raíz de *J. dioica* de 43.44 µg mL^{-1} de ácido gálico y una actividad media antioxidante de 0.2609 ±0.0027 mM Trolox.

En general los extractos hidroalcohólicos de *J. dioica* mostraron actividad biológica funcional como fungistático, bactericida y antioxidante. La dosis de 4000 µg mL^{-1} registró 46.68 y 42.27% de inhibición de crecimiento de *Botrytis cinérea* con una IC_{50} de 5.84 y 5.04 mg mL^{-1}, mientras que en la bacteria *Pseudomonas syringae* se observaron valores de inhibición del crecimiento de 0-15 mm. Las dosis evaluadas de ambos extractos presentan alta inhibición de radicales libres relacionado con actividad antioxidante (42.47-100%). Es importante considerar estudios de citotoxicidad en líneas celulares normales para determinar los límites de citotóxico para la salud humana.

Conclusiones

Los extractos hidroalcohólicos de raíz de *J. dioica* tienen actividad biológica relacionada con acción fungistática y bactericida en microrganismos de interés económico que afectan la vida postcosecha de frutos. Registran valores sobresalientes de actividad antioxidante que los ubican como fuente de metabolitos bioactivos para favorecer la salud humana. Aun cuando no se reporta la actividad sinérgica entre estas acciones, se considera posible el diseño de formulaciones y composiciones para uso en la industria de alimentos frescos.

Referencias

Aguilar-Veloz, L. M., Olguín-Rojas, J. A., Gómez-Flores, D., Vázquez-González, C., Castro-Díaz, A. S., González-Pérez, M., Calderón-Santoyo, M., y Ragazzo-Sánchez, J. A. (2023). Development of Polyphenolics Extracts from Mexican Crops as Natural Antimicrobial Agents for Postharvest Treatments. Biology and Life Sciences Forum, *26*(1), Article 1. https://doi.org/10.3390/Foods2023-15486

Al Sa'ady, A. (2020). Antibacterial screening for five local medicinal plants against nosocomial pathogens: *Klebsiella pneumoniae* and *Staphylococcus epidermidis*. 553-559.

Balouiri, M., Sadiki, M., y Ibnsouda, S. K. (2016). Methods for *in vitro* evaluating antimicrobial activity: A review. Journal of Pharmaceutical Analysis, *6*(2), 71-79. https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005

Cadena Iñiguez, J., González Santos, R., Cuevas Sánchez, J., Riviello Flores, M. D. L. L., y Ruiz Posadas, L. D. M. (2020). La Conservación *in situ* de la Biodiversidad Agrícola, y la generación de proyectos en ejidos y comunidades de México. http://dspace.aeipro.com/xmlui/handle/123456789/2493

Díaz-Padilla, G., Sánchez-Cohen, I., Guajardo-Panes, R. A., Del Ángel-Pérez, A. L., Ruíz-Corral, A., Medina-García, G., & Ibarra-Castillo, D. (2011). Mapeo del índice de aridez y su distribución poblacional en México. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 17(SPE), 267-275. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.069

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2012.

Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura-Resumen del Segundo Plan de Acción Mundial para los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/4/i2650s/i2650s.pdf

Fresnedo-Ramírez, J., y Orozco-Ramírez, Q. (2013). Diversity and distribution of genus *Jatropha* in Mexico. Genetic Resources and Crop Evolution, *60*(3), 1087-1104. https://doi.org/10.1007/s10722-012-9906-7

Gutiérrez-Tlahque, J., Aguirre-Mancilla, C. L., López-Palestina, C., Sánchez-Fernández, R. E., Hernández-Fuentes, A. D., y Martín Torres-Valencia, J. (2019). Constituents, Antioxidant and Antifungal Properties of *Jatropha dioica* var. *Dioica*. Natural Product Communications, *14*(5), 1934578X1985243. https://doi.org/10.1177/1934578X19852433

Martínez, N., Almaguer, G., Vázquez-Alvarado, P., Figueroa, A., Zúñiga, C., y Hernández-Ceruelos, A. (2014). Análisis fitoquímico de *Jatropha dioica* y determinación de su efecto antioxidante y quimioprotector sobre el potencial genotóxico de ciclofosfamida, daunorrubicina y metilmetanosulfonato evaluado mediante el ensayo cometa. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 13(5), 437-457.

Maury, G. L., Rodríguez, D. M., Hendrix, S., Arranz, J. C. E., Boix, Y. F., Pacheco, A. O., Díaz, J. G., Morris-Quevedo, H. J., Dubois, A. F., Aleman, E. I., Beenaerts, N., Méndez-Santos, I. E., Ratón, T. O., Cos, P., y Cuypers, A. (2020). Antioxidants in Plants: A Valorization Potential Emphasizing the Need for the Conservation of Plant Biodiversity in Cuba. Antioxidants (Basel, Switzerland), 9(11), 1048. https://doi.org/10.3390/antiox9111048

Moreno, A. R., Gallardo, L. B. S., Ledezma, L. E. B. L. B., Escorza, M. A. Q., Pérez-Vertti, R. D. A., y Guzmán, D. D. (2016). Determinación de los compuestos polifenólicos en extractos de *Jatropha dioica* y su capacidad antioxidante. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, *47*(4), 42-48.

Pérez-Pérez, J. U., Guerra-Ramírez, D., Reyes-Trejo, B., Cuevas-Sánchez, J. A., Guerra-Ramírez, P., Pérez-Pérez, J. U., Guerra-Ramírez, D., Reyes-Trejo, B., Cuevas-Sánchez, J. A., y Guerra-Ramírez, P. (2020). Actividad antimicrobiana *in vitro* de extractos de *Jatropha dioica* Seseé contra bacterias fitopatógenas de tomate. *Polibotánica*, *49*, 125-133. https://doi.org/10.18387/polibotanica.49.8

Rongai, D., Pulcini, P., Pesce, B., y Milano, F. (2015). Antifungal activity of some botanical extracts on *Fusarium oxysporum*. Open Life Sciences, 10(1). https://doi.org/10.1515/biol-2015-0040

Silva, Y. (2014). Antimicrobial and citotoxic activities from *Jatropha dioica* roots. Journal of Biological Sciences, *17*, 748.

Terrazas Hernández, J. A. (2019). Efecto de la esterilización sobre compuestos bioactivos de los extractos del fruto xoconostle ulapa (*opuntia oligacantha*) y de la planta sangre de drago (*jatropha dioica* sessé ex cerv.) con posible aplicación antimicrobiana en productos *bucales.* http://200.57.56.70:8080/xmlui/handle/231104/2676

Tucuch-Pérez, M. A., Arredondo-Valdés, R., Hernández-Castillo, F. D., Tucuch-Pérez, M. A., Arredondo-Valdés, R., & Hernández-Castillo, F. D. (2020). Antifungal activity of phytochemical compounds of extracts from Mexican semi-desert plants against *Fusarium oxysporum* from tomato by microdilution in plate method. Nova Scientia, 12(25). https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2345

Larrea tridentata (Sessé & Moc. ex DC.) Coville ESPECIE CON POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO FUNGICIDA Y BACTERICIDA

Diego Rivera-Escareño[1], Jorge Cadena-Iñiguez[1], Dalia Abigail García-Flores[1], Gerardo Loera-Alvarado[1] y María Azucena Ortega-Amaro[2]

[1]Colegio de Postgraduados, Innovación en Manejo de Recursos Naturales, Campus San Luis Potosí. Iturbide 73, Salinas de Hidalgo, SLP, México. C.P. 78600. [2]Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Coordinación Académica Región Altiplano Oeste. Carretera Salinas-Santo Domingo 200, Salinas de Hidalgo, S.L.P. México. C.P. 78600. *Autor de correspondencia: jo.cadena@colpos.mx

Introducción

La gobernadora (*Larrea tridentata* (Sessé & Moc. ex DC.) Coville) es una especie del matorral xerófilo distribuido desde el centro de México hasta el sur de EUA (Rzedowski & Rzedowski, 1988), y se ha reportado importante actividad biológica por su contenido de metabolitos secundarios (Lira-Saldívar, 2003). Las enfermedades en los cultivos agrícolas son un problema recurrente para los productores por el impacto que tienen en el rendimiento (SIAP, 2016), y para su control es común utilizar agroquímicos, pero estos afectan al ambiente y la salud de los productores y consumidores (del Puerto et al., 2014; Jáquez-Matas et al., 2022; Silveira-Gramont et al., 2018). La utilización de extractos de plantas para el control de enfermedades de interés agrícola ha sido de gran ayuda por su efectividad y bajo impacto ambiental (Mesa et al., 2019). Enfermedades que tienen un amplio abanico de huéspedes, tal como el hongo *Botrytis cinerea* y la bacteria *Pseudomonas syringae* (Dewey (Molly) & Grant-Downton, 2016; Mansfield et al., 2012) causan serios daños a los productos reduciendo su vida postcosecha y causando pérdidas económicas. Los extractos botánicos son opciones viable para el control de enfermedades y ayudan a que la agricultura sea sostenible (Nava-Pérez et al., 2012). Se evaluó la efectividad de extractos alcohólicos de *L. tridentata* sobre los fitopatógenos *B. cinerea* y *P. syringae*, además de determinar el contenido de fenoles y flavonoides por mL de concentración con el objetivo de registrar el potencial bioactivo de dichos extractos y diseñar formulaciones para uso agrícola.

Materiales y métodos

La recolecta del material vegetal se realizó con un muestreo al azar, en el ejido Loma de la carreta del municipio Villa Gonzales Ortega, Zacatecas, México (22° 37' 49.0" N 101° 52' 58.2" W, elevación 2,144 msnm), en la época de estiaje (febrero). Se corto el tercio superior de la planta y se utilizaron las hojas y tallos menos lignificados. Se dejo secar a temperatura ambiente por 7 d, posteriormente se homogeneizo el material vegetal con un molino y cribando con un tamiz número 20. Una muestra de 50 g de material vegetal se maceró en etanol (80%) en una relación 1:5 por 7 d a resguardo de la luz. Posteriormente el extracto se concentró en rotavapor, hasta llegar a estado semilíquido para pasarlo a un horno de secado 40 °C durante 7 d.

Para las pruebas *in vitro* con el hongo *B. cinerea*, se utilizó el método de medio envenenado (Guerrero-Rodríguez et al., 2007) donde al medio de cultivo PDA se agrega extracto para alcanzar las dosis de 0 como control, y de 50, 100, 250, 500, 750, 1000 y 2000 µg mL^{-1}. Posteriormente se inoculo con un disco de 7 mm de medio PDA con *B. cinerea* con cuatro días de crecimiento y se incubo a 25 °C. Se midió dos diámetros cada 24 h hasta que el control sin tratamiento alcanzara a cubrir el total de la caja Petri.

Para la bacteria *P. syringae* se utilizó el método difusión en pozos en agar (Gonelimali et al., 2018), donde las placas Petri de agar LB (Luria Bertani) se inocularón con una suspensión de la bacteria ajustado a 0.5 en la escala de McFarland. Posteriormente las placas se perforaron pozos de 7 mm, donde se agregaron 100 µL de las diluciones de 50, 100, 250, 500, 1000 y 2000 µg mL^{-1}. Se incubo a 37 °C por 18 h y se midieron dos radios del halo de inhibición.

Resultados y discusión

Todas las dosis registraron efecto sobre el crecimiento de *B. cinerea*. En el tiempo final de 120 h dosis menores a 750 µg mL^{-1} tuvieron un efecto fungistático, por ejemplo, en la dosis de 1000 µg mL^{-1} la inhibición de crecimiento fue de 89.3% y en 2000 µg mL^{-1} (Cuadro 1) solo hubo crecimiento en dos de cinco cajas Petri. Algunos autores como Larios-Palacios et al. (2020) utilizaron un producto comercial a 2 mL L^{-1} contra *B. cinerea*, no se conoce la dosis utilizada, pero no resultó tan eficaz como las dosis más altas del presente estudio (500 µg mL^{-1}). De igual forma, Taborda Andrade et al. (2015), determino el efecto fungistático de aceites esenciales y extractos etánolicos a dosis de 256 y 500 µg mL^{-1} , en la cual los extractos de *Lippia. origanoides y Thymus. vulgaris* logro inhibir un 88 y 87%. Por otra parte, los aceites esenciales de *L. origanoides* inhibieron el 92.3- 94.3% y *T. vulgaris* de 92.2-93.6% respectivamente, siendo mejor la utilización de los aceites esenciales, pero aun así quedando por detrás de los extractos de *L. tridentata* a dosis de 1000 y 2000 µg mL^{-1}. También, Lira-Saldivar et al. (2006) demostraron que el extracto etánolico obtenido por Soxhlet de *L. Tridentata* a 1000, 2000 y 4000 µg mL^{-1} inhibió el 96% del crecimiento del hongo *B. cinerea.* La mínima diferencia porcentual respecto a nuestro estudio puede deberse al método de extracción utilizado y al origen y temporada de recolecta de la planta.

Cuadro 1. Crecimiento de *B. cinerea* con tratamientos de medio envenenado de *L. tridentata* a 5 d de crecimiento.

Dosis (µg mL^{-1})	**24 h**	**48 h**	**72 h**	**96 h**	**120 h**
0	13.94 ±0.71	35.35 ±1.04	61.56 ±4.65	92 ±3.41	100 ±0
50	34.92 ±0.8	47.08 ±1.33	68.28 ±1.26	84.48 ±2.23	84.48 ±1.99
100	23.85 ±0.71	22 ±0.90	33.6 ±0.51	46.3 ±2.65	59.65 ±1.28
250	27.83 ±0.46	14.74 ±1.14	21.95 ±1	30.25 ±1.41	37.01 ±1.81
500	28.37 ±4.3	13.75 ±2.59	16.63 ±2.27	24.25 ±1.02	28.2 ±2
750	27.23 ±5.37	10.73 ±4.87	15.53 ±7.23	21.9 ±10	26.21 ±10.6
1000	0±0	0±0	5.65±4.13	6.89±5.05	10.78±4.77
2000	0±0	0±0	1.88±3.35	3.9±4.3	4.39±4.35

Dentro del efecto bactericida las dosis de 0 (control), 50 y 100 µg mL^{-1} no demostraron inhibición. Se presentó inhibición desde 250 µg mL^{-1} con un halo de 13.92 ±0.77 mm las que resultaron con mayor halo de inhibición son las de 1000 y 2000 µg mL^{-1} (Cuadro 2). (Chavan et al., 2023) evaluaron la capacidad bactericida contra *P. syringae*, utilizo extractos métanolicos de *Zingiber officinale* (14), *Opuntia ficus indica* (13 mm), *Bryophyllum pinnatum* (12 mm), *Syzygium romaticum* (16 mm), *Gingiber officinale* (10 mm), *Syzygium aromaticum* (14 mm), *Curcuma longa* (0 mm), mientras que los extractos de *L. tridentata* a sus mayores dosis de 1000 (19.27 mm) y 2000 µg mL^{-1} (20.15 mm) obtuvieron halos de inhibición mayores, con la utilización de solventes orgánicos.

Cuadro 2. Halo de inhibición de extractos de *L. tridentata* en *P. syringae* a 18 horas

Dosis (µg mL^{-1})	Halo de inhibición (mm)
0	0.00 ±0.00a
50	0.00 ±0.00a
100	0.00 ±0.00a
250	13.92 ±0.77b
500	14.78 ±0.19b
1000	19.27 ±0.63c
2000	20.15 ±0.07c

Los promedios con la misma letra no presentan diferencias Tukey con $P \leq 0.05$

Los metabolitos secundarios en las plantas registran actividad antioxidante; sin embargo, en otros usos, se les ha reportado con actividad antimicrobiana. Rodríguez-Pérez et al. (2017) reportaron la actividad de estos compuestos a partir de dos extractos etanólicos de propóleo frente a las cepas de *Escherichia coli, Staphylococus aureus, Candida albicans y Aspergilus flavus*. Las plantas que se desarrollan en zonas áridas contienen un contenido de metabolitos secundarios que pueden coadyubar en el control de fitopatógenos en cultivos y productos postcosecha (Andrade-Bustamante et al., 2017).

Conclusiones

Los extractos de gobernadora tienen actividad biológica relevante sobre *B. cinerea* y *P. syringae* para ser considerados como una opción viable para el control de fitopatógenos teniendo un menor impacto ambiental en las tierras de cultivos. El aprovechamiento y revalorización de este recurso natural puede contribuir en su conservación y una disminución en la utilización de agroquímicos que perjudican al ambiente en general.

Referencias

Andrade-Bustamante, G., García-López, A. M., Cervantes-Díaz, L., Aíl-Catzim, C. E., Borboa-Flores, J., & Rueda-Puente, E. O. (2017). Study of the autochthonous plants as a potential biocontroller in. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*.

Chavan, N., Janjal, P. H., Jadhao, K., Kale, S., & Shinde, A. (2023). *Synergistic effect of medicinal plant extracts and antibiotics against bacterial pathogens*. *12*(4), 1322–1328.

del Puerto Rodríguez, A. M., Suárez Tamayo, S., & Palacio Estrada, D. E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, *52*(3), 372–387.

Dewey (Molly), F. M., & Grant-Downton, R. (2016). Botrytis-Biology, Detection and Quantification. En S. Fillinger & Y. Elad (Eds.), *Botrytis – the Fungus, the Pathogen and its Management in Agricultural Systems* (pp. 17–34). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23371-0_2

Gonelimali, F. D., Lin, J., Miao, W., Xuan, J., Charles, F., Chen, M., & Hatab, S. R. (2018). Antimicrobial Properties and Mechanism of Action of Some Plant Extracts Against Food Pathogens and Spoilage Microorganisms. *Frontiers in Microbiology*, *9*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01639

Guerrero-Rodríguez, E., Solís Gaona, S., Hernández Castillo, F. D., Flores Olivas, A., Sandoval López, V., & Jasso Cantú, D. (2007). Actividad Biológica in vitro de Extractos de Flourensia cernua D.C. en Patógenos de Postcosecha: Alternaria alternata (Fr.:Fr.) Keissl., Colletotrichum gloeosporioides (Penz.) Penz. Y Sacc. Y Penicillium digitatum (Pers.:Fr.) Sacc. *Revista Mexicana de Fitopatología*, *25*(1), 48–63.

Jáquez-Matas, S. V., Pérez-Santiago, G., Márquez-Linares, M. A., & Pérez-Verdín, G. (2022). Impactos económicos y ambientales de los plaguicidas en cultivos de maíz, alfalfa y nogal en Durango, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, *38*, 219–233. https://doi.org/10.20937/RICA.54169

Larios-Palacios, O. E., López-Vázquez, É. Y., Curiel Rodríguez, A., Ruíz-Espinoza, F. de J., Solano-Vidal, R., Serrato-Cruz, M. Á., Larios-Palacios, O. E., López-Vázquez, É. Y., Curiel Rodríguez, A., Ruíz-Espinoza, F. de J., Solano-Vidal, R., & Serrato-Cruz, M. Á. (2020). Evaluación in vitro de métodos contra Botrytis cinerea. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *11*(3), 593–606. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.2077

Lira-Saldívar, R. H. (2003). Estado Actual del Conocimiento Sobre las Propiedades Biocidas de la Gobernadora [Larrea tridentata (D.C.) Coville]. *Revista Mexicana de Fitopatología*, *21*(2), 214–222.

Lira-Saldivar, R. H., Hernández-Suárez, M., & Hernández-Castillo, F. D. (2006). Activity of Larrea tridentata (D.C.) Coville L. extracts and chitosan against fungi that affect horticultural crops. *REVISTA CHAPINGO SERIE HORTICULTURA*, *12*(2), 211–216.

Mansfield, J., Genin, S., Magori, S., Citovsky, V., Sriariyanum, M., Ronald, P., Dow, M., Verdier, V., Beer, S. V., Machado, M. A., Toth, I., Salmond, G., & Foster, G. D. (2012). Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, *13*(6), 614–629. https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00804.x

Mesa, V. a. M., Marín, P., Ocampo, O., Calle, J., & Monsalve, Z. (2019). Fungicidas a partir de extractos vegetales: Una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, *45*(1), 23–30.

Nava-Pérez, E., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., & Vázquez-Montoya, E. L. (2012). Bioplaguicidas: Una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai*, 17–30. https://doi.org/10.35197/rx.08.03.e2.2012.03.en

Rodríguez Pérez, B., Canales Martínez, M., Cruz Sánchez, T. A., & Penieres Carrillo, J. G. (2017). Compuestos fenólicos y flavonoides en la actividad antimicrobiana de propóleos mexicanos. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química. Año 3, número 3 (enero-diciembre de 2017). ISSN: 2448-6663*. http://zaloamati.azc.uam.mx//handle/11191/8421

Rzedowski, J., & Rzedowski, G. C. de. (1988). Dos nuevas localidades de Larrea tridentata (Zygophyllaceae) en el centro de México y su interés fitogeográfico. *Acta Botanica Mexicana*, *1*, Article 1. https://doi.org/10.21829/abm1.1988.558

SIAP, S. de I. A. y P. (2016). *El impacto de las plagas y enfermedades en el sector agrícola*. gob.mx. http://www.gob.mx/siap/articulos/el-impacto-de-las-plagas-y-enfermedades-en-el-sector-agricola

Silveira-Gramont, M. I., Aldana-Madrid, M. L., Piri-Santana, J., Valenzuela-Quintanar, A. I., Jasa-Silveira, G., Rodríguez-Olibarria, G., Silveira-Gramont, M. I., Aldana-Madrid, M. L., Piri-Santana, J., Valenzuela-Quintanar, A. I., Jasa-Silveira, G., & Rodríguez-Olibarria, G. (2018). PLAGUICIDAS AGRICOLAS: UN MARCO DE REFERENCIA PARA EVALUAR RIESGOS A LA SALUD EN COMUNIDADES RURALES EN EL ESTADO DE SONORA, MÉXICO. *Revista internacional de contaminación ambiental*, *34*(1), 7–21. https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.01

Taborda Andrade, L. A., Sánchez Orozco, M. S., Bonilla Correa, C. R., & Huertas Davey, C. (2015). Efecto fungistático de extractos y aceites esenciales de Lippia origanoides HBK y Thymus vulgaris L. como alternativas de manejo de Botrytis cinerea en fresa. *Acta Agronómica*, *64*(1), 93–99. https://doi.org/10.15446/acag.v64n1.35773

CARACTERÍSTICAS, PROPIEDADES Y MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE CAROTENOIDES: CAROTENOS Y XANTÓFILAS

Aurora Martínez-Romero [1]*, José Luis Ortega-Sanchez[2], Grecia Alicia Domínguez Espinoza[1], 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

Los carotenoides, una clase de lípidos isoprenoides, juegan un papel importante tanto en plantas como en animales (Jin et al., 2020). Familia de pigmentos terpenoides color amarillo a rojo anaranjado sintetizados por organismos fotosintéticos, así como ciertas bacterias y hongos (Dyaa et al., 2022). Consta de unidades de isopreno conjugado (Li et al., 2020). Sistema de enlaces dobles y simples alternos. Los humanos y otros animales los adquieren a través de la alimentación. Las principales fuentes de los carotenoides son frutas y verduras (Rodríguez et al., 2020). Los carotenoides naturales tienen demanda para cosmetología, productos farmacéuticos y nutracéuticos (Leyton et al., 2022).

Los carotenoides son pigmentos excepcionales en análisis de espectrometría Raman de comunidades microbianas, y están presentes en todos los microorganismos fototróficos y en algunos microorganismos heterótrofos (Papageorgiou et al., 2020). También tienen propiedades antioxidantes y ayudan a reducir el daño por estrés oxidativo y la inflamación (Han et al., 2022). Esos se pueden dividir en una clase de hidrocarburos (carotenos) y sus derivados oxigenados (xantofilas). Los siguientes representan casi todos los carotenoides que se encuentran en sangre y cerebro humano: luteína, zeaxantina, licopeno, α-caroteno, β-caroteno y β-criptoxantina (Yuan et al., 2020).

En general, los carotenoides tienen varias funciones, desde apoyar la recolección de luz durante la fotosíntesis, hasta proteger la célula de la alta exposición a la luz y el soporte estructural del aparato fotosintético. Hoy en día, la medición de compuestos fenólicos y carotenoides se lleva a cabo utilizando cromatografía líquida de alto rendimiento, cromatografía de gases o combinaciones de estos métodos con sistemas de detección diferentes como la espectrometría UV-Visormasss.

Recientemente, nuevas técnicas de extracción como la extracción por microondas, extracción de fluido supercrítico y la extracción asistida por ultrasonido. A la fecha, se han identificado más de 1000 carotenoides naturales, de los cuales astaxantina, β-caroteno, luteína y licopeno son los más importantes en el mercado (Liu et al., 2020). Hasta hace pocos años, gran parte de la importancia nutricional de los carotenoides ha radicado en el hecho de que algunos de ellos poseían actividad provitamina A, tienen un papel importante en la prevención de enfermedades degenerativas humanas. Son pigmentos de gran interés por sus múltiples propiedades en la industria química, cosmética, alimentaria, farmacéutica, entre otras. El objetivo de esta investigación fue conocer las características, propiedades y métodos de extracción de carotenoides: carotenos y xantófilas.

Materiales y Métodos

La presente revisión sistemática de literatura se realizó en el periodo de febrero a noviembre del 2023. Se utilizaron las bases de datos del gestor de información EndNote y EBSCO host, empleando los siguientes términos de búsqueda: Carotenoides, xantofilas, carotenos, recuperando artículos solo cuando se tenían acceso gratuito. La búsqueda se complementó mediante búsqueda específica de Journals y revistas científicas como: PLoS One, Antioxidants, Molecules, Plants, Food Chemistry, Applied Biochemistry and Biotechnology, etc.

Resultados y discusión

Concepto de carotenoide. Los carotenoides son isoprenoides lipofílicos naturales que participan en la fotosíntesis, proporcionan pigmentación a una amplia gama de tejidos vegetales y sirven como precursores para la formación de fitohormonas y precursores de señalización esenciales para la homeostasis de las plantas (Jaramillo et al., 2022). Son pigmentos vegetales que aportan propiedades antioxidantes, inmunomoduladoras y neuroprotectoras específicas (Lin & Shen, 2021). Son nutrientes contenidos principalmente en la fruta, que juegan un papel importante en la función celular, crecimiento y desarrollo de los individuos (De Assis et al., 2020). Están en frutos y verduras que tienen un tono amarillo, rojo o naranja, incluidas la zanahoria, melón, camote, tomate y albaricoque, así como las verduras de hojas verdes en las que la clorofila enmascara los pigmentos carotenoides, como, col, brócoli y col rizada (Kleckner et al., 2022).

La estructura del carotenoide es una cadena lineal de dobles enlaces de electrones π conjugados, en los organismos oxigenados, los carotenoides suelen contener estructura cíclica en cada extremo, y la mayoría de los carotenoides contienen átomos de O_2, normalmente como parte de grupos hidroxilo o epóxido (Srivastava, 2021). Esta estructura química particular permite a los carotenoides la capacidad de absorber luz visible en diferente λ (Lana et al., 2020). Su cadena isoprenoide conjugada lineal les proporciona una intensa absorción en la gama azul-verde, y los colores que confieren al fruto y flor están en la base de complejos procesos de señalización (Macernis et al., 2022). Li y colaboradores (2020) señalan que los carotenoides están altamente conjugados a través de dobles enlaces, dando lugar a muchas estructuras de isómeros que son susceptibles a la oxidación y otras modificaciones químicas, lo que plantea un desafío para su estudio. Los carotenoides isoméricos comunes incluyen licopeno, δ-caroteno, γ-caroteno, ε-caroteno, α-caroteno, y β-caroteno. Son similares en polaridad y poseen las mismas propiedades. La oxidación selectiva y las modificaciones químicas de diferentes carotenoides isoméricos tienen una influencia importante en la formación de los productos finales.

Clasificación. Los carotenoides se dividen en carotenoides primarios, que son componentes del aparato fotosintético y son esenciales para la supervivencia y carotenoides secundarios, que se producen a través de la carotenogénesis solo cuando las células están expuestas a condiciones ambientales específicas, como alta radiación de luz, deficiencia de nutrientes, salinidad y otros factores de estrés (Grujic et al., 2022). Los principales carotenoides son: α-caroteno, β-caroteno, β-criptoxantina, licopeno, zeaxantina y luteína (Luiz et al., 2021), estos constituyen el 70% de los carotenoides circulantes en el plasma y acumulados en los tejidos humanos. La luteína es el principal carotenoide en el tejido cerebral a pesar de no ser el principal carotenoide en el suero emparejado, lo que indica la captación preferencial en el tejido cerebral (Polidori et al., 2021).

Hasta la fecha se han informado más de 750 carotenoides (Li et al., 2020). Se pueden dividir en tres categorías: (i) carotenoides libres de oxígeno, (ii) carotenoides oxigenados y (iii) carotenoides esterificados, como el mono o diéster de astaxantina, que son extremadamente hidrofóbicos y pueden obtenerse por esterificación de carotenoides oxigenados libres y ácidos grasos endógenos. Según su estructura, los carotenoides se pueden dividir en dos clases: carotenos (hidrocarburos sin O_2) y xantofilas (hidrocarburos con O_2) (Xiao et al., 2022).

Carotenos. Los α-/β-carotenos, licopeno, luteína y β-criptoxantina son los principales isómeros de carotenos y han sido identificados como los carotenoides más esenciales en el ser humano (Luo et al., 2022). Se demostró que los carotenos controlan significativamente el riesgo de oxidación, ECV, inflamación y síndrome metabólico. Son más fácilmente solubles en disolventes menos polares (lípido, hexano, cloroformo, acetona, etc.), que podrían identificarse como componentes lipofílicos. Los carotenos, que se encuentran en frutas y verduras de color amarillo anaranjado, son precursores de los retinoides (Lin & Shen, 2021).

Xantofilas. Subgrupo de carotenoides que contienen al menos un átomo de O_2 son algo menos lipofílicos y el residuo funcional tiene impacto en la actividad antioxidante, los efectos bioquímicos y la orientación espacial (Polidori et al., 2021). Las xantófilas (luteína, zeaxantina y violaxantina) están presentes en frutas y verduras como formas libres y ésteres por esterificación con ácidos grasos, mientras que los carotenos (α-caroteno y β-caroteno) no tienen grupo hidroxilo y no pueden ser esterificados (Ouyang et al., 2022). La fucoxantina y la diadinoxantina-diatoxantina son reconocidas como algunas de las xantofilas más prometedoras (Guérin et al., 2022).

Biosintesis de carotenoides. Lijima y colaboradores (2020) señalan que se han identificado la mayoría de los genes que codifican enzimas involucradas en la biosíntesis de carotenoides en plantas superiores. Los carotenoides se sintetizan y acumulan a través de múltiples pasos catalíticos en los plástidos. Estos se clasifican por su estructura como proplastidios, etioplastos, cloroplastos, cromoplastos y amiloplastos. Se reporta que su síntesis tiene lugar al mismo tiempo que la diferenciación de los cromoplastos, lo que conduce al desarrollo de diversas estructuras organizadas para almacenar el carotenoide recién producido.

Asimismo, las fibrilinas juegan un papel estructural en las fibrillas, organizando los carotenoides en complejos de lipoproteínas. Un aumento en el número y tamaño de cromoplastos maduros da como resultado la acumulación de grandes cantidades de carotenoides para producir pétalos coloridos que atraen a animales e insectos como polinizadores (Lijima et al., 2020). La vía biosintética endógena se crea mediante la expresión de enzimas codificadas en el núcleo que se dirigen a los plástidos, incluidos los cloroplastos en el tejido fotosintético, los cromoplastos de las frutas y los amiloplastos de las semillas y las raíces.

Propiedades inmunológicas, sistémicas, antioxidantes, antimicrobiana. Según Iijima y colaboradores (2020) en tejidos verdes de plantas superiores, los carotenoides están presentes en cloroplastos y tienen funciones importantes en fotosíntesis y protección contra el daño fotooxidativo. Los carotenoides luteína, β-caroteno, violaxantina y neoxantina están involucrados en la fotosíntesis y se acumulan en tejidos verdes. En tejidos no fotosintéticos, como flores y frutas, contenido y composición de carotenoides difieren mucho de tejidos fotosintéticos incluso dentro de las especies y estos compuestos carotenoides se acumulan en los cromoplastos. En las últimas décadas, la vía biosintética de los carotenoides ha sido bien esclarecida mediante la detección de una serie de pasos enzimáticos relacionados y los mecanismos reguladores fundamentales de la acumulación de carotenoides se han establecido en una variedad de especies frutales (tomate) (Huang et al., 2022).

La mayoría de las xantofilas en los tejidos de flores y frutos son esterificadas por ácidos grasos debido a la actividad de la enzima xantofila esterasa (XES) que usa acil-CoA como donante. En tomate (*Solanum lycopersicum*), la pérdida de la actividad XES da como resultado una reducción drástica de las xantofilas, lo que indica que la esterificación es importante para la acumulación xantofilas. Estas se asocian con lipoproteínas llamadas fibrilinas y son secuestradas en gotitas de lípidos en cromoplastos llamados plastoglóbulos (Lijima et al., 2020). Este mecanismo de secuestro estabiliza los carotenoides esterificados y permite la acumulación de carotenoides en los cromoplastos.

Los carotenoides tienen propiedades inmunológicas y sistémicas, causan reducción significativa en los niveles de proteína C-reactiva, un marcador de inflamación, además tienen efectos antiinflamatorios a través de la supresión de la translocación de balsas lipídicas del receptor tipo Toll 4 (TLR4) (Manabe et al., 2021). Derivados de carotenoides y metabolitos muestran actividades anticancerígenas, y podrían reducir el crecimiento y diferenciación celular, activar una cascada de proteínas quinasas y desencadenar la inhibición del crecimiento (Peng et al., 2022). Asimismo, los carotenoides poseen propiedades antioxidantes y la activación de la apoptosis (Han et al., 2022), actividad antioxidante, antiinflamatoria y antimicrobiana (Barraza et al., 2019), trastornos graves asociados con el estrés oxidativo e inflamatorio, degeneración de piel y envejecimiento, enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2, enfermedades oculares relacionadas con la edad, como la degeneración macular o las cataratas. La biosíntesis de retinol desempeña un papel importante en el sistema inmune, visión y desarrollo embrionario. Reaccionan a través de diferentes mecanismos, por ejemplo, electrones de transferencia, abstracción/reducción de H_2 y formación de aductos de radicales carotenoides, dependiendo del potencial redox de la especie radical y la disposición estructural del carotenoide (Andarwulan et al., 2021).

Extracción de carotenoides. La mejora de la extracción de pigmentos se demostró mediante el uso de tratamiento mecánico o químico, ultrasonidos para la disrupción celular, y mediante el uso de diferentes medios de extracción. El procesamiento, especialmente los tratamientos térmicos, puede mejorar la biodisponibilidad de los carotenoides de frutas y verduras (Rosul et al., 2022).

En la medida en que los carotenoides no son solubles en el agua, la técnica incluye algunos pasos complicados: destrucción de biomasa, extracción de carotenoides con un solvente polar, separación y evaluación espectrofotométrica (Delegan et al., 2021). Ultrasonicacion, se basa en el fenómeno de la cavitación, es decir, producción, crecimiento y colapso de burbujas que provocan la ruptura de la célula, lo que conduce al solvente a través de los microporos de la célula dañada, generando difusión interna y aumentando la transferencia de masa (Lara- Abia et al., 2022).

La extracción asistida por microondas y por alta presión hidrostática minimizan el uso de solventes orgánicos, reduciendo el consumo de energía, generando productos más seguros para su consumo y más ecológico para el medio ambiente. La degradación de los carotenoides es un aspecto importante a tener en cuenta al desarrollar un método de extracción y con el objetivo de maximizar dicha extracción. Dicha degradación se detecta visualmente utilizando un cromómetro o cromatografía líquida (Nkhata, 2020).

Conclusiones

Se conocieron características, propiedades y métodos de extracción de carotenoides. Abarcan una amplia gama de funciones biológicas que contribuyen a la prevención de enfermedades, el óptimo desarrollo de plantas y sobre todo para seres humanos como el β-caroteno precursor de la vitamina A. Se sabe que los carotenoides pueden encontrarse tanto en alimentos o plantas, inclusive ser sintetizados por algunas bacterias. Actualmente, los carotenoides han cobrado importancia por todas las aplicaciones que se pueden observar dentro de diversas áreas, sin embargo, su extracción no es nada sencilla y requiere de soluciones para poder obtenerlos. Gracias al avance de la ciencia y la tecnología hoy conocemos que han surgido novedosas técnicas para su extracción, entre ellas las extracciones verdes que contribuyen al cuidado del medio ambiente utilizando solventes que no son tóxicos y nocivos para los ecosistemas.

Referencias

Andarwulan, N. Cahyarani, N., Saraswati., & Srednicka, D. (2021). Antioxidants Such as Flavonoids and Carotenoids in the Diet of Bogor, Indonesia Residents. *Antioxidants*, 10 (4), 1- 20.

Chen, Z., & Wan, C. (2021). Microbial Conversion of Lignin-Based Compounds into Carotenoids by *Rhodococci. Applied Biochemistry and Biotechnology*, 1- 12.

Delegan, Y., Yachkula, A., Antipova, T., & Vainshtein, M. (2021). Evaluation of red-colored carotenoids in yeasts by the biomass color. *Folia Microbiologica*, 1- 8.

Dyaa, A., Soliman, H., Abdelrazak, A., Samra, B., Khojah, E…& Elsayed, A. (2022). Optimization of Carotenoids Production from *Rhodotorula* sp Strain ATL72 for Enhancing Its Biotechnological Applications. *Journal of Fungi*, 8 (4), 1- 19.

Gacek, D., Betke, A., Nowak, J., Lokstein, H. & Walla, P. (2021). Two-photon absorption and excitation spectroscopy of carotenoids, chlorophylls and pigment–protein complexes. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 23 (14), 8731- 8738.

Grujic, V., Todorovic, B., Kranvogl, R., Ciringer, T. & Ambrožiˇc-Dolinšek, J. (2022). Diversity and Content of Carotenoids and Other Pigments in the Transition from the Green to the Red Stage of *Haematococcus pluvialis* Microalgae Identified by HPLC-DAD and LC-QTOF. *Plants*, 11, 1- 14.

Guérin, S., Raguénès, L., Croteau, D., Babin, M. & Lavaud, J. (2022). Potential for the Production of Carotenoids of Interest in the Polar Diatom *Fragilariopsis cylindrus*. *Marine Drugs*, 20 (8), 1- 27.

Jaramillo, A., Sierra, S., Chavarriaga, P., Castillo, D., Gkanogiannis, A…& Alvarez, D. (2022). Characterization of cassava ORANGE proteins and their capability to increase provitamin A carotenoids accumulation. *PLoS One*, 17 (1), 1- 24.

Jin, Y., Yu, Y., Zhang, C., Li, S., Zhang, X. & Li, F. (2020). Characterization and Function Analysis of the Beta-Carotene Oxygenase-like Genes in Carotenoids Metabolism of the Ridgetail White Prawn *Exopalaemon carinicauda*. *Frontiers in Physiology*, 11, 1- 11.

Kleckner, A., Van Wijngaarden, E., Jusko, T., Kleckner, I., Lin, P…& Peppone, L. (2022). Serum carotenoids and cancer-related fatigue: An analysis of the 2005–2006 National Health and Nutrition Examination Survey. *Cancer Research Communications*, 2 (3), 1- 19.

Kljak, K., Carovic-Stanko, K., Kos, I., Janjecic, Z., Kiš, G…& Bedeković, D. (2021). Plant Carotenoids as Pigment Sources in Laying Hen Diets: Effect on Yolk Color, Carotenoid Content, Oxidative Stability and Sensory Properties of Eggs. *Foods*, 10 (4), 1- 15.

Lara-Abia, S., Welti-Chanes, J. & Cano, M. (2022). Effect of UltrasoundAssisted Extraction of Carotenoids from Papaya (*Carica papaya L*. cv. Sweet Mary) Using Vegetable Oils. *Molecules*, 27 (3), 1- 18.

Li, Ch., Swofford, Ch. & Sinskey, A. (2020). Modular engineering for microbial production of carotenoids. *Metabolic Engineering Communications*, 10, 1- 12.

Lijima, L., Kishimoto, S., Ohmiya, A., Yagi, M., Okamoto, E., & Miyahara, T. (2020). Esterifed carotenoids are synthesized in petals of carnation (*Dianthus caryophyllus*) and accumulate in diferentiated chromoplasts. *Scientific Reports*, 10 (1), 1- 12.

Lin, S. & Shen, Y. (2021). Dietary carotenoids intake and depressive symptoms in US adults, NHANES 2015– 2016. *Journal of Affective Disorders*, 282, 41- 45.

Liu, H., Zhang, C., Zhang, X., Tan, K., Zhang, H…& Zheng, H. (2020). A novel carotenoids- producing marine bacterium from noble scallop *Chlamys nobilis* and antioxidant activities of its carotenoid compositions. *Food Chemistry*, 320, 1- 9.

Luiz, A., Pozuelo, G., González, I., Torales, L., Ponce, H…& Periago, M. (2021). Influencia de los carotenoides sobre los marcadores de riesgo cardiometabólico en mujeres peri y posmenopáusicas. *Nutrición Hospitalaria*, 38 (5), 993- 1001.

Luo, H., He, W., Dai, Z., Zhang, Z., Bao, Y…& Zhu, P. (2022). Concurrent Production of α- and β-carotenes with Different Stoichiometries Displaying Diverse Antioxidative Activities via Lycopene Cyclases-Based Rational System. *Antioxidants*, 11 (11), 1- 14.

Macernis, M., Streckaite, S., Litvin, R., Pascal, A., Llansola-Portoles, M…& Valkunas, L. (2022). Electronic and Vibrational Properties of Allene Carotenoids. *The Journal of Physical Chemistry A*, 126 (6), 813-824.

Manabe, Y., Tomonaga, N., Maoka, T. & Sugawara, T. (2021). Multivariate Analysis Reveals That Unsubstituted β-Ring and C8-Keto Structures Are Important Factors for Anti-Inflammatory Activity of Carotenoids. *Nutrients*, 13 (11), 1- 16.

Ouyang, M., Huang, Y., Wang, Y., Luo, F. & Liao, L. (2022). Stability of carotenoids and carotenoid esters in pumpkin (*Cucurbita maxima*) slices during hot air drying. Food Chemistry, 367, 1- 11.

EVALUACIÓN DE LA CITOTOXICIDAD DE EXTRACTOS ALCOHÓLICOS DE *Larrea tridentata* EN LA LÍNEA CELULAR HeLa

Aurora Martínez-Romero[1]*, José Luis Ortega-Sanchez[2], Edgar Antonio Lagunes-Montalvo[1], 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

En la región de las Américas, el cáncer es la segunda causa más frecuente de morbilidad y mortalidad, después de las enfermedades cardiovasculares, se estima que 4 millones de personas fueron diagnosticadas en el año 2020 y 1,4 millones murieron por cáncer (OPS 2023). En México se diagnostican alrededor de 195,500 casos de cáncer cada año, de estos, el 46% de los pacientes fallece por esta causa, en el año 2021 se registraron 90,123 defunciones por tumores malignos (INEGI 2023). Se documenta que las células inmortales HeLa (ATCC-CCL-2) son una línea celular epitelial que se obtuvieron en 1951 a partir de un adenocarcinoma de cuello uterino de una mujer afroamericana, Henrietta Lacks de 31 años (Portillo-Vásquez 2014).

Larrea tridentata (*L. tridentata*), cuyo nombre común es Gobernadora, Creosote, Chaparral, se distribuye abundantemente en el desierto de Chihuahua, Sonorense y Mojave de Norteamerica, Península de Baja California, Tamaulipas e Hidalgo. *L. tridentata* es un arbusto perenne xerófito siempre verde. Su edad puede exceder los 100 años, aunque algunas plantas pueden sobrevivir cientos o miles de años a través de reproducción vegetativa asexual, ya que las raíces producen brotes o retoños que después se convierten en nuevas plantas (Lira-Saldivar 2003), su tamaño de la planta varía de 0.5 a 4 m en altura dependiendo de la lluvia de invierno o verano, y la altura promedio varía de acuerdo a su raza de ploidía (diploide 86 cm, hexaploide 112 cm y tetraploide 138cm). Las hojas son pequeñas y bifoliadas, de un verde oscuro a verde amarillento con cutículas gruesas y una capa espesa resinosa, tienen pecíolos cortos y crecen opuestas en las ramas.

Las flores son amarillas, usualmente aparecen al final del invierno o a principios de la primavera, pero pueden florecer en cualquier momento después de una lluvia; crecen cerca de las terminaciones de los retoños jóvenes como capullos solitarios con cinco pétalos y su polen y néctar atraen muchas abejas (30 especies diferentes) (Lira-Saldivar 2003), destacando por su contenido de lignanos, fenoles, flavonoides, saponinas, taninos (Ochoa-Meza et al., 2023) aminoácidos y minerales, por cuantificación fitoquimica del extracto etanolico y metanolico de las hojas de *L. tridentata*, además, de su actividad antioxidante por su contenido de ácido nordihidroguaiarético (NDGA), kaempferol y quercetina, hay más de 20 flavonoides metil aglyconas que constituyen gran parte de la resina.

Los posibles efectos de todos los diferentes flavonoides y otros constituyentes son numerosos y variados. Los efectos combinados de estos constituyentes apuntan hacia un sinergismo que amplía el efecto del principio activo, el ácido NDGA, esto sugiere la ventaja de usar un extracto de la estructura entera hoja/ramas en comparación con usar una preparación de NDGA purificado o sintetizado (Lira-Saldivar 2003). El NDGA es responsable de la prevención de la colelitiasis pigmentada (Granados y Cárdenas 1994). Tiene actividad fungicida *in vitro* e *in vivo*.

Se ha encontrado sensibilidad a más de 45 bacterias, 10 levaduras, nueve hongos y tres parásitos intestinales. Se ha estudiado que los flavonoides presentes en la composición de la gobernadora son activos contra el RNA de los virus. A pesar del desarrollo tecnológico y científico el tratamiento del cáncer requiere de la medicina complementaria por pacientes con tratamiento promisorio. En este contexto, México es un país atractivo por su gran variedad de plantas endémicas, por lo que, se evalúo la citotoxicidad de extractos alcohólicos de *L. tridentata* en la línea celular HeLa.

Materiales y Métodos

La parte experimental se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Químicas de la UJED y en el Instituto de Investigación de Biología Experimental en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Guanajuato. La colecta de las hojas de *L. tridentata* se realizó en las zonas áridas de Comarca Lagunera de Durango. Las hojas secas a temperatura ambiente de *L. tridentata* se trituraron hasta obtener un polvo fino y se almacenaron en botellas oscuras a temperatura ambiente para su uso posterior.

Las extracciones se realizaron mezclando 1 g de material vegetal con 20 ml de disolvente orgánico (metanol, etanol, en una concentración de 90%, 70%, 50% o 30% v/v) o agua destilada (Aguilar et al., 2013). Los extractos producidos se filtraron a través de papel de filtro cualitativo y se almacenaron a 20°C hasta un análisis posterior (Aguilar et al., 2013). Se realizó una electroforesis de células tratadas con dimetil sulfóxido (DMSO). El extracto de *L. tridentata* se disolvió en DMSO a una concentración final de 0,001 µg/mL. Posteriormente, se prepararon diluciones del extracto en DMSO 25, 50 Y 100 µg/mL. El DMSO se utilizó como control negativo y se evaluó individualmente para citotoxicidad de forma similar a los extractos, las placas se incubaron durante 72 h en atmósfera de 5% de CO_2 a 37°C. Se realizó la tinción con faloidina-FITC es una técnica que utiliza un péptido bicíclico altamente selectivo para teñir los filamentos de actina en células fijadas y permeabilizadas.

La faloidina se une a todas las variantes de filamentos de actina en muchas especies diferentes de animales y plantas. La fluoresceína-5-isotiocianato (FITC) es un tinte fluorescente y pertenece a los tintes de xanteno. La FITC se utiliza para marcar diferentes biomoléculas, por ejemplo, inmunoglobulinas, lectinas y otras proteínas, péptidos, ácidos nucleicos y nucleótidos; oligo y polisacáridos, permitiendo así evaluar la adhesión y viabilidad celular. Luego de 72 h se adicionaron 20 µL faloidina al cabo de 4 h en atmósfera de 5% de CO_2 a 37°C se decantó el medio, se adicionaron 200 µL/pozo de DMSO y se leyó la densidad óptica (DO) en lector de microplacas de ELISA (Dynatech®MR5000) a 560 nm y 630 nm como referencia.

Resultados y discusión

El extracto de *L. tridentata* afecta solo cuantitativamente en la síntesis de proteínas de las células epiteliales HeLa (Figura 1)

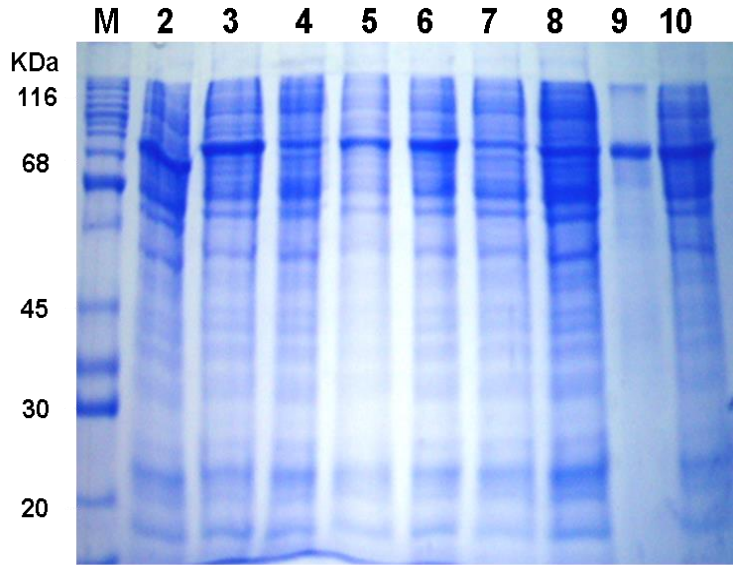


Figura 1. Citotoxicidad de extracto alcohólico de *L. tridentata* en la línea celular HeLa. Carril 1 β-Galactosa (116KDa), Seroalbúmina Bovina (68KDa), Ovoalbúmina (45KDa), Anhidrasa carbónica (30KDa), β-Lactoglobulina (20KDa). Carril 2, 6 y 10 controles. Carril 3, 4 y 5 Tx con 25, 50 y 100 µg de extracto en DMSO. Carril 7 y 8 Tx con 25 y 50 µg/ml de extracto diluido en Agua Bidestilada. Carril 9 Albúmina Bovina

Con la tinción con faloidina-FITC se observaron los microfilamentos de actina de células HeLa tratadas con *L. tridentata* en DMSO (Figura 2).

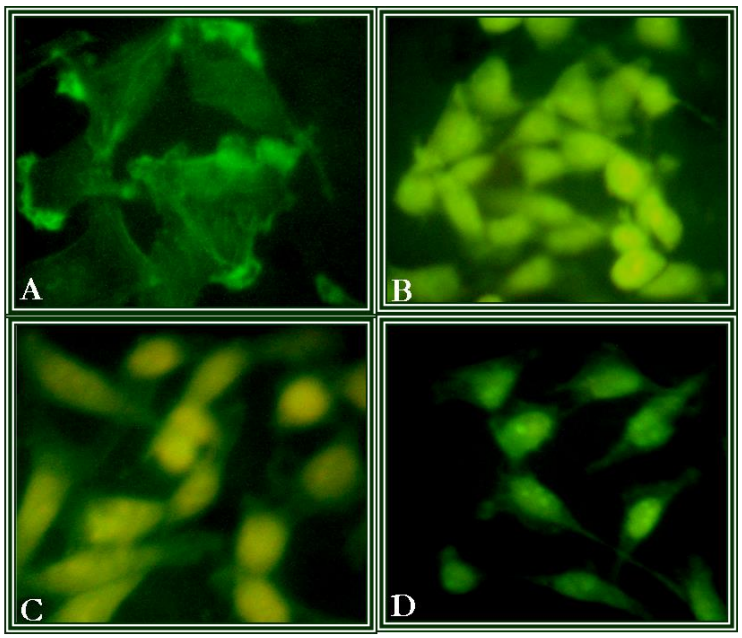


Figura 2. Microfilamentos de actina de células HeLa tratadas con *L. tridentata* en DMSO. (A) Control, (B) 25µg/ml, (C) 50 µg/ml y (D) 100 µg/ml.

Se observó la adhesión del extracto de *L. tridentata* con DMSO y metanol, así como también la adhesión del extracto de *L. tridentata* con DMSO en agua y etanol. Y la viabilidad de células HeLa después de haber estado en contacto con el extracto de *L. tridentata* en DMSO (Figura 3).

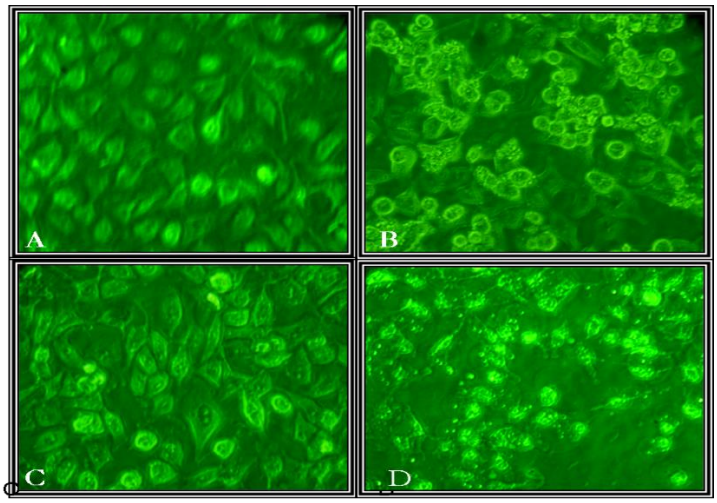


Figura 3. Viabilidad de células HeLa después de haber estado en contacto con *L. tridentata* en DMSO. (A) y (C) 5 y 25 µg/ml después de 2 h de recuperación. (B) y (D) con 5 y 25 µg/ml del extracto.

Dichas líneas células cancerígenas HeLa se han utilizado para evaluar la actividad citotóxica de extractos de *L. tridentata*, obteniendo significativo porcentaje de inhibición (76.9%) en los extractos de metanol y hexano (Galván-Rodrigo et al., 2020). Lambert y colaboradores (2005) reportaron el aislamiento y caracterización de seis lignanos de las flores de *L. tridentata*, incluyendo el ciclolignano 3,4´-dihidroxi-3´4´-dimetoxi-6,7´-ciclolignano, adicionalmente también fueron aislados flavonona, (S)-4´5-dihidroxi-7-metoxiflavonona, y se evaluaron contra líneas celulares cancerígenas de cáncer de mama, colon y melanoma, obteniendo valores significativos de IC50 entre 5.3 y 60 µM. Se encontró que el extracto alcohólico de *L. tridentata* redujo la viabilidad de las células HeLa, lo que significa que produjeron citotoxicidad. La viabilidad celular dependió tanto de la concentración del extracto como del tiempo de exposición. Éste es el primer reporte acerca del efecto citotóxico del extracto de *L. tridentata* frente a la línea celular HeLa. Con el efecto citotóxico mostrado en células HeLa, *por el extracto alcohólico de L. tridentata* se acrecienta la relación de plantas con potencial para casos de neoplasia de cuello uterino publicada por Dantas de Moura y colaboradores (2002). Los resultados obtenidos en el estudio contribuyen a corroborar las propiedades que tradicionalmente se atribuyen a esta planta destacando de la flora medicinal mexicana como fuente de sustancias para el tratamiento del cáncer.

Conclusión

Se determinó el efecto citotóxico en células HeLa con el extracto alcohólico de *L. tridentata.* Los resultados obtenidos en el presente estudio conllevan al conocimiento de que la fitomedicina es una alternativa terapéutica para la búsqueda de nuevos farmacos para el tratamiento células malignas.

Referencias

Aguilar, C.N., Amorim, E.L.C., Martins, S., Mussatto, S.I., Peixoto S., T.J.S., Pisciottano, M.N.C., & Teixeira, J.A. (2013). Antibacterial activity of crude methanolic extract and fractions obtained from *Larrea tridentata* leaves. Industrial Crops and Products, 41, 306-311.

Dantas de Moura, M., Sousa de Silva, J., Guerra de Oliveira, R. A., Formiga Melo Diniz, M. F., & Barbosa Filho, J. M. (2002). Productos naturales que son potenciales inhibidores de neoplasias de cuello uterino. *Acta Farmacéutica Bonaerense*, 21(1).

Galván-Rodrigo, A. A., Reyes-Melo, K. Y., & Camacho-Corona, M.R. (2020). Lignanos con actividad anticancerigena de *Larrea tridentata*. RCFB, Ed. Esp.1, 90.

Granados, H., & Cardenas, R. (1994). Biliary calculi in the golden hamster. XXXVII. The prophylactic action of the creosote bush (*Larrea tridentata*) in pigmented cholelithiasis produced by vitamin A. *Rev Gastroenterol Mex*, 59:31-5.

INEGI (2023). Estadisticas a proposito del dia mundial contra el cancer (4 de febrero). https://www.inegi.org.mx/contenidos/salade prensa/aproposito/2023/EAP_Cancer.pdf

Lambert, J.D., Sang, S., Dougherty, A., Caldwell, C.G, Meyers, R.O, Dorr, R.T, & Timmerman, B.N. (2005). Phytochemistry, 66(7), 811-815.

Lira-Saldivar, R.H. (2003). Estado Actual del Conocimiento Sobre las Propiedades Biocidas de la Gobernadora [*Larrea tridentata* (D.C.) Coville]. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(2), 213-222.

Ochoa-Meza , A. R., Arias-Moscoso, J. L., Reynaga-Franco, F. de J., Mendivil-Mendoza, J. E., Galindo-Félix, J. I., Uribe-Ochoa, N. E., Higuera-Barraza, O. A., & Francisco Cadena-Cadena. (2023). Efecto Inhibitorio de Extractos Hidroalcoholicos de *Larrea Tridentata* Sobre Saprolegnia Sp. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7(5), 2968-2990.

OPS (2023). Dia Mundial contra el Cancer 2023: Por unos cuidados mas justos. Organización Panamericana de la Salud. https://www.paho.org/es/campanas/dia-mundial-contra-cancer-2023-por-unos-cuidados-mas-justos

Portillo-Vasquez, S.M. (2014). Las eternas celulas HeLa, el dilema etico de hoy. RED MED HONDUR, 82(4), 164-167.

DESCRIPCIÓN DE SEMILLA DE *Yucca thompsoniana* Trel. COLECTADAS EN SALTILLO, COAHUILA

David Castillo-Quiroz[1], William Zárate-Martinez[2], Francisco Castillo-Reyes[2], Diana Yemilet Ávila-Flores[2], Dora Alicia García-García[2], Adriana Antonio-Bautista[3*]

[1]Posdoctorante CONAHCYT-UAAAN-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuarias. Campo Experimental Saltillo. Carretera Saltillo-Zacatecas km 342+119 núm. 9515, Col. Hacienda de Buenavista. C. P. 25315. Saltillo, Coahuila, México. [2]Campo Experimental Saltillo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuarias (INIFAP). Carretera Saltillo-Zacatecas km 342+119 No. 9515, Hacienda de Buenavista. C. P. 25315. Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. [3]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas. Calzada Antonio Narro No. 1923, Colonia Buenavista Saltillo, C.P. 25315 Coahuila de Zaragoza, México. *Autor de correspondencia: adisanbas@gmail.com

Introducción

Las plantas del género *Yucca* son originarias del norte de México y sur de los Estados Unidos de América (Granados-Sánchez y López-Ríos, 1998); sin embargo, se distribuyen desde los límites entre Canadá y Estados Unidos hasta Centroamérica (Rocha et al., 2006). A este género lo conforman cerca de 50 especies (Patel, 2012). Para México, están reportadas 29 especies distribuidas principalmente en las zonas áridas y semiáridas (Barriada-Bernal et al., 2018). Del gran total, 11 especies se encuentran reportadas para el estado de Coahuila, las cuales son: *Yucca carnerosana* (Trel.) McKelvey; *Yucca filifera* Chabaud; *Yucca coahuilensis* Matuda & Piña; *Yucca elata* Engelm; *Yucca endlichiana* Trel.; *Yucca linearifolia* Clary; *Yucca rígida* (Engelm.) Trel.; *Yucca rostrata* Engelm; *Yucca thompsoniana* Trel.; *Yucca torreyi* Shafer var. torreyi; *Yucca treculeana* Carrière), todas distribuidas en el matorral xerófilo (Villaseñor, 2016; Villarreal, 2021).

Dentro de los taxones reportados para Coahuila, se encuentra *Yucca thompsoniana* Trel. descrita por Trelease (Trelease, 1911). Su distribución se restringe a ecosistemas áridos y semiáridos del norte de México, principalmente en los estados de Chihuahua y Coahuila (Johnson, 2000). Así como en los límites del estado de Texas en los Estados Unidos de América (FNA, 2003). Crece en forma aislada en laderas rocosas y en suelos pedregosos en el matorral xerófilo y el matorral espinoso tamaulipeco en una altitud entre 215 y 1,500 msnm, con precipitaciones anuales entre 250 a 450 mm (Johnson, 2000). En México las mayores densidades de *Y. thompsoniana* se localizan en el municipio de Múzquiz, Coahuila, con una densidad de hasta con 50 plantas ha^{-1}.

Actualmente se carece de estudios básicos referentes a la descripción morfológica de las semillas de esta especie, información importante que puede contribuir a su conservación *ex situ*. El objetivo de esta investigación fue caracterizar las semillas de *Yucca thompsoniana* Trel., mediante la descripción morfológica de las variables largo, ancho, espesor y peso de semillas, así como el porcentaje de semillas llenas o vanas por fruto.

Materiales y métodos

Colecta del material biológico. En septiembre de 2023 se colectaron 26 frutos (cápsulas) maduros a través de un muestreo dirigido sobre las inflorescencias de *Y. thompsoniana*, ubicadas en el Jardín Botánico “Gustavo Aguirre Benavides” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Saltillo (25° 21´ 21” LN y 101° 01´59” LO) y con una altitud de 1776 m s. n. m. Las cápsulas recolectadas presentaban características físicas y visuales que manifestaban su madurez fisiológica, como frutos dehiscentes, de textura seca áspera, de forma ovoide y de tonalidad pardo amarillento (BGC, 2021; FNA, 2003).

Las cápsulas colectadas se colocaron en bolsas de papel estraza y después se dejaron secar en laboratorio a temperatura ambiente por un periodo de cinco meses previo a la caracterización morfológica de las semillas.

Variables morfológicas de las semillas. Para determinar las características morfológicas se usaron las semillas llenas, para ello se tomó al azar una muestra de 100 semillas libres de daños mecánicos o insectos, las cuales se mezclaron y de forma individual se determinó el largo de la semilla (LS), ancho de la semilla (AS), espesor de la semilla (ES) con apoyo de un vernier digital Fisher® y se expresó en mm, para el peso de la semilla (PS) se utilizó una balanza analítica digital Ohaus Adventurer™ Pro y se reportó en gramos.

Número de semillas por kilogramo. Se estimó el número de semillas por kilogramo (NS kg^{-1}) con la siguiente ecuación según ISTA (2010). NS kg^{-1} = (Número de semillas de la muestra/Peso de la muestra) *1000.

Medidas de tendencia central. Se calculó 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.

Medidas de dispersión. Se determinó el rango, el cual, es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo en un conjunto de datos. 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.

Análisis de datos. Se generó una base de datos en el software Excel de la paquetería Microsoft Office. Para analizar y describir las variables morfométricas 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) y b) Medidas de dispersión (rango, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación). La información se presentó en tablas.

Resultados y discusión

De los 26 frutos caracterizados se obtuvo un total de 1,456 semillas, de las cuales, 874 (60.03 %) corresponden a semillas llenas y 582 (39.97 %) a semillas vanas. Las semillas llenas son aquellas que tienen sus estructuras internas completas, lo que les permite germinar en condiciones apropiadas de humedad y temperatura (Bustamante-García et al., 2012). Las semillas vanas pueden ser originadas por escasez de polen (Mosseler et al., 2000). Una deficiente polinización (Bustamante-García et al., 2012). Incluso por autofecundación o elevada consanguinidad por un bajo número de árboles en estado reproductivo (Velasco-García et al., 2007).

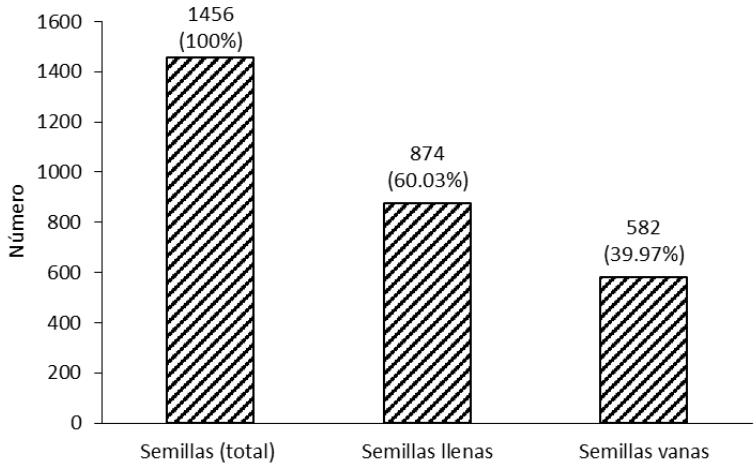


Figura 1. Porcentaje de semillas llenas y vanas de *Yucca thompsoniana* Trel.

Medidas de tendencia central. La mediana y moda de las variables LS, AS, ES y PS fue de 8.20, 7.30, 2.30 mm y 0.04 g respectivamente. La medía de AS fue 0.05 mm superior a la medina y moda (Cuadro 1).

Cuadro 1. Medidas de tendencia central de características morfológicas de semillas de *Yucca thompsoniana* Trel.

Variable	Media	Mediana	Moda
LS (mm)	8.24	8.20	8.20
AS (mm)	7.35	7.30	7.30
ES (mm)	2.28	2.30	2.30
PS (g)	0.045	0.040	0.040
NS kg^{-1}	22222	25000	25000

LS: largo de semilla, AS: ancho de semilla, ES: espesor de semilla, PS: peso de semilla, NS: número de semillas.

BGC (2021) reporta tamaños de las semillas para *Y. thompsoniana* que oscilan entre 4.8 mm x 4.1 mm hasta 8.5 mm x 5.3 mm, en cambio FNA (2023), reporta diámetros de 6 a 8 mm, estos valores están dentro de los valores obtenidos en este estudio, el LS registró valores entre 4.9 a 9.5 mm y el AS de 4.9 a 9.5 mm.

Medidas de dispersión. Con respecto a las medidas de dispersión, la variable LS presentó un rango de 2.90 mm y una desviación estándar de 0.58 mm. La variable AS registró un rango de 4.60 mm con una desviación estándar de 1.06 mm. El rango de la variable ES fue de 3.10 mm y su desviación estándar fue de 0.56 mm, por último, la variable PS registró un rango de 0.09 g, desviación estándar de 0.024 g y un coeficiente de variación de 52.6 % (Cuadro 2).

Cuadro 2. Medidas de dispersión de características morfológicas de semillas de *Yucca thompsoniana* Trel.

Variable	Rango	Varianza	Desviación estándar	Coeficiente de variación
LS (mm)	2.90	0.34	0.58	7.1%
AS (mm)	4.60	1.12	1.06	14.4%
ES (mm)	3.10	0.31	0.56	24.6%
PS (g)	0.09	0.0006	0.024	52.6%

LS: largo de semilla, AS: ancho de semilla, ES: espesor de semilla, PS: peso de semilla.

En relación con estudios sobre la morfología de otras especies del género *Yucca* están los reportados por Meza-Cota et al. (2022), donde colectaron semillas de *Y. endlichiana* en tres localidades del estado de Coahuila y reportaron valores medios de 6.04, 6.11 y 6.19 mm, respectivamente para LS, los cuales, son inferiores al LS de *Y. thompsoniana* reportado en este estudio, ya que la media de LS fue de 8.24 mm. Con respecto al AS los valores medios que reportaron Meza-Cota et al. (2022) fueron de 5.36, 5.37 y 5.53 mm, valores inferiores a lo encontrado en este estudio, ya que el AS promedio fue de 7.35 mm. Al encontrar diferencias en los valores, estos son útiles como características distintivas de las diferentes especies, en la planeación de la colecta de semillas, el control y el manejo del almacenamiento de semillas (Rao et al., 2007).

El tamaño de las semillas tiene un impacto en el tiempo de germinación (Norden et al., 2009). En condiciones de sequía, las especies con semillas de mayor dimensión tienen una mayor germinación (Gelviz-Gelvez et al., 2020).

Conclusiones

Se caracterizó las dimensiones de la semilla de la especie *Yucca thompsoniana*, donde los valores promedios observados fueron: LS de 8.24 mm, AS de 7.35 mm, ES de 2.28 mm, PS de 0.045 g y 22,222 semillas Kg^{-1}. Las semillas de *Y. thompsoniana* presentan mayores dimensiones que semillas de otras especies del mismo género, lo que le puede dar una mayor ventaja al momento de la germinación.

Referencias

Banco de Germoplasma Vegetal Coahuila (BGC). (2021). Catálogo de Semillas Forestales del Banco de Germoplasma Vegetal de Coahuila. Secretaria de Medio Ambiente del estado de Coahuila. 73. https://sma.gob.mx/wp-content/uploads/2021/06/CATALOGO_SEMILLASSb.pdf

Barriada-Bernal, L. Gerardo, Aquino-González, L. Victoria, Méndez-Lagunas, L. Leticia, Rodríguez-Ramírez, Juan, & Sandoval-Torres, Sadoth. (2018). Caracterización física y nutricional de frutos de yuca (*Yucca mixtecana*). Agrociencia, 52 (3), 347-359. https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n3/2521-9766-agro-52-03-347.pdf

Bustamante-García, V., Prieto-Ruíz, J.A., Merlín-Bermudes, E., Álvarez-Zagoya, R., Carrillo-Parra, A. y Hernández-Díaz, J. C. (2012). Potencial y eficiencia de producción de semilla de Pinus engelmannii Carr., en tres rodales semilleros del estado de Durango, México. Madera y Bosques. 18 (3): 7-21. https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v18n3/v18n3a2.pdf

Flora of North America (FNA). (2023). *Yucca thompsoniana* Trelease FNA Vol. 26 Pag. 425, 430, 431, 432 http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=242102077

Gelviz-Gelvez S.M., Pavón N.P., Flores J., Barragán F., Paz H. (2020). Germination of seven species of shrubs in semiarid central Mexico: effect of drought and seed size. Botanical Sciences 98: 464-472. https://doi.org/10.17129/botsci.2537 https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i1.1800

Granados-Sánchez D., López-Ríos, G. F. (1998). *Yucca* "izote" del desierto. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 4(1):179-192. https://docplayer.es/32928861-Yucca-izote-del-desierto.html

International Seed Testing Association (ISTA). (2010). Reglas del ISTA. Septiembre de 2010. http://www.analisisdesemillas.com.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=15&Itemid=31

Johnson, M. B. (2000). Observations on some Chihuahuan Desert Yuccas. Desert Plants. 16(1): 14-19. https://repository.arizona.edu/handle/10150/554328

Meza-Cota, A. B., Vargas-Hernández, J. J., Vázquez-Badillo, M. E., Villarreal-Quintanilla, J. Á., López-Aguillón, R., y Flores-López, C. (2022). Morfología, calidad de semillas y plántulas de *Yucca endlichiana* e implicaciones en su conservación. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(1): e2834. https://doi.org/10.19136/era.a9n1.2834

Mosseler, A., Major, J. E., Simpson, J. D., Daigle, B., Lange, K., Park, Y.S., Johnsen, K. H. y Rajora, O. P. (2000). Indicatorsof populations viability in red spruce, Picea rubens. I. Reproductive traits and fecundity. Canadian Journal Botany. 78:928–940. https://doi.org/10.1139/b00-065

Norden N., Daws, M.I., Antoine, C., Gonzalez, M.A., Garwood, N.C., Chave, J. (2009). The relationship between seed mass and mean time to germination for 1037 tree species across five tropical forests. Functional Ecology. 23: 203-210. https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01477.x

Patel, S. (2012). *Yucca*: A medicinally significant genus with manifold therapeutic attributes. Natural Products and Bioprospecting 2(6): 231-234. DOI 10.1007/s13659-012-0090-4

Rao, N.K., Hanson, J., Dulloo, M.E., Ghosh, K., Novell, D., Larinde, M. (2007). Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8. Bioversity International. Roma, Italia. 165 p.

Rocha, M., Good-Ávila, S.V. Molina-Freaner, F., Arita, H.T., Castillo A., García-Mendoza, A.J., Silva-Montellano, A., Gaut, B.S., Souza, V., and Eguiarte, L.E. (2006). "Pollination Biology and Adaptive Radiation of Agavaceae, with Special Emphasis on the Genus *Agave*, Aliso Vol. 22: Iss. 1, Article 27. https://scholarship.claremont.edu/aliso/vol22/iss1/27

Trelease, W. (1911). An additional tree-yucca and one other species new to the United States. Missouri Botanical Garden Annual Report. 22: 101-102.

Velasco-García, M. V., López-Upton, J., Ángeles-Pérez, G., Vargas-Hernández, J., Guerra-de la Cruz, V. (2007). Dispersión de semillas de Pseudotsuga menziesii en poblaciones del centro de México. Agrociencia. 41:121-131. https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v41n1/1405-3195-agro-41-01-121.pdf

Villarreal, Q. J.A. (2021). XXIII. Flora de Coahuila. *En*: Listados Florísticos de México. 138 p. http://www.ibiologia.unam.mx/BIBLIO68/fulltext/lf23.p

Villaseñor, J. L. (2016). Catálogo de las plantas vasculares nativas de México. Revista Mexicana de Biodiversidad. 87: 559-902. https://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v87n3/1870-3453-rmbiodiv-87-03-00559.pdf

CLASIFICACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE *Pinus greggii* Engelm var. *Greggii* PROVENIENTE DE DOS PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES DE DURANGO.

Wendy Lizeth Mendoza-Salas[1], Genaro Esteban García-Mosqueda[2*], Eladio Heriberto Cornejo-Oviedo[2], Salvador Valencia Manzo[2]

[1]Maestría en Ciencia y Tecnología de la Madera-Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. [2]Departamento Forestal- Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. *Autor de correspondencia: gegrmo2003@gmail.com

Introducción

Tradicionalmente, los productos de la industria forestal provienen de bosques naturales; sin embargo, también pueden obtenerse de plantaciones forestales (Pandey y Brown, 2002). La especie *Pinus greggii* Engelm. se ha utilizado por su rápido crecimiento y su buena adaptación a suelos pobres; siendo una especie maderable de importancia económica (Martínez, 1992). Las plantaciones forestales juegan un papel crucial en la preservación del medio ambiente, la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible.

Los estudios técnicos proporcionan una comprensión de las características de las especies vegetales estudiadas y ayuda a determinar cuál especie es más adecuada para cada región (FAO, 2024); McDonald et al. (2014) destaca que este tipo de acciones nos permite la implementación de prácticas de manejo más eficientes para las condiciones locales para optimizar el uso de los recursos, así minimizando los impactos negativos y promover la biodiversidad. De acuerdo con sus características, la madera puede ser empleada en la industria para la fabricación y/o producción de: escuadría, celulosa, triplay, postes, pilotes, leña, carbón y durmientes (Semarnat, 2011). Sotomayor y Ramírez (2014) indican que no existen criterios que guíen una correcta selección de la madera por lo que se propone un enfoque de la apreciación de la madera basada en el estudio de sus características físicas para determinar si dicha madera podía ser empleada en un producto.

Materiales y métodos

El experimento se estableció para determinar las propiedades físicas del Pino prieto (*Pinus greggii* Engelm var. *greggii*) de 7 y 11 años al momento de su corta en el estado de Durango en el municipio de Santiago Papasquiaro y Nuevo ideal respectivamente.

Se tomaron las muestras a una altura de 1.30 m, para posteriormente cortar la sección central de la rodaja en piezas de 8mm por 10 mm de espesor de la zona norte de la rodaja, una vez dimensionado se separó por anillos a partir de su medula de acuerdo a la metodología de Goche et al. (2019), a los anillos separados se les denomino probeta definitiva, Las muestras fueron procesadas en los laboratorios del departamento forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Para el procedimiento de determinación de las propiedades físicas se utilizó la metodología propuesta por Sotomayor y Ramirez (2014). Una vez separados se obtuvieron los datos de las 12 propiedades físicas para cada plantación.

Resultados y discusión

Para la determinación de los valores de las propiedades físicas estudiadas se realizó un análisis de comparación de dos medias mediante el PROCTTEST de SAS de cada una de las propiedades discriminando el primer anillo adyacente a la medula. Todas las pruebas de comparación de medias se hicieron con α = 0.05. De acuerdo a los valores obtenidos la densidad básica de *Pinus greggii* var. *greggii* de dos plantaciones tienen un valor de 0.5059 gcm^{-3} para la plantación de 7 años y 0.3997 gcm^{-3} para la plantación de 11 años. Conforme a la metodología propuesta por Sotomayor la clasificación de las propiedades en base a su media resulta de la siguiente manera:

Cuadro1. Clasificación de las propiedades físicas de la madera

	7 años		11 años	
Propiedades físicas	Media	Criterio	Media	Criterio
Db (g cm^{-3})	0.5059	Bajo	0.3997	Muy Bajo
βT (%)	5.1043	Muy Bajo	5.4745	Muy Bajo
βR (%)	5.4094	Muy Bajo	5.7307	Bajo
βV (%)	10.5128	Muy Alto	11.1624	Muy Alto
PSF (%)	24.1884	Muy Alto	31.3285	Muy Alto
λT	0.2339	Medio	0.1864	Medio
λR	0.221	Muy Bajo	0.1737	Muy Bajo
βT/βR	1.4314	Muy Bajo	1.4029	Muy Bajo
λV	0.4549	Bajo	0.3595	Muy Bajo
MCH (%)	142.1033	Alto	188.5825	Muy Alto
PC	33.0384	Bajo	26.1031	Muy Bajo
EV	66.9616	Alto	73.8969	Muy Alto

Datos estadísticos para las propiedades físicas de la madera Db= Densidad básica, βT=higrocontracción tangencial, βR= Higrocontracción radial, βV= Higrocontracción volumétrica, PSF= Punto de saturación de la fibra, λT= Coeficiente de higrocontracción tangencial, λR= Coeficiente de higrocontracción radial, βT/βR= Relación anisotrópica, λV= Coeficiente de higrocontracción volumétrica, MCH= Máximo contenido de humedad, PC= Pared celular, EV= Espacios vacíos

En un estudio realizado por Gómez (2021), con madera proveniente de una plantación de Pinus greggii var greggii en Arteaga, Coahuila, se obtuvo una densidad básica promedio de 0.42 gcm-3 la cual de acuerdo a la metodología de clasificación de Sotomayor y Ramírez (2013), la ubica en densidad básica “muy baja”. Con respecto del presente estudio esta tiene una diferencia de alrededor del 5% con la obtenida en la plantación de 11 años de edad (0.3997 gcm-3), la cual se clasifica de igual manera como “muy baja”. Sin embargo, para el caso de la plantación de 7 años de edad tiene una diferencia de alrededor del 20% (0.5059 gcm-3), la cual se clasificó como una densidad de la madera “baja”. De igual forma López y Valencia (2001), reportan un valor promedio de 0.47 gcm-3, para poblaciones naturales de Pinus greggii Engelm en el norte de México.

Respecto a la contracción volumétrica (βV) también se presentan diferencias entre las plantaciones estudiadas de Durango, teniendo un valor de 10.5128% y 11.1624%. A diferencia de lo reportado por Gómez (2021), quien indica un valor de 12.26%.

Por otra parte, el Punto de Saturación de la Fibra (PSF) Gómez (2021), reporta 32.38%, siendo para el presente estudio, ligeramente mayor con respecto a lo obtenido para la plantación de 11 años de edad (31.3285%). Mientras que dicho valor es mayor con respecto de la plantación de siete años de edad la que presentó 24.1884% de PSF. Sin embargo, de acuerdo a la metodología para la clasificación de Sotomayor y Ramírez (2013) los tres valores se clasifican como PSF “Muy alto”.

Conclusiones

De acuerdo a lo estudiado, podemos apreciar que las características de la plantación muestran que el crecimiento de los árboles en durango es muy similar a el crecimiento de los árboles en Arteaga que es parte de su zona de distribución natural lo que nos muestra una buena adaptación a la zona, aunado a eso se contribuyó a la recuperación de la degradación del terreno por cambio de uso de suelo.

Los valores obtenidos de Db, βV y PSF, en el presente estudio, son comparables con los obtenidos en localidades dentro del área de distribución de la especie, lo cual muestra potencial de *Pinus greggii* Engelm var. *greggii,* para producir madera de calidad bajo el esquema de plantaciones forestales comerciales en zonas semiáridas.

Agradecimientos

Se otorga agradecimiento a la Sociedad de Plantadores Forestales Comerciales del Estado de Durango S.P.R. de R.L, tanto al C. José Oscar Rivera Jiménez y al Ing. Jesús José Salas Quiñones, por las facilidades otorgadas para el presente estudio. Así mismo se agradece la colaboración del Ing. José Jil Cabrera Hernández, por su participación en la colecta y procesamiento de las muestras utilizadas en el presente estudio.

Referencias

Álvarez, E., Lerda, F. E., (2011). Determinación experimental de la anisotropía, punto de saturación de fibras y peso específicos aparentes de la madera de hibrido *Pinus elliottii* var. *elliottii x Pinus caribea* var. *hondurensis* cultivada en Misiones. XXV Jornadas Forestales entre Rios. Concordia, Argentina.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2024. Silvicultura en regiones áridas y semiáridas. Obtenido de: http://www.fao.org/forestry/arid/en/

Goche Télles J. R., Velázquez Martínez A., Borja de la Rosa, A., Capulín Grande J., y Palacios Mendoza, C. (2019). Variación radial de la densidad básica en Pinus patula Schltdl. Et Cham. de tres localidades en hidalgo. Revista Mexicana De Ciencias Forestales,2(7), 71–78.

Gomez M., L. (2022). Propiedades físicas de la madera de Pinus greggii Engelm. var greggii de una plantación del CAESA, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Sotomayor C. J. R., y M. Ramírez P., (2014). Características físicas de 12 maderas mexicanas. Investigación e ingeniería de la madera. Revista del laboratorio de Mecánica de la madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán. 10(1)

Pandey D., Brown C., (2002). Una visión general de los recursos mundiales de teca y de los elementos que influyen en sus perspectivas de futuro, Unasylva No. 201, Vol 51: 3-13.

Martínez, M. (1992). Los Pinos Mexicanos. Ediciones Botas. México D.F. (3rd ed.)

McDonald, RS, Aronson, J. Durigan y otros (Eds) .2014. Restauración forestal en paisajes: más allá de plantar árboles.

Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), (2011). Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2011. Semarnat. México. 224 p

METODOLOGÍA PARA ESTIMAR BIOMASA Y CARBONO AÉREO EN *Juniperus deppeanna* Steud, A TRAVÉS DE DATOS LIDAR

Tomás Pineda Ojeda[1*], Enrique Buendía-Rodríguez[1], Eulogio Flores Ayala[1], Fabián Islas-Gutiérrez[1], Andrés Flores-García[2], Vidal Guerra de la Cruz[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México. Carretera Los Reyes-Texcoco, Km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Manejo de Ecosistemas Forestales. Av. Progreso N° 5, Barrio Santa Catarina, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Sitio Experimental Tlaxcala.
*Autor de correspondencia: pineda.tomas@inifap.gob.mx

Introducción

El sabino o tascate (*Juniperus deppeana* Steud*)* es una especie de suma importancia debido a su capacidad de tolerar la sequía causada por la escases de precipitaciones y a los daños ocasionados por el fuego de los incendios forestales, teniendo la capacidad de desarrollarse en sitios con condiciones adversas, por lo que es una especie con un alto potencial para la conservación de suelos (Herrerías y Nieto, 2020) o para reforestaciones en sitios con condiciones de baja precipitación como son las zonas áridas de nuestro país. Desde el punto de vista ecologico y de servicios ambientales, se requiere conocer las existencias volumetricas de las áreas donde se distribuye esta especie, siendo de gran utilidad para que los dueños o poseedores de estos predios puedan acceder a los programas de apoyo de pago por servicios ambientales, con lo cual al ser beneficiarios se vean incentivados a cuidar y conservas los bosques de esta especie. Para acceder a estos apoyos, se requiere estimar con presicion la biomasa y carbono contenido en estos bosques. Generalmente la estimación de estos parámetros forestales se realizan a través del análisis de datos de campo tomados en sitios de muestreo (inventarios forestales) (Cruz-Leyva et al., 2010). La desventaja de los inventarios fotestales es el alto costo que implican y el tiempo que se requiere para realizarlos.

En la actualidad, la teledetección ofrece nuevas alternativas para la estimación de biomasa y carbono, tal es el caso de la información LiDAR, que permite caracterizar de forma tridimensional el bosque. La tecnología LiDAR (*Light Detection and Ranging*, por sus siglas en inglés), consiste en un sistema láser que permite medir la distancia entre el punto de medición hasta el objeto de interés. Los sensores LiDAR emiten pulsos de láser cuyos retornos, permiten deducir la información tridimensional de la vegetación y predecir los atributos de la estructura forestal que están relacionados con la biomasa existente sobre el suelo (GFOI, 2013). Una ventaja de esta tecnología en aplicaciones forestales, es que las mediciones quedan automáticamente georreferenciadas en las bases de datos. A pesar de que las variables dasométricas son relativamente simples de obtener en campo, los conocimientos y técnicas para el procesamiento de datos LiDAR en estudios del sector forestal de México, aún no están lo suficientemente adecuadas para su aplicación directa (Ortiz-Reyes et al., 2015). Pineda et al. 2021, desarrollaron una metodología en la cual midieron los parametros forestales a partir de información LiDAR, con los cuales generaron modelos de regresión para estimar biomasa y carbono contenida en arboles de *Pinus hartweggii* Lind., obteniendo una confiabilidad de 80.2 %.

El objetivo del presente trabajo fue validar la metodología propuesta por Pineda y colaboradores para estimar biomasa y carbono aereo usando información LiDAR, en árboles de *Juniperus depeanna* Steud.

Materiales y metodos

El área de estudio fue un bosque de sabino (*Juniperus deppeana* Steud.) en el Ejido de Santa María Españita, Tlaxcala (19°28´ 9” LN, 98°25´37” LO), donde se seleccionaron 29 árboles de la especie en estudio, en cuatro sitios de muestreo seleccionados al azar, abarcando un amplio rango de dimensiones en diámetro y altura (Figuras 1a y 1b).

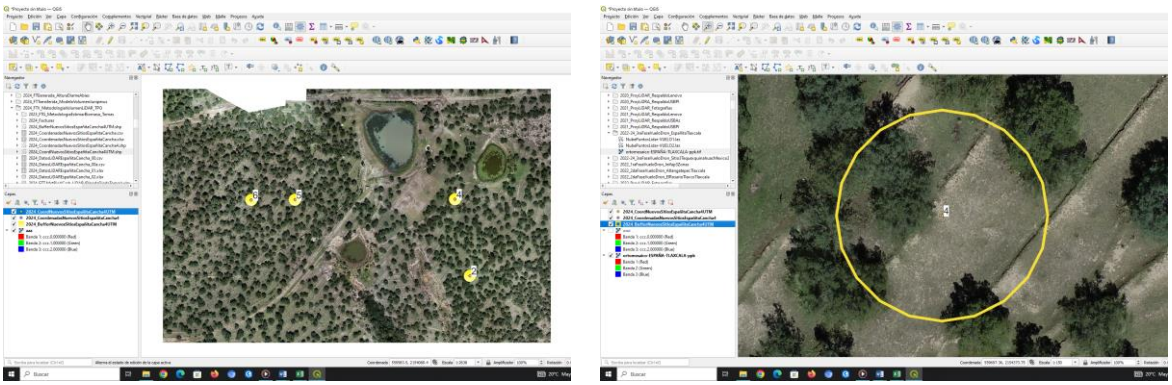


Figura 1. a) Localización del area de estudio y b) ubicación de árboles en los sitios de muestreo.

A cada árbol se le midió en campo el diámetro normal con cinta diamétrica (DN, cm), diámetro de copa (DC, m) con una cinta Trupper® de 50 m y la altura total del árbol (AT, m) con un Hipsómetro Digital Vertex III Haglof® con un transmisor ultrasónico T3 (Figuras 2a, 2b y 2c), además de ubicar cada arbol geograficamente con un GPS Garmin Etrex.



Figura 2. Toma de datos de campo en árboles de *Juniperus depeanna*. a) medición del diamétro normal, b) medición de altura y c) meciión del dimetro de copa.

Se ubicaron los sitios de muestreo en QGIS (Figura 3a) y el árbolado con Fusion LVD (Figura 3b). Con la información LiDAR, previamente adquirida, se realizó una estandarización y limpieza de los datos. Despues, utilizando la metodología generada por Pineda et al. (2021), se midió con los datos LiDAR la altura total y diámetro de copa de cada uno de los árboles seleccionados en campo, utilizando el software FUSION/LDV® versión 3.8 (Figuras 4ª y 4b).

Con los datos de las mediciones del diámetro normal, diámetro de copa y altura de campo y las mediciones de los mismos arboles con los datos LiDAR, se incorporaron en una base de datos en MS Excel (Figura 5a). Posteriormente se calculó la biomasa y carbono con los datos de campo (Figura 5b). Y, por último, se revisaron las relaciones entre información de campo y datos LiDAR de las variables altura y diámetro de copa.

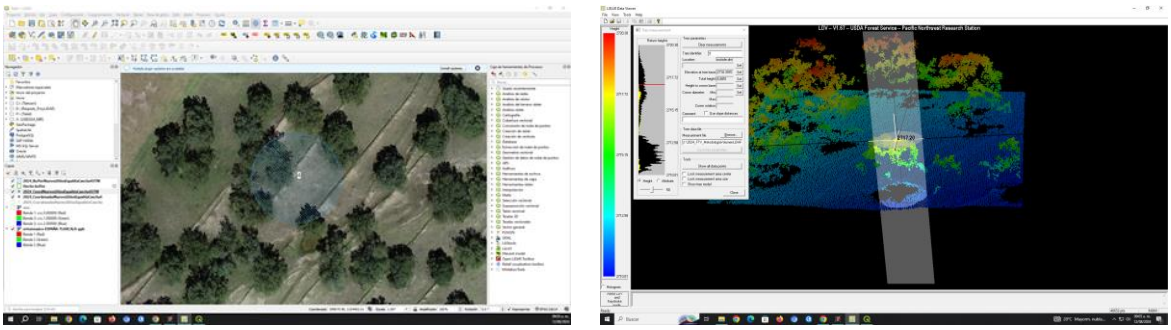


Figura 3. a) Localizacion de los sitios de muestreo y b) del arbolado con Fusion/LDS.

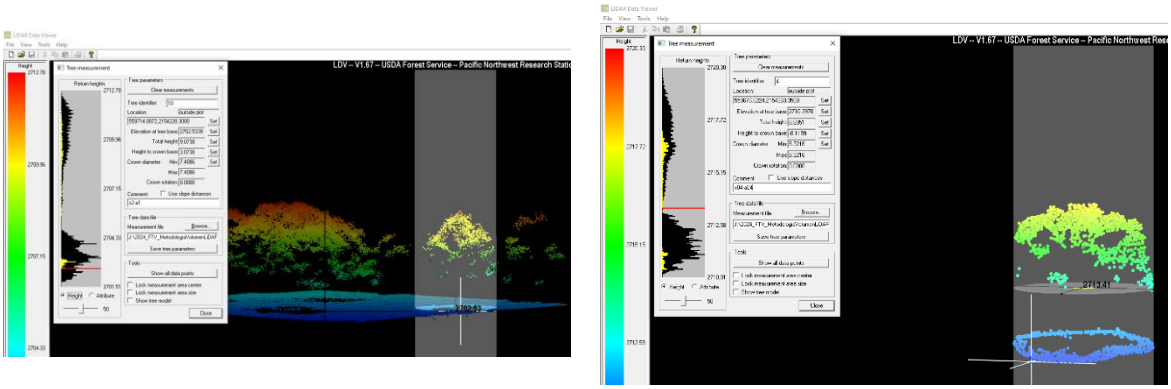
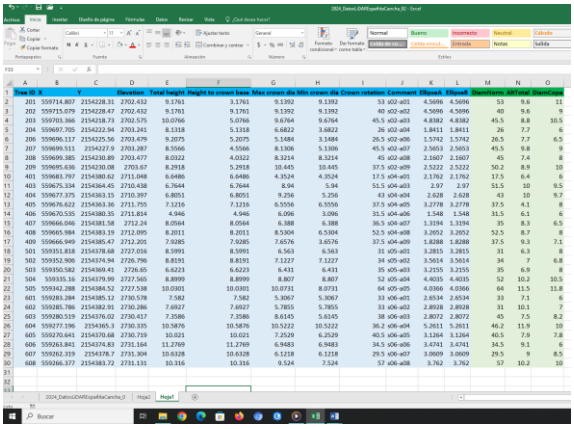


Figura 4. a) Medición de altura y b) diámetro de copa de árboles de *Juniperus* con en el Sofware Fusion LVD.



Árbol	Volumen (m3)/árbol	Biomasa campo (kg/árbol)	Carbono campo (kg/árbol)
1	1.08428	0.54214	0.27747
2	0.68626	0.34313	0.17561
3	0.78546	0.39273	0.20100
4	0.28216	0.14108	0.07220
5	0.29104	0.14552	0.07447
6	0.86117	0.43058	0.22037
7	0.66525	0.33262	0.17023
8	0.93049	0.46524	0.23811
9	0.12658	0.06329	0.03239
10	1.07160	0.53580	0.27422
11	0.79928	0.39964	0.20453
12	0.29855	0.14927	0.07639
13	0.31584	0.15792	0.08082
14	0.48775	0.24387	0.12481
15	0.98151	0.49075	0.25117
16	0.60137	0.30068	0.15389
17	0.31634	0.15817	0.08095
18	0.40224	0.20112	0.10293
19	0.41649	0.20824	0.10658
20	1.10715	0.55357	0.28332
21	1.71918	0.85959	0.43994
22	0.38786	0.19393	0.09925
23	0.47360	0.23680	0.12119
24	0.67293	0.33646	0.17220
25	1.04222	0.52111	0.26670
26	0.59277	0.29638	0.15169
27	0.51548	0.25774	0.13191
28	0.39590	0.19795	0.10131
29	1.28532	0.64266	0.32891

Figura 5. a) Base de datos en M. S. Excel y b) Biomasa y carbono con datos de campo.

Resultados y discusión

La relación obtenida entre información de campo y la información LiDAR de las variables altura (y diámetro de copa presentó un bajo coeficiente de determinación (R^2=0.2551) (Figura 6a). Lo cual puede deberse a: 1) las alturas máximas medidas con LiDAR suelen ser inferiores a las reales, debido a la baja probabilidad de que un punto LiDAR coincida con el punto más de la copa del árbol, 2) errores en la medición en campo en campo por la falta de pericia en la utilización del hipsómetro digital o no haber definido exactamente cual era el punto más alto de los árboles, o 3) señala que en la mayoría de los trabajos de medición de altura de árboles con datos Lidar, se ha manifestado una clara tendencia a infraestimar la altura de la vegetación, especialmente en el caso de las coníferas, debido a la baja probabilidad de que el pulso emitido por el láser incida sobre la copa del árbol, especialmente cuando la densidad de puntos de los datos es baja (García s/f).

En el caso del diámetro de copa, el coeficiente de determinación obtenido fue de: R^2= 0.7171 (Figura 6b), el cual puede considerarse como aceptable para utilizarse en la estimación de biomasa y carbono en la especie estudiada.

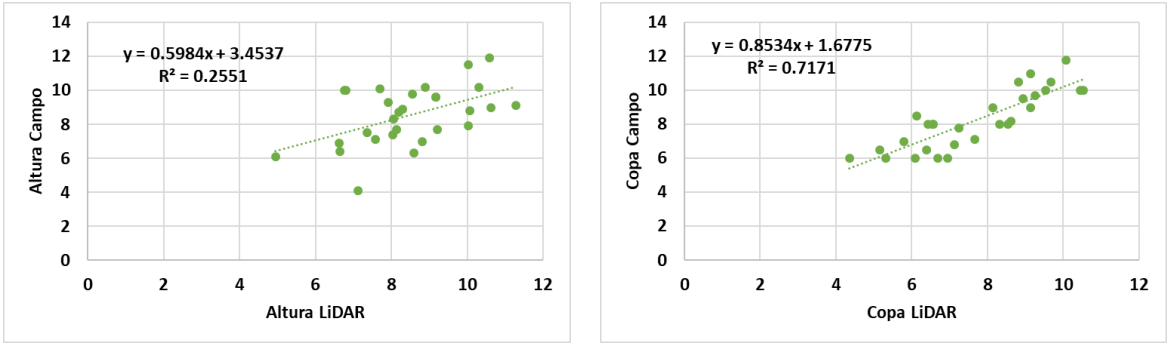
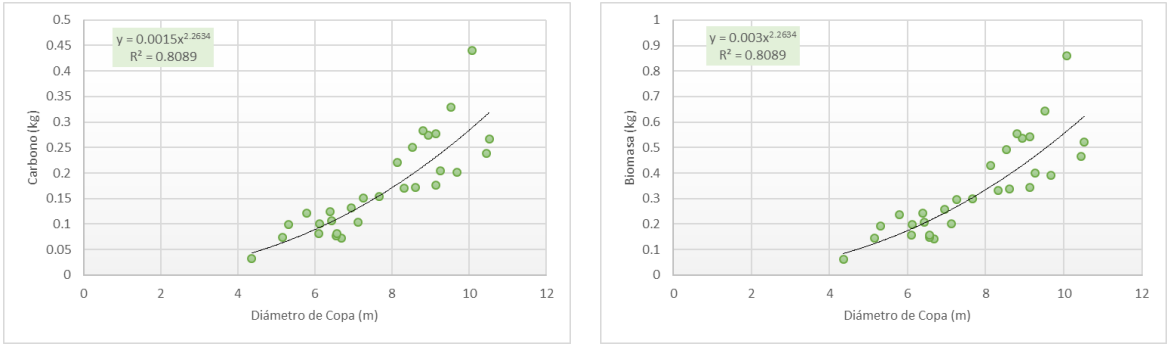


Figura 6. Relación entre variables estudiadas en campo y con LiDAR. a) altura del árbol y b) diámetro de copa.

Al aplicar la metodología de Pineda et al. 2021, a los valores de diámetro de copa medida con la información LiDAR para obtener Biomasa y Carbono, se obtuvo un coeficiente de determinación de R=0.8089, lo que indica que la metodología utilizada es adecuada para estimar biomasa y carbono en árboles individuales *J. deppeana* (Figuras 7a y 7b).



a) Dispersión de biomasa aérea a través de información LiDAR

b) Dispersión de carbono a través de información LiDAR

Figura 7. Relaciones entre las variables diámetro de copa con LiDAR y biomasa y carbono calculados.

Martín (2024), señala que los datos LiDAR ofrecen buenos resultados para realizar estimaciones de la biomasa del arbolado con precisión, aunque se deben considerar diferentes limitaciones, entre las que cabría destacar:

La densidad de puntos de los datos LiDAR conlleva ciertas limitaciones a la hora de estimar la biomasa.

El ruido de los datos, producido en parte por la clasificación errónea de ciertos puntos LiDAR, genera desviaciones en la estimación de biomasa.
Aplicar ecuaciones de alométricas que no son específicas para las especies arbóreas conlleva limitaciones a la hora de estimar la biomasa.

Conclusiones

La metodología es factible para estimar biomasa y carbono en árboles de sabino (*Juniperus deppeana* Steud) con información LiDAR, siempre y cuando se cuente con las ecuaciones para determinar carbono y biomasa de las especies de interés. La metodología servirá de apoyo para el personal técnico de las Instituciones y Prestadores de Servicios Técnicos Forestales relacionadas con los programas de pago de servicios ambientales.

Referencias

Coromines, M. M., E. Blanco C. & A. Ruíz G. (2005). Aplicación de la tecnología Lidar al estudio de la cubierta vegetal. Actas de la 1 Reunión de Inventario y Teledetección Forestal. *Cuader. Soc. Esp. Cienc. For, 19,* 71-77.

Cruz-Leyva, I. A., J. R. Valdez-Lazalde; G. Ángeles-Pérez & H. M. de los Santos-Posadas. (2010). Modelación espacial de área basal y volumen de madera en bosques manejados de *Pinus patula* y *P. teocote* en el ejido Atopixco, Hidalgo. *Madera y Bosques, 16,* 75-97. https://doi.org/10.21829/myb.2010.1631168

García, M. (s/f). Documento técnico: Obtención de variables forestales a partir de datos LiDAR. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid, España. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/parques-nacionales-oapn/red-parques-nacionales/seguimiento/documento-tecnico-obtencion-variables-lidar_tcm30-68999.pdf

GFOI (Global Forest Observations Initiative). (2013). Integración de las observaciones por teledetección y terrestres para estimar las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero de los bosques: Métodos y Orientación de la Iniciativa Mundial de Observación de los Bosques. 3ª edición. Global Forest Observations Initiative Programme Office. Food and Agriculture Organization of the United Nations Headquartres. 295p. https://www.reddcompass.org/mgd/resources/GFOI-MGD-3.1-es.pdf

Herrerías, M. L. G. & M. C. Nieto P. de P. (2020). Características estructurales y demográficas de *Juniperus deppeana* Steud., en dos localidades del estado de Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 11*: (61) 124-151. https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/618/2102

Ortiz-Reyes, A. D.; J. R. Valdez-Lazalde; H M. De los Santos-Posadas, G. Ángeles-Pérez, F. Paz-Pellat & T. Martínez-Trinidad. (2015). Inventario y cartografía de variables del bosque con datos derivados de LiDAR: comparación de métodos. *Madera y Bosques, 21*(3),111-128. https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/461

Pineda O., T., E. Buendía R., E. Flores A., V. Guerra de la C., F. Islas G., M. Acosta M. & F. Carrillo A. 2021. Estimación de biomasa y carbono aéreo a través de información LiDAR. INIFAP. Campo Experimental Valle de México. Folleto Técnico N°. 01. México. 33 p.

MODELO DE NICHO ECOLÓGICO DE *Argemone mexicana* L. Papaveraceae DE LAS REGIONES NORTE Y CENTRO NORTE DE MÉXICO

Margarita Jurado-Pérez[1] Arturo Salcido-Adame[2] Rubén Palacio-Rodríguez[2], Ricardo Trejo-Calzada[1] Perla Patricia Ochoa-García[3]*

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Dgo., Méx. [2]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas, Campus Gómez Palacio. Av. Universidad s/n. Col. Filadelfia, C.P.35010. Gómez Palacio, Durango.[3] Mujeres en la Ciencia de la Laguna A.C., Cd. Lerdo, Dgo. Méx.
*Autor de correspondencia: ochoagarciap@gmail.com

Introducción

Los modelos de nicho ecológico son herramientas que permiten hacer inferencias sobre la distribución de especies y comunidades, lo cual es especialmente útil cuando se empieza a definir la ecología de especies poco descritas (Flores-Tolentino et al., 2019). Las plantas consideradas malezas forman parte importante de la biodiversidad, dado a que conforman el 12.3% de la flora mexicana (Martínez-De La Cruz et al., 2015). La ecología de plantas pertenecientes al género *Argemone* no ha sido estudiada ampliamente debido a que se les consideran malezas. Sin embargo, en la actualidad las malezas son de interés en el ámbito científico, debido a que representan un aumento en la diversidad genética y tienen uso potencial en trabajos de entomología y fitopatología como fuente de sustancias repelentes o biocidas (Granados-Echegoyen et al., 2018).

Las plantas ruderales como *Argemone mexicana* L pueden desempeñar un rol importante en los campos de cultivo de la gran mayoría de agricultores tradicionales, empleándolas como bioplaguicidas, cultivos trampa, o con fines medicinales. El enfoque anteriormente abordado sobre las plantas sinantrópicas específicamente las de *A. mexicana*, nos permite entender el potencial que pueden tener dichas plantas desde un punto de vista biológico y su utilidad para agricultores. El principal objetivo de este trabajo fue establecer el modelo de nicho ecológico para los estados de Durango, Chihuahua, Coahuila y Zacatecas y así conocer la distribución potencial de *Argemone mexicana.*

Materiales y métodos

El área de estudio delimitada para el modelaje de nicho ecológico para la especie *A. mexicana* incluyó las regiones norte y centro norte de México. El modelaje consideró los estados de Sonora, Chihuahua, Durango, Zacatecas, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí y Sinaloa, además se incluyeron los estados de Aguascalientes, Nayarit y Jalisco.

Los datos de presencia de la especie fueron obtenidos a parir de dos fuentes; la base de datos en línea de la plataforma Global Biodiversity Information Facility (Gbif) (https://www.gbif.org/es), a la cual, se le realizó un proceso de depuración, eliminando datos duplicados, erróneos y registros que estuvieran a menos de 5 km de distancia (GBIF.org, 2024). La segunda fuente de información fue un estudio previo que reportó la presencia de *A. mexicana* en el Desierto Chihuahuense, llevado a cabo durante el mes de abril 2021 y abril 2022 (Ochoa-García et al., 2024). Obteniendo una base de datos final de 41 registros, en donde se consideraron únicamente los registros de Chihuahua, Durango, Coahuila y Zacatecas.

Los datos bioclimáticos fueron descargados de Wolrd Clim a través de la aplicación de Wallace EcoMood 2, y se empleó a una resolución de 30 seg. Un análisis de correlación de Pearson fue empleado para determinar cuáles eran las variables con mayor influencia en la presencia de *Argemone mexicana*. Las variables resultantes se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Variables bioclimáticas empleadas para la modelación del nicho ecológico de *Argemone mexicana.*

Variable	Nombre
Bio 1	Temperatura anual media
Bio 9	Temperatura media del trimestre más seco
Bio 10	Temperatura media del trimestre más cálido
Bio 11	Temperatura media del trimestre más frio
Bio 12	Precipitación anual
Bio 17	Precipitación del cuarto más seco
Bio 19	Precipitación del cuarto más cálido

Fuente: elaboración propia con datos de WoldClim 2024.

El modelo fue corrido con el algoritmo MaxEnt, en la aplicación de Wallace, en donde el polígono mínimo convexo se definió con una capa Shape previamente trabajada con el programa Qgis 3.22, esta capa incluyó todos los puntos de registros obtenidos a partir de GBIF. Las capas bioclimáticas se cortaron con base a este polígono. Se generaron un total de 1000 puntos de fondo para el modelo y se usaron los siguientes parámetros de calibración: Lineal, cuartico y un factor de regularización = 1. El archivo Tiff obtenido del proceso de modelado, fue trabajado posteriormente en el software Qgis 3.22. Una vez realizado el modelo, se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson empleando Minitab Statistical Software entre las variables edafoclimáticas de altura, temperatura y precipitación y los datos de registro que se obtuvieron a partir del trabajo de Ochoa-García (2024) en los estados de Chihuahua, Coahuila, Zacatecas y Durango (Ochoa-García et al., 2024).

Resultados y discusión

El modelo del nicho ecológico de *A. mexicana* para los estados del norte y centro-norte de México (Figura 1) determinó el área con mayor potencial de distribución. El modelo muestra la escala de idoneidad que va de 0 a 100, en donde los colores azules y verdes, representan menor probabilidad de presencia, los colores rojos y naranja representan una mayor idoneidad de condiciones climático ambientales que favorecen la presencia de *A. mexicana*. Los resultados de la modelación destacan la presencia de *A. mexicana* en los estados de Chihuahua y Zacatecas. Lo anterior es coincidente con lo reportado por Villaseñor (2016) en donde señala que las plantas del género *Argemone* se encuentran principalmente distribuidas en estados del norte de México (Villaseñor, 2016). A su vez, los datos de registro realizados por Ochoa-García (2024) señalan mayor cantidad de especímenes de *A. mexicana* en los municipios de José Mariano Jiménez, Chih. y Miguel Auza, Zac (Ochoa-García et al., 2024).

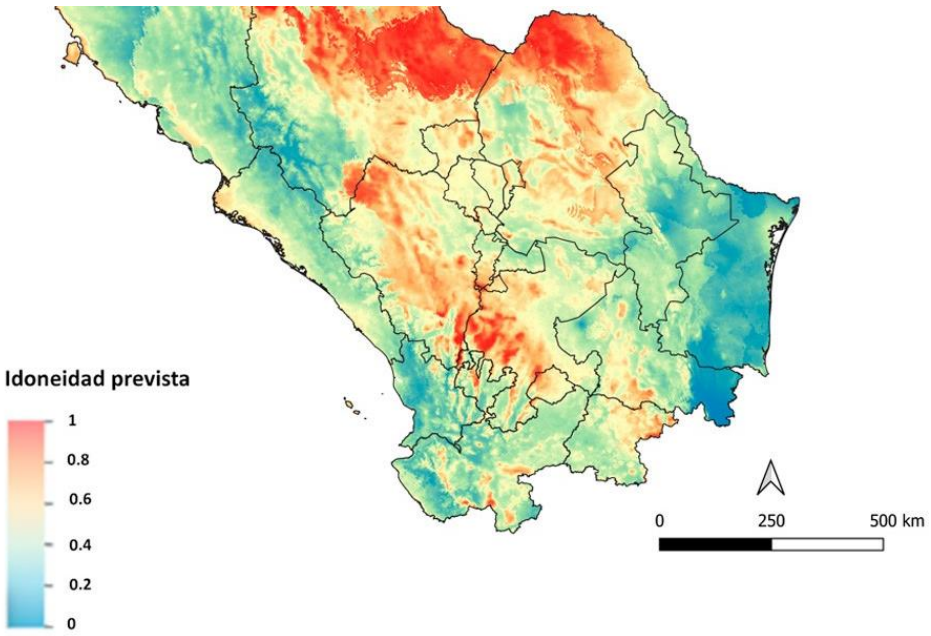


Figura 1. Modelo de nicho ecológico para la especie *Argemone mexicana* L, en los estados del norte y centro norte de la república mexicana. Las zonas con mayor idoneidad son representadas con colores cálidos y zonas con menor probabilidad son representadas colores fríos. Fuente: Elaboración propia generado con MaxEnt a través de la aplicación Wallace EcoMood 2.

Las pruebas de correlación de Pearson entre los datos de presencia de los sitios de muestreo y los datos de variables climáticas y de altura se muestran en el Cuadro 2. Los resultados señalan que existe una relación positiva entre las variables de altura y precipitación con respecto a la presencia de la especie. Por el contrario, existe una correlación inversa con las variables relacionadas a la temperatura.

Cuadro 2. Valores anuales promedio de las variables climáticas en los sitios de muestreo y valores de correlación de Pearson con respecto a la presencia y la variable.

Municipio	Temperatura max°C	Temperatura min°C	Temperatura media °C	Precipitación mm	Altura m
Cuencamé, Dgo.	23.4	7.6	15.5	452.6	1580
Mapimí, Dgo.	29	11.8	20.4	319.7	1302
Lerdo, Dgo.	29.85	12	20.9	295.3	1130
Miguel Auza, Zac.	24.7	9.3	17	479.2	1960
Fco. I. Madero, Coah.	30.1	13.6	21.9	180.5	1110
José Mariano Jiménez, Chih.	27.1	11.8	19.5	379.1	1380
Correlación de Pearson	-0.744	-0.531	-0.655	0.751	0.865

Lo anterior indica que a mayor temperatura menor probabilidad de que *A. mexicana* prospere, siendo la variable de temperatura máxima la que tiene mayor influencia negativa en la presencia de dicha especie. Lo cual puede deberse que las semillas de *Argemone* requieren de temperaturas específicas para poder germinar (25/5°C)(Villarreal-Ornelas, 2017), por lo tanto, en sitios donde no se presentan dichas condiciones en la temporada invernal no permiten el adecuado desarrollo de *A. mexicana*. Por el contrario, en el caso de la precipitación, en cuanto mayor es la precipitación más favorables son las condiciones ambientales para la especie.

Las temporadas húmedas en el norte de México suelen concentrarse en las estaciones de verano-otoño y periodos cortos de lluvias invernales asociados con frentes fríos que se forman en esa época del año (Íñiguez-Covarrubias et al., 2014) dichas condiciones de lluvia se presentan en sitios del norte de México (Villaseñor, 2016). La humedad proporcionada por las lluvias invernales podrían activar el aparato metabólico relacionado con el proceso pre-germinativo (Burgas & Powell, 1984) de las semillas de *Argemone* influenciando en la presencia de la especie.

La humedad y temperatura son los factores abióticos más determinantes en el proceso de germinación, y cuando la humedad no es limitante, la tasa y el porcentaje de germinación dependen de la temperatura (Hadas, 2004). La variable que presentó una mayor correlación fue la de altura, señalando que a mayor altura existe una mayor presencia de *A. mexicana*, lo anterior coincide con lo reportado en las primeras descripciones para otras especies del género, en las cuales se indica la presencia de *Argemone* en diferentes elevaciones que van desde las cercanas al nivel del mar o hasta 2400 msnm (Ownbey, 1958).

Conclusiones

La modelación de nicho ecológico para la especie *Argemone mexicana* sugiere que las variables que condicionan la presencia de la especie en la parte norte de México son la precipitacion y altura. Los estados con las condiciones climáticas más adecuadas para la presencia de *A. mexicana* fueron Chihuahua y Zacatecas.

Referencias

Burgas, R., & Powell, A. (1984). Evidence for repair processes in the invigoration of seeds by hydration. *Ann. Bot.*, *53*(753-757).

Flores-Tolentino, M., Ortiz, E., & Villaseñor, J. L. (2019). Modelos de nicho ecológico como herramienta para estimar la distribución de comunidades vegetales. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *90*(e902829).

GBIF.org. (2024). *GBIF Occurrence Download*

Hadas, A. (2004). *Seedbed preparation: The soil physical environment of germinating seeds*. Food Product Press.

Íñiguez-Covarrubias, M., Ojeda-Bustamante, W., Díaz-Delgado, C., & Sifuentes-Ibarra, E. (2014). Análisis de cuatro variables del período de lluvias asociadas al cultivo maíz de temporal. *REMEXCA*,*5*(1),101-114.

Martínez-De La Cruz, I., Vibrans, H., Lozada-Pérez, L., Romero-Manzanares, A., Aguilera-Gómez, L. I., & Rivas-Manzano, I. V. (2015). Plantas ruderales del área urbana de Malinalco, Estado de México, México. *Botanical Sciences*, *93*(4), 907-919.

Ochoa-García, P., Jaime, S.-S., Trejo-Calzada, R., Quezada-Rivera, J., & García-González, F. (2024). Morphometry and mineral content in the seeds and soil of two species of *Argemone* L. (Papaveraceae) in the central part of the Chihuahuan Desert. *Phyton*, *93*, 371-386. https://doi.org/10.32604/phyton.2024.048338

Ownbey, G. B. (1958). Monograph of the genus *Argemone* for North America and the West Indies. *Bull. Torrey Bot. Club*, *21*(1), 1-159.

Villarreal-Ornelas, E. C. (2017). *Rendimiento y calidad de aceite de semilla de Argemone pleiacantha Greene para la producción de biodiesel* Universidd Autónoma Chapingo]. Repositorio Chapingo. http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/handle/20.500.12098/811

Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico Catálogo. *Rev. Mex. Biodivers*, *87*, 559-902.

SELECCIONES DE DURAZNERO DE MADURACION TEMPRANA PARA ZACATECAS

Valentín Melero Meraz*[1], Manuel Antonio Galindo-Reyes[2], Mayra Denise Herrera[1], Jorge A. Zegbe Domínguez[2].

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias: [1]Campo Experimental Zacatecas, Km 24.5 Carr. Zac-Fllo, Calera de V.R., Zacatecas, México. Campo Experimental Pabellón, Km 32.5 Carr. Ags. Zac., Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México., [3]Campo Experimental Bajío, Km. 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende, Celaya, México. * Autor de correspondencia: melero.valentin@inifap.gob.mx

Introducción

El durazno [*Prunus persica* (L.) Bastch] es la tercera especie frutal de clima templado más cultivada en el mundo. Esta fruta tiene un alto valor económico y nutricional. En México, este frutal se explota en 26 estados, y prácticamente se produce en las cuatro estaciones del año. En 2022 se cosecharon cerca de 240,000 t con un valor de $ 2,674 millones (SIAP, 2024). El durazno a nivel nacional es una fruta apreciada por los atributos que le confieren su relativa calidad (piel y pulpa de color amarillo, hueso pegado, agradable sabor, dulzor y aroma) se produce con fines para consumo en fresco o para proceso.

La concentración de la cosecha de durazno en la tercera decena de septiembre en Zacatecas ha representado una problemática significativa para los fruticultores. Esta situación genera una serie de desafíos que afectan a toda la cadena de valor del durazno. La gran cantidad de duraznos que llegan al mercado en un periodo corto de tiempo satura la demanda, lo que provoca una caída de hasta un 40% en los precios y reduce los ingresos de los productores (Zegbe et al., 1999).

Además, la concentración de la cosecha se debe en gran parte a las condiciones de cultivo; más del 80% de esta fruta se produce en condiciones de temporal. La tercera fase del desarrollo del fruto coincide con el período de mayor precipitación, lo que favorece la maduración simultánea de los genotipos, generalmente criollos locales, dificultando su escalonamiento. Esto se debe también a la predominancia de ciertas variedades de durazno que maduran en un período corto, a la falta de diversificación de cultivos y a la utilización de sistemas de producción tradicionales que limitan las opciones para extender el periodo de cosecha. Además, la concentración de la cosecha exige una mayor capacidad de almacenamiento, transporte y comercialización en un tiempo limitado, lo que genera cuellos de botella y pérdidas de producto., reduciendo las oportunidades de obtener mejores precios y ampliar los mercados (Rumayor et al., 2009; Sanchezet al., 2012).

Tanto en México como en otras zonas productoras del mundo han tenido una alta dependencia por variedades provenientes de los programas de mejoramiento de USA, Italia, Francia, entre otros. (Pérez et al., 1993). Desde la revolución verde, las variedades vegetales que se generan se caracterizan principalmente por sus componentes de adaptación, productividad y tamaño del fruto (Zegbe et al., 1999; Okie, 1998; Badenes y Byrne, 2012; Brown et al., 2014).

Desde 1983, el INIFAP ha hecho el esfuerzo de mantener un programa de mejoramiento genético en el que se ha generado una amplia diversidad genética de duraznero para distintas condiciones agro-ecológicas en casi todo el país. Los objetivos son: desarrollar variedades con, 1) floración tardía (mayor al 15 de marzo), 2) ampliación de la época de cosecha y periodos cortos de desarrollo de fruto, 3) alta calidad de fruta (tamaño de fruto) y 5) tolerancia a factores bioticos (Zegbe et al., 1999).

Materiales y métodos

Para esta investigación se utilizaron 40 genotipos que fueron recolectados en las zonas productoras de Zacatecas desde 2016. Los materiales se establecieron en un marco de 2 X4 m entre arboles y fila, respectivamente, cada uno con cuatro repeticiones. Los árboles de durazno han estado bajo evaluación continua desde 2016 en un sistema de producción semicomercial. Se han monitoreado variables como crecimiento vegetativo, producción de fruta, calidad de la misma (tamaño, firmeza, contenido de azúcar).

Las variables se midieron como se describe a continuacion. El Diámetro ecuatorial y polar se determinaron con un vernier digital (Modelo CD-6, CS, Mutituyo Co., Japan). Para medir la sección ecuatorial se hizo en la parte media del fruto evitando la sutura. Para la medición polar se realizó en el punto apical y basal del fruto.

Para el peso del fruto se utilizó una balanza electrónica (Velab Modelo-VE-303, Clase II) con capacidad para 300g y sensibilidad de 0.001 g. La firmeza se midió en dos lados opuestos sobre la seccion ecuatorial del fruto sin piel evitando la sutura del carpelo, se usó un penetrómetro (Modelo FT 327, Wagner Instruments, CT,) con un embolo de embolo 8 mm de diámetro expresada en kg cm^{-2}. Para los solidos solubles totales. - Para esta determinación se tomaron y mezclaron alícuotas de jugo de las perforaciones hechas con el penetrómetro, se usó un refractómetro digital (Modelo ATC-1 Atago, Japan), con compensación automática de temperatura los resultados se expresaron en ºBrix de acuerdo a la AOAC (1998).

Este programa, implementado en un sistema de producción semicomercial, ha permitido evaluar el desempeño de las diferentes variedades en condiciones de campo y seleccionar aquellas con mayor potencial para su comercialización. Con el fin de seleccionar genotipos de durazno con potencial comercial en la región, se restringió el análisis a aquellos que maduraron durante los meses de julio y agosto, periodo considerado como temprano en la zona o de escacez de fruta.

Resultados y discusión

Dado que el objetivo principal del estudio era identificar genotipos de maduración temprana, en este trabajo se muestran únicamente aquellos que alcanzaron su madurez fisiológica temprana. Puesto que la maduración temprana es un atributo clave para la comercialización de durazno en el mercado nacional, se priorizò la evaluación de aquellos genotipos que maduran durante los meses de julio y agosto; 11 de ellos destacaron por sus caracteristicas fisicas (Cuadro 1).

El análisis fenotípico de los individuos evaluados reveló una notable uniformidad en cuanto a la coloración de la pulpa, siendo el amarillo el color predominante. Sin embargo, se observó variabilidad en la intensidad y extensión del rubor en la epidermis (Figura 1) aunque el color de fondo fue el amarillo. Nueve de los once individuos presentaron un rubor de intensidad variable, mientras que los dos restantes exhibieron una coloración completamente amarilla. Estos resultados son relevantes considerando las preferencias del consumidor mexicano, ya que según Sánchez (2007), existe una marcada preferencia por los duraznos con al menos 25% de color rojo en la epidermis. No obstante, es importante destacar que aunque la preferencia por frutos sin rubor es minoritaria, existe un nicho de mercado para este tipo de productos, especialmente entre consumidores que buscan características organolépticas particulares como mayor suavidad o menor acidez.



Figura 1. Frutos de durazno criollo (A) de Zacatecas y genotipos con diferentes patrones de rubor (B-D) en la piel.

En general los genotipos presentaron uniformidad en cuanto al contenido de solidos solubles totales (Cuadro 1). El tamaño del fruto es una característica de gran importancia comercial en el durazno. De los once genotipos seleccionados, siete presentaron un peso superior a los 90 g, lo que los clasifica como frutos de calibre grande (Cuadro 1). Por otro lado, los cuatro restantes exhibieron un tamaño inferior a este umbral, correspondiendo a un calibre mediano o pequeño con respecto a los criollos que en promedio alcanzan 55 g. La variabilidad en el tamaño del fruto observada en los genotipos evaluados sugiere una fuerte influencia tanto de factores genéticos como agronómicos. Diferencias genéticas intrínsecas a cada genotipo, relacionadas con la expresión de genes que controlan el crecimiento y desarrollo del fruto, podrían explicar en gran medida esta variación. Asimismo, factores agronómicos como la densidad de plantación, la fertilización, el riego y las prácticas culturales en general pueden modular el tamaño final del fruto.

Esta interacción entre genotipo y ambiente es un aspecto fundamental a considerar en los programas de mejora genética, ya que permite identificar genotipos con un mayor potencial de adaptación a diferentes condiciones de cultivo y satisfacer las demandas de mercados específicos (Zegbe 1999).

Cuadro 1. Caracteristicas fisicas y solidos solubles totales (SST) de selecciones tempranas de genotipos (Gen) duraznero.

Gen	Fecha	Peso de fruto (g)	Diametro polar (mm)	Diametro ecuatorial (mm)	Porcion comestible (%)	Firmeza (kg cm^{-2})	SST (ºbrix)	Peso de hueso (mm)	Rubor
z1	12/07/24	95.21	53.97	55.52	94.54	3.6	13.10	5.20	Si
Z2	25/07/24	116.80	57.43	61.66	95.21	4.2	13.20	5.60	Si
Z3	27/07/24	99.23	55.86	57.93	95.16	4.3	13.90	4.80	No
Z4	27/07/24	52.54	44.69	44.70	92.01	4.2	13.80	4.20	Si
Z5	04/08/24	84.50	56.57	55.62	92.90	3.5	14.00	6.00	Si
Z6	08/08/24	106.39	58.03	59.00	94.92	4.3	13.80	5.40	Si
Z7	14/08/24	99.12	61.01	59.88	94.85	4.2	13.60	5.10	Si
Z8	20/08/24	96.91	58.23	56.59	95.05	3.9	13.70	4.80	Si
Z9	22/08/24	90.51	56.96	56.47	95.03	4.2	13.50	4.50	Si
Z10	24/08/24	77.28	52.67	53.42	94.05	4.3	13.90	4.60	No
Z11	24/08/24	58.97	46.80	48.27	93.05	4.6	14.30	4.10	Si

Gracias a la selección localizada de los mejores genotipos por región y al mejoramiento genético, ha sido posible desarrollar variedades de durazno con frutos de buen calibre, adaptados a las condiciones agroecológicas específicas de cada zona. Esta estrategia ha permitido satisfacer las demandas de los fruticultores locales, quienes valoran frutos con características organolépticas y de manejo poscosecha que se ajusten a sus preferencias. (Okie y Scorza, 2001; Byrne et al., 2012), con mayor concentración de sólidos solubles y materia seca, un amplio rango de acidez, con mayor firmeza que coadyuve al manejo postcosecha (Byrne et al., 1991; Génard y Bruchou, 1992; Esti et al., 1997; Brovelli et al., 1998; Wu et al., 2003; Quilot et al., 2004; Colaric et al., 2005; Cevallos-Casals et al., 2006; Scorza et al., 2006; Ruiz y Egea, 2008; Boudehri et al., 2009; Cantín et al., 2009; Cevallos-Jain y Priyadarshan, 2009), entre otras características. También, ha sido posible la ampliación del calendario de cosecha con variedades con un reducido periodo de desarrollo de fruto, entre otros atributos de interés que, influyen en la aceptación y preferencia del fruto por el consumidor (Sharpe et al., 1954; Okie,1998; Aranzana et al., 2010; Rumayor et al., 2011; Frett et al., 2012). Por otro lado, es recomendable que cada variedad que se libera, esta sea difundida no sólo con la descripción botánica, sino también con sus requerimientos agro-climáticos y tecnología de producción.

Conclusiones

Los genotipos muestran una amplia variabilidad en el tamaño de los frutos, sin embargo son de mayor tamaño que los criollos. El análisis fenotípico reveló una variabilidad en la intensidad del rubor en la epidermis de los duraznos evaluados, a pesar de la uniformidad en el color de la pulpa. Aunque la mayoría de los individuos presentaron rubor, la presencia de genotipos completamente amarillos sugiere un potencial para satisfacer nichos de mercado específicos que prefieren frutos sin rubor.

Referencias

Aranzana, MJ., Abbassi, EK., Howad, W., and Arús, P. 2010. Genetic variation, population structure and linkage disequilibrium in peach commercial varieties. BMC genetics, 11, 1-11.

Badenes, M.L. And Byrne, D. H. 2012. Fruit Breeding, Springer.

Brovelli, E. A., Brecht, J. K., Sherman, W. B., and Sims, C. A. 1998. Quality of fresh-market melting-and nonmelting-flesh peach genotypes as affected by postharvest chilling. Journal of food science, 63:730-733.

Brown, J., Caligari, P. and Campos, H. 2014. Plant Breeding, Wiley.

Bruchou, C., and Génard, M. 1995.Modelling the assimilate transfer and fruit growth in peach tree. In IV International Symposium on Computer Modelling in Fruit Research and Orchard Management 416:89-94.

Byrne DH, Badenes ML. 2012. Fruit breeding. Handbook of Plant Breeding. New York. Springer. 1-871p.

Byrne DH, Nikolic AN, Burns EE. 1991. Variability in sugars, acids, firmness, and color characteristics of 12 peach genotypes. Journal of American Society for. Horticultural Science. 116(6): 1004-1006.

Cantín MCM. 2009. Estudio agronómico y de la calidad del fruto del melocotonero [Prunus. persica (L.) Bastch] en diferentes poblaciones de mejora para la selección de nuevos cultivares. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza: 1- 191p.

Frett TJ, Gasic K, Clark JR, Byrne D, Gradziel T, Crisosto C. 2012. Standarized phenotyping for fruit quality in peach [Prunus persica (L.) Batsch]. Journal of the American Pomological Society. 66: 214-219.

Okie WR. 1998. Hanbook of peach and nectarine varieties. United States Departament of Agriculture. Agriculture Handbook: 714-808.

Rumayor RAF, Sánchez TBI, Zegbe DJA. 2011. Estudio sensorial como estrategia de mercadotecnia para el durazno mexicano. XV Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Administrativas.189-196.

Sánchez TBI, Zegbe DJA, Espinoza AJJ, Rumayor RAF. 2012. Producción y comercialización del durazno criollo de Zacatecas. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP. Folleto Técnico. No. 43: 43p.

SIAP, 2023. http://www.siap.gob.mx/ (consultado el 6 de agosto de 2024).

Zegbe, D.J., Rumayor, R.A., Reveles, T.R., y Pérez, B.H. 1999. 'Victoria' un clon de durazno (Prunus persica L.) de hueso pegado para Zacatecas. Revista Fitotecnia Mexicana 22:227-235.

EVALUACIÓN DE LA SOBREVIVENCIA Y ADAPTABILIDAD DE ACCESIONES DE NOPAL (*Opuntia* spp.) EN EL BANCO DE GERMOPLASMA DE LA URUZA-UACH- PRIMERA ETAPA

Sahara Xolocotzi-Acoltzi[1*], Oscar Esquivel-Arriaga[1], Clemente Gallegos Vázquez[2], Marco Andrés López Santiago [1].

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Gómez Palacio - Ciudad Juárez, km 40. C.P. 35230, Bermejillo, Durango. [2]Centro Regional Universitario Centro Norte. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Zacatecas-Guadalajara. km 5.5. C.P. 98060, El Orito, Zacatecas. *Autor de correspondencia: xolocotzi18@gmail.com

Introducción

El nopal es uno de los recursos vegetales más importantes en México ya que sus características morfológicas y biológicas hace posible su establecimiento como cultivo multipropósito (Mondragón Jacobo & Chessa, 2018) en regiones con recursos limitantes como las regiones áridas, donde el déficit hídrico por la baja precipitación, los periodos largos de sequía y los suelos poco fértiles suelen ser preponderantes (Mazuela Águila, 2013). En la zona centro del país existen plantaciones bien establecidas en la producción comercial de nopal-verdura utilizando varias accesiones de *O. ficus-indica*, principalmente las variedades Milpa Alta, Atlixco, Chicomostoc, Criolla tipo italiana, Tlaconopal, COPENA F1 y Sel. 6 CEPAB (De Lira Ramos et al., 2024).

Sin embargo, el uso de variedades comerciales de nopal ha sustituido el aprovechamiento de las locales, provocando la pérdida de genes que les atribuye resistencia a la aparición de plagas, malezas y enfermedades de la región en donde se desarrollan (FAO, 2024). Ante dicho escenario resalta la necesidad de su conservación a través de la recolección de muestras representativas de la variabilidad típica de cultivares de nopal y su mantenimiento en bancos de germoplasma, conservando el material genético que represente las especies vegetales fuera de su ambiente (Martínez Estévez et al., 2021).

La conservación *ex situ* tiene como propósito reducir el riesgo de extinción de especies a través de la aplicación de recursos, técnicas e infraestructura especializada que contribuyan a su recuperación y sobrevivencia fuera de su hábitat y su establecimiento en instituciones permitirá realizar actividades de investigación, enseñanza y capacitación. Claro ejemplo es la colección del Depositario Nacional de *Opuntia* del CRUCEN-UACh, ubicado en Zacatecas. Dicha colección cuenta con un acervo de 384 accesiones de nopal, colectadas en 13 estados del país, con usos como fruta, verdura, forrajeros y con más de un propósito (Gallegos & Barrientos, 2009).

El objetivo de este proyecto es establecer en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, en Bermejillo, Durango una réplica del acervo genético del Depositario Nacional de Opuntia como una estrategia de seguridad para la conservación de la riqueza genética de nopal en una región árida y como zona de interés en el aprovechamiento multipropósito de este cultivo.

Materiales y métodos

Ubicación del área de estudio. El estudio se realizó en el Rancho El Carmen, de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo en Bermejillo, Durango, México, ubicado en las coordenadas geográficas 25° 53´51.5652” latitud norte y -103° 35´ 48.9552” longitud oeste, con una altitud de 1,111 m. La región cuenta con un clima desértico seco con lluvias en verano e inviernos frescos, presentando una temperatura media anual de 19.5 °C, una máxima de 28.4 °C y una mínima 10.5 °C; así como una precipitación media anual de 258 mm y una evaporación media anual de 2000 mm (Medina et al., 2005).

Germoplasma de nopal y manejo. De la colección del Depositario Nacional de Opuntia en el Orito, Zacatecas, se transfirieron en mayo del 2023 las primeras 72 accesiones de *Opuntia* spp. a la URUZA. Las pencas contaban con al menos un año de edad, sin daños y con cuatro repeticiones por accesión.

Establecimiento. El área destinada para la colección es de 2 ha, en la cuales se instaló un sistema de riego por goteo. Las accesiones de nopal se sembraron en surcos de 100 m de largo, con una distancia entre plantas de 2.5 m, con pasillos de 4 m de ancho para permitir la entrada de maquinaria para el mantenimiento de la plantación.

Manejo. Para el sistema de riego se colocó una manguera de polietileno de 16 mm por surco con dos goteros por planta, uno anterior y uno posterior para tener una aplicación localizada. El riego se realizó una vez al mes en el periodo de otoño e invierno, en primavera y verano se aplicó cada 15 días. En octubre del 2023 se llevó a cabo la aplicación de 8 a 10 kg de abono de bovino por planta como aporte de materia orgánica al suelo. A lo largo del primer año se establecimiento se realizó el control de malezas, el monitoreo de plagas, enfermedades y daños en general en la plantación.

Variables medidas. Se realizó la evaluación de la sobrevivencia de plantas al año del establecimiento de la plantación, esta consistió en el registro de plantas vivas y secas. Se registró también el porcentaje de rebrote de las accesiones de nopal y el número de cladodios.

Análisis de la información. La información obtenida se procesó en el programa Excel de Microsoft y se realizó un análisis descriptivo de las variables medidas.

Resultados y discusión

Al año del establecimiento de las primeras 72 accesiones de nopal en las parcelas experimentales de la URUZA, se registró una sobrevivencia del 25 % de las repeticiones de la variedad Amarilla Oro, Rosa de Castilla y Atlixco; el 50 % de las accesiones Naranjón Legítimo, Jalpa, Italiano mejorado, Pabellón amarillo, Tapona, R. viznaga, S1 y Goliat; y el 75 % de las accesiones Sandia, Moradilla 1, Morada San Martín, A. Plátano, Cacalote, A. Miquihuana, Esmeralda, X. Invierno y X. Cambray, por lo será necesario adecuar las condiciones riego y abonado para garantizar su crecimiento en la parcela de establecimiento. Además, se realizará la resiembra de las plantas faltantes para completar las cuatro repeticiones por accesión.

Las 49 variedades restantes tuvieron el 100 % de sobrevivencia al año su establecimiento (Cuadro 1), solo de estas accesiones se consideraron las variables de crecimiento. Fueron 33 accesiones las que presentaron un 100 % de rebrote en sus repeticiones, lo que se interpreta como una adecuada adaptación a las nuevas condiciones del establecimiento de la plantación, caracterizada principalmente por temperaturas extremas, Pedroza et al (2024) reportaron en el 2022 en la URUZA una temperatura máxima en verano de 46.9 °C y mínima de -4.6 °C en el periodo de invierno.

Las variedades Pabellón amarillo, Jalpa, Diabetes Zacatecas son las accesiones de aprovechamiento para producción de verdura con mejor adaptación en la región árida de establecimiento con una media en número de cladodios de 6.5, 6.5 y 5.5, respectivamente; así como la Anaranjada, Selección de Hidalgo y Grifa con el aprovechamiento del fruto, con medias en número de cladodios de 8.5, 10 y 11.8, respectivamente.

Cuadro 2. Porcentaje de rebrote y número de cladodios de accesiones de Opuntia spp.

Accesión	Rebrote (%)	No. cladodios	Accesión	Rebrote (%)	No. cladodios
A. Montesa*	100	6.8	Sangre de Toro*	100	5
Cristalina*	75	4.8	Dalia Roja*	100	1.3
Burrona*	50	2.5	X. C. blanco*	100	5.5
Blanca Pepina*	25	0.3	X. Cuaresmero*	50	1.3
Rubí Reyna*	50	6.8	X. Rojo Sainero*	25	0.8
Camuezo*	100	5	X. Chaveñito*	25	0.3
Amarilla Jarro*	75	3.7	Bonda*	100	6.5
Pico Chulo*	67	2.5	Cero espinas**	75	1.3
C. Torreoja*	25	1	COPENA V-1**	33	0.5
Mango*	75	5.5	Chicle*	25	0.3
Camueza II*	100	4.3	Rojo Vigor*	100	6.5
COPENA Z1*	50	2.3	COPENA F-1**	100	3.3
Grifa*	75	11.8	Pelón Rojo*	100	2.8
Orejón*	100	4.5	Milpa Alta*	75	2.3
Anaranjada*	100	8.5	Diab. Zac.**	100	5.5
A. San Mateo*	100	6.5	Chicomostoc**	100	4
A. Zacatecas*	67	1.3	Rosalito*	75	3.3
Selec. Hidalgo*	100	10	Jade**	0	0
COPENA 3*	75	5.8	Solferino*	100	5.3
B. San José*	100	3.8	Roja Jalpa*	100	2.3
C. de Castilla*	25	0.3	Padre Santo**	25	1
T. Aguanoso*	25	0.3	X. Cuerón*	25	2.3
Barrientos*	75	5.5	J4*	100	2
Rojo Lirio*	100	3.5	X. Chivo*	50	1.8
Roja La Victoria*	100	6.3			

Usos de la accesión: *= fruto, **= verdura

Algunos de los factores que influyeron, además de caracteres propios de las accesiones, en la sobrevivencia de las plantas fue la presencia de plagas como el picudo de nopal (*Cactophagus spinolae*) (Figura 1) y daños por roedores (Figura 2). Para el tratamiento de las lesiones por picudo se realizó una aplicación de Cipermetrina en todas las repeticiones, posteriormente el control fue manual, cortando y retirando los cladodios dañados de la plantación. Las plantas dañadas desde la base fueron retiradas de la plantación y se resembrará en el periodo de otoño.



Figura 1. Daño en cladodio por picudo del nopal.



Figura 2. Daño en penca por roedores.

Conclusiones

La identificación de plagas y enfermedades durante el primer año de establecimiento del cultivar de nopal ha brindado información a considerar en el establecimiento del resto de las accesiones del Depositario Nacional de Opuntia, así como la validación de las técnicas de mantenimiento, el riego y el control de malezas y plagas implementadas, se puede continuar entonces con el traslado de la colección.

Referencias

De Lira Ramos, K. V., Perales Aguilar, L., Perales Segovia, C., & Mena Covarrubias, J. (2024). Manejo anual del Cultivo en E. González Gaona , L. Argentel Martínez , L. Perales Aguilar, O. Peñuelas Rubio, A. García Mungía, & K. V. De Lira Ramos, *El Nopal: ecofisiología del nopal en México* (pp. 37-43). Brasil: Pantanal Editora.

FAO. (Marzo de 2024). *Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura: Recursos fitogenéticos*. https://www.fao.org/cgrfa/topics/plant-genetic-resources/es

Gallegos, C., & Barrientos, P. (2009). *Conservación para la utilización sustentable de nopal en México.* Zacatecas, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Martínez Estévez, M., Pulido Salas, M. T., & Escalante Rebolledo, S. (2021). *Laboratorio Regional para el Estudio y la Conservación de Germoplasma*. Obtenido de ¿Qué es un banco de Germoplasma: https://www.cicy.mx/sitios/laboratorio-regional-para-el-estudio-y-conservacion-de-germoplasma

Mazuela Águila, C. (2013). Agricultura en zonas áridas y semiáridas. *Idesia (Arica), 31*(2), 3-4.

Medina G, G., Díaz P, G., López H, J., & Marín S, M. (2005). *Estadísticas climatológicas básicas en el estado de Durango (Periodo 1961-2003). Libro Técnico No. 1.* Campo Experimental Valle del Guadiana. CIRNOC-INIFAP.

Mondragón Jacobo, C., & Chessa, I. (2018). Recursos genéticos de nopal *(Opuntia* spp*.)* en P. Inglese*, Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal* (pp. 45-52). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Pedroza-Sandoval, A., Xolocotzi-Acoltzi, S., Trejo-Calzada, R., García de los Santos, G., Álvarez-Vázquez, P., & Arreola-Ávila, J. G. (2024). Leaf area index and forage productivity indicators of Lotus corniculatus L. at different soil moisture and seasons og the year. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 15*(1), 17-31. doi:https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i1.6472

ADECUACIÓN DE DATOS DE REANÁLISIS PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA Y HUELLA HÍDRICA DE CULTIVOS.

Sergio Iván Jiménez Jiménez*[1], Mariana de Jesús Marcial Pablo[1], Marco Antonio Inzunza-Ibarra[1], Ignacio Sánchez Cohen[1], Ernesto Sifuentes Ibarra[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. Margen derecha canal Sacramento km 6.5, Zona industrial Gómez Palacio, CP. 35140. Durango. México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Fuerte. Carretera internacional México-Nogales km 1609, Juan José Ríos, Sinaloa 81110, México. *Autor de correspondencia: jimenez.sergio@inifap.gob.mx

Introducción

La Evapotranspiración del cultivo se estima comúnmente considerando la evapotranspiración de referencia (ET_O) y el coeficiente de cultivo. El primero se puede evaluar usando el manual 56 de la FAO, donde el método de Penman Monteith (PM), es el más usado por su precisión para diferentes condiciones climáticas y regiones (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998). Sin embargo, estimar la evapotranspiración de referencia (ET_O) diaria con la metodología de FAO56 es un desafío cuando los datos de observación terrestre no están disponibles o son escasos. En este sentido, los datos de reanálisis se utilizan cada vez más como fuentes de datos meteorológicos para evaluar la evapotranspiración de referencia de cultivos, sobre todo en países en desarrollo donde no se cuenta con una red robusta de estaciones meteorológicas.

Los datos de reanálisis o datos meteorológicos cuadriculados comúnmente están disponibles gratuitamente en plataformas web, publicados en formatos de cuadriculas o mallas regulares, con un retraso de meses o días a partir del presente, pueden utilizarse para obtener datos continuos de un sitio o para rellenar vacíos geoespaciales en los datos meteorológicos (Bai et al., 2010) o emplearse en aplicaciones específicas como la calendarización del riego o la estimación de la huella hídrica de los cultivos. El objetivo de este trabajo fue estimar la ETo con datos de reanálisis y evaluar su precisión para su mejora, así mismo se creó una herramienta usando Google Earth Engine (GEE) para estimar desde una página web la ETo.

Materiales y métodos

Zona de estudio y datos climáticos. La zona de estudio comprende el área de la región hidrológica Nazas-Aguanaval (RH036-NA), entre los estados de Durango, Coahuila y Zacatecas en México (Figura 1). El distrito de riego 017 se ubica dentro de la RH036-NA conocida como Región Lagunera (DR017), en la que se han sembrado en promedio 55,676 hectáreas anuales en los últimos 10 años agrícolas (CONAGUA, 2022). Además, existen unidades de riego (pequeñas unidades de riego) que en conjunto suman una superficie de 101,073 hectáreas (3% del total nacional).

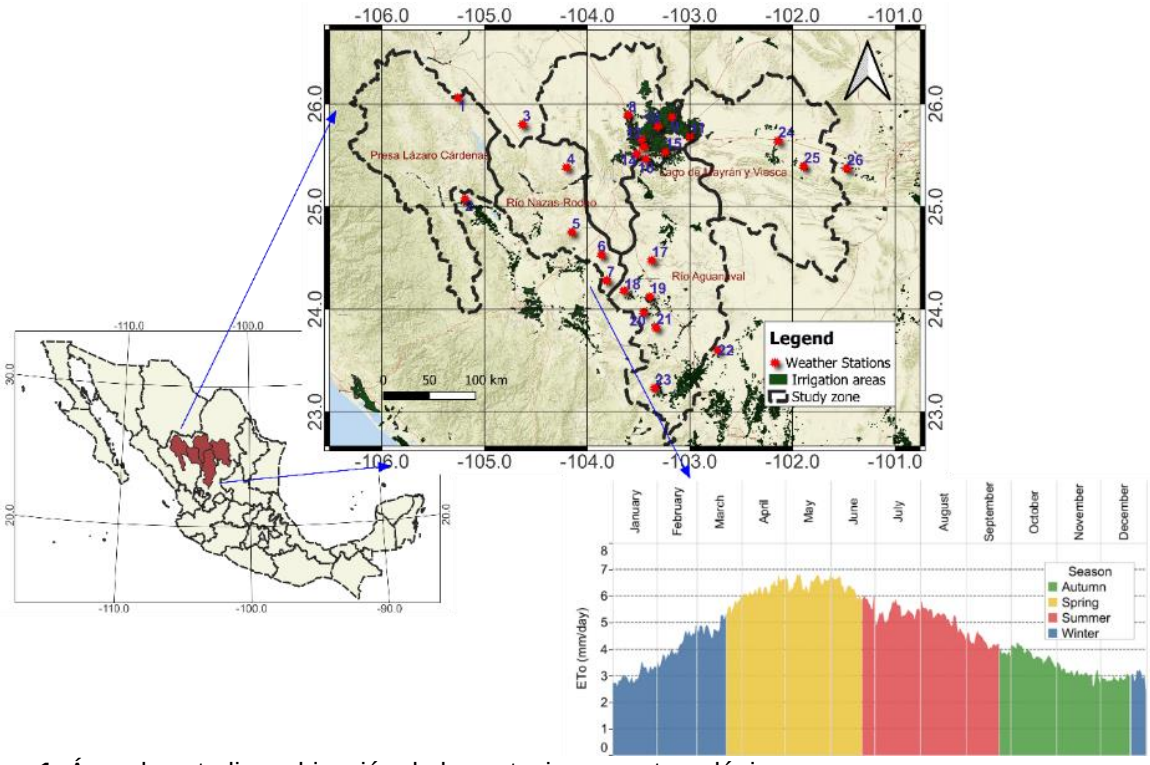


Figura 1. Área de estudio y ubicación de las estaciones meteorológicas

Los calendarios de riego en el DR se inician en primavera-verano (P-V) con el establecimiento de cultivos como maíz, algodón, sorgo, etc; los periodos de siembra y cosecha se muestran en el Cuadro 1. De acuerdo a las últimas estadísticas publicadas de los distritos de riego, los cultivos anuales más importantes, por su superficie sembrada, son el maíz forrajero, sorgo forrajero y algodón; mientras que, en perennes sobresale la alfalfa (CONAGUA, 2019).

Cuadro 1. Fechas de siembra y cosecha de los principales cultivos en el DR017

Cultivo	Fecha de siembra	Fecha de cosecha	DMF promedio
Maíz forrajero	20/03 ─ 20/04	05/08─ 25/09	110
Algodón	20/03 ─ 20/04	03/08 ─ 15/11	150
Sorgo forrajero	20/03 ─ 20/04	05/08 ─ 10/09	130

Datos de reanálisis y estimación de ETo. En este caso, se emplearon únicamente bases de datos de reanálisis que brindan las variables de interés para estimar la ET_0 con la ecuación de FAO-56 PM, estas bases de datos son: Climate Forecast System version 2 (CFSv2), Global Land Data Assimilation System (GLDAS), North American Land Data Assimilation System phase 2 (NLDAS) y Real-Time Mesoscale Analysis (RTMA) y NasaPower system (NP). Los atributos espaciales y temporales, y otras características principales de las bases de datos de reanálisis evaluados en este estudio se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Resoluciones y cobertura de los conjuntos de datos de reanálisis evaluados

Base de datos	Resolución			Cobertura temporal	Cobertura espacial	Fuente
	Espacial (km)	Espacial (°)	Temporal (hr)			
CFSv2	~22 latitud	~0.2	6	1979 - presente	Global	(Saha et al., 2011)
GLDAS 2.1	~28	1/4	3	2000 - presente	Global	(Rodell et al., 2004).
NLDAS	~14	1/8	1	1979 - presente	Contiguo a Estados Unidos	(Rodell et al., 2004).
RTMA	2.5	1/24	1	2015-06-18-presente	Contiguo a Estados Unidos	(De Pondeca et al., 2011)
NP	55	1/2	24	2015-06-18-presente	Contiguo a Estados Unidos	

Para evaluar el desempeño de la estimación de la ET_0 a partir de datos climáticos de reanálisis, se utilizaron datos diarios registrados en 26 estaciones agrometeorológicas (**¡Error! No se e ncuentra el origen de la referencia.**) de la Red Nacional de Estaciones Agrometeorológicas Automatizadas del INIFAP estandarizados a 2 m (http://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/Estaciones) que está a cargo del Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos. De las estaciones meteorológicas se obtuvieron los registros de valores diarios del periodo de 2005 a 2020, para las variables de temperaturas, velocidad del viento, humedad relativa media y radiación solar acumulada. Antes de emplear estos datos para estimar la ETo aplico un procedimiento de control de calidad de los datos como lo recomienda Allen (1996).

Se realizó una evaluación de precisión de las variables por separado (T_{max} T_{min}, T_{mean}, u_2, HR y *Rs*) después de la ETo, comparando los datos de reanálisis con respecto a los medidos. La evaluación de la precisión se realizó usando la RMSE (raíz del cuadrado medio del error), el error medio (ME), y el coeficiente de determinación.

Resultados y discusiones

Datos de reanálisis y su ajuste. La precisión de RD en la estimación de ET0, dentro del área de interés, se puede mejorar combinando diferentes conjuntos de datos. De esta manera, se seleccionaron las variables de diferentes conjuntos de datos que tenían el RMSE más bajo. En este caso, para la T_{max}, T_{min}, T_{mean} se empleó RTMA, para la presión de vapor actual NP/RTMA; para Rs NP y para u_2 *CFSv2*.

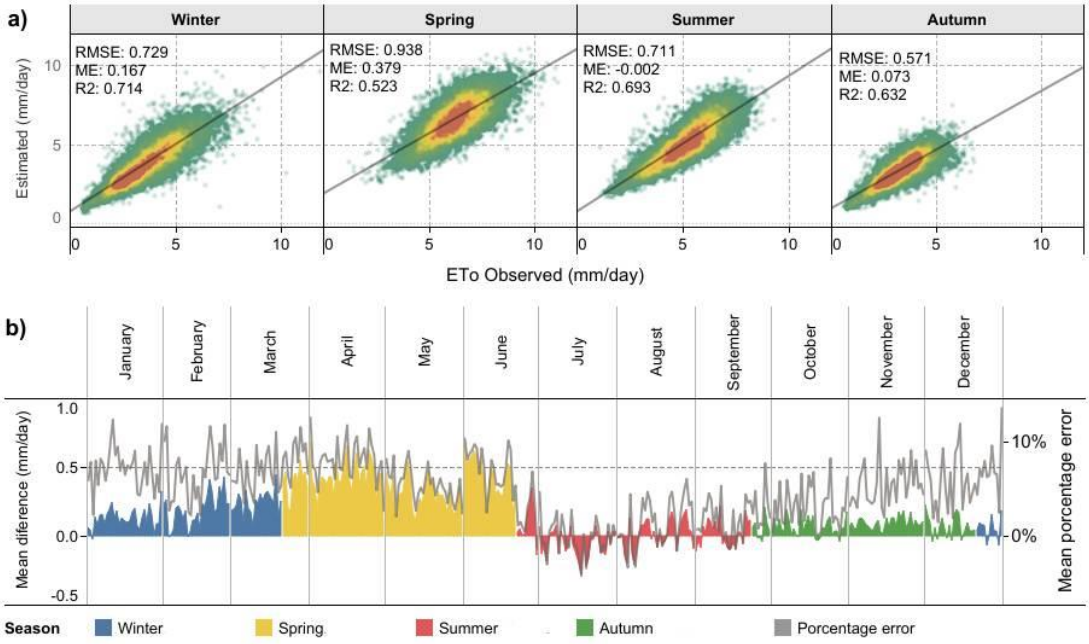


Figura 2. a) Comparación de la evapotranspiración de referencia entre datos medidos y de referencia y b) diferencia promedio y porcentual entre datos medidos y de referencia

Se encontró que hay una mejora en la estimación de la ET_0 al combinar diferentes conjuntos de datos. El RMSE se reduce a entre 0,091 y 0,139 mm/día y el R^2 aumenta (Figura 2). Tomando en cuenta los diferentes conjuntos de datos para estimar la ETo, se calculó el error en mm/ciclo que se obtendría al usar los RD en lugar de datos medidos localmente, en este sentido, se encontró que entre más tarde se siempre el cultivo, el error en la ETo es menor (Figura 3). En este sentido, estos conjuntos de datos de reanálisis se pueden emplear en áreas con escasos datos y para diferentes aplicaciones como es la Huella Hídrica de los cultivos.

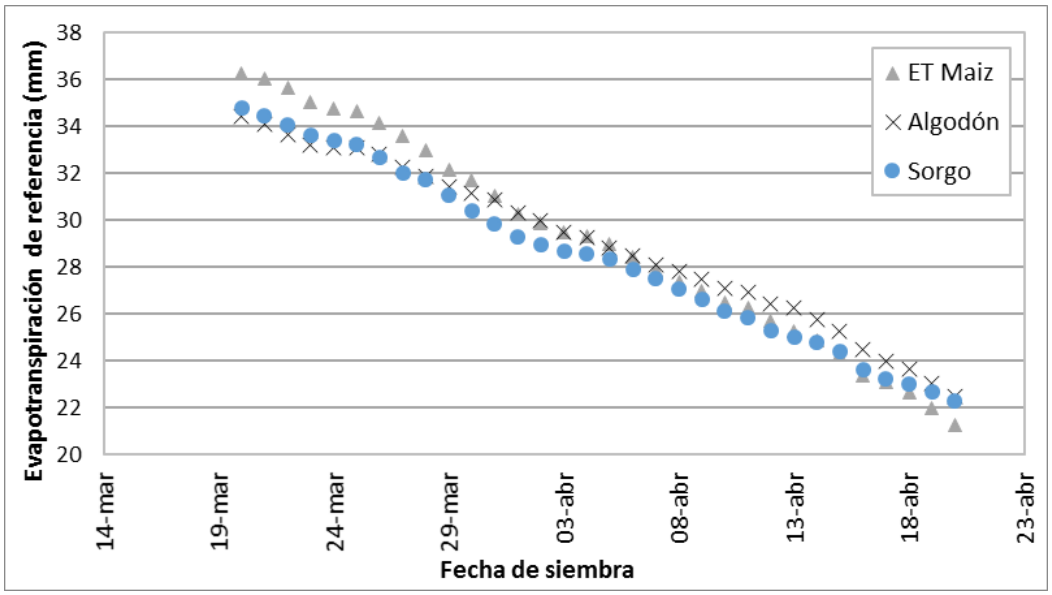


Figura 3. Error en mm/ciclo de la evapotranspiración de referencia usando RD para los principales cultivos.

Plataforma GEE. Se utilizó los recursos de GEE para estimar automáticamente la ETo diaria en cualquier punto de la zona norte de México usando datos climáticos de reanálisis. Parte de la configuración principal es que el usuario selecciones el intervalo de fechas en que desea estimar la ETo. En la Figura 4 se muestra la ventana principal de la herramienta.

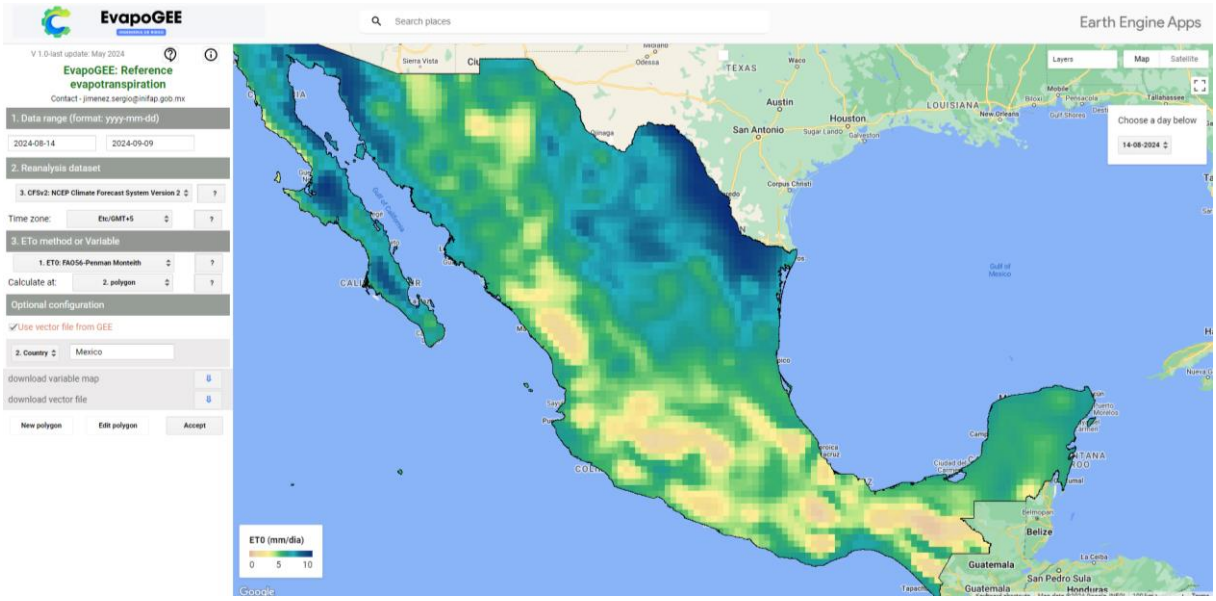


Figura 4. Ventana principal de la aplicación Web para estimar la ETo con dato de reanálisis.

Conclusiones

Se necesitan herramientas que permitan atacar un problema como la falta de información en diferentes zonas del país, en este caso se estimó la ETo para una zona en específica, sin embargo, se deben calibrar y validar estas herramientas para diferentes áreas. En este sentido el siguiente paso en este trabajo es encontrar metodologías robustas para reducir el sesgo entre datos medidos y estimados de reanálisis.

Agradecimiento

Este trabajo se financio con el proyecto CONACYT: Huella Hídrica De Cultivos Usando Sensores Remotos Y Datos De Reanálisis, Una Aproximación A Escala Parcelaria.

Referencias

Allen, R. G. (1996). Assessing Integrity of Weather Data for Reference Evapotranspiration Estimation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(1996)122:2(97)

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. *Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO*. https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001

Bai, J., Chen, X., Dobermann, A., Yang, H., Cassman, K. G., & Zhang, F. (2010). Evaluation of NASA Satellite- and Model-Derived Weather Data for Simulation of Maize Yield Potential in China. *Agronomy Journal*, *102*(1), 9–16. https://doi.org/10.2134/agronj2009.0085

Cobaner, M., Citakoğlu, H., Haktanir, T., & Kisi, O. (2017). Modifying Hargreaves-Samani equation with meteorological variables for estimation of reference evapotranspiration in Turkey. *Hydrology Research*, *48*(2), 480–497. https://doi.org/10.2166/nh.2016.217

CONAGUA, 2022. Estadísticas agrícolas de los distritos de riego: Superficies regadas y volúmenes distribuidos por distrito de riego 1998 – 2020. https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego (accessed 18 November 2022).

De Pondeca, M. S. F. V., Manikin, G. S., Dimego, G., Benjamin, S. G., Parrish, D. F., Purser, R. J., … Vavra, J. (2011). The real-time mesoscale analysis at NOAA's national centers for environmental prediction: Current status and development. *Weather and Forecasting*, *26*(5), 593–612. https://doi.org/10.1175/WAF-D-10-05037.1

Jabloun, M., & Sahli, A. (2008). Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data. Application to Tunisia. *Agricultural Water Management*, *95*(2008), 707 – 715. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.01.009

Rodell, M., Houser, P. R., Jambor, U., Gottschalck, J., Mitchell, K., Meng, C. J., … Toll, D. (2004). The Global Land Data Assimilation System. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *85*(3). https://doi.org/10.1175/BAMS-85-3-381

Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., & ... & Becker, E. (2011). NCEP climate forecast system version 2 (CFSv2) 6-hourly products. *Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory*, *10*(D61C1TXF).

ESTIMACIÓN DE COBERTURA DE COPAS Y ALTURA DE ÁRBOLES EN UN BOSQUE DE ENCINO MEDIANTE IMÁGENES CAPTURADAS CON DRONES

Gabriel Sosa-Pérez[1]*, José Luis García-Pérez[1], Pedro Jurado-Guerra[1], Héctor Ramírez-Garduño[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental La Campana. Km 33.3 Carretera Chihuahua-Ojinaga, Aldama, Chihuahua. C.P. 32910. *Autor de correspondencia: sosa.gabriel@inifap.gob.mx

Introducción

El inventario forestal es el método más usado para medir y registrar los datos de cantidad y calidad del arbolado de un bosque (Orozco y Brumér, 2002). No obstante, la confiabilidad de la información generada en un inventario depende directamente de la intensidad del muestreo (Bautista et al., 2011). Es decir, depende del número de sitios de muestreo, donde a mayor número de sitios mayor confiabilidad. Un problema ligado al tamaño de muestra son los altos costos del muestreo, ya que pequeños incrementos en precisión requieren mayor recurso económico, tiempo y trabajo de campo. Un método alternativo para estimar algunas variables dasométricas del arbolado, consiste en utilizar fotografías aéreas de alta resolución espacial, y en este sentido los drones son muy útiles. Actualmente el uso de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (comúnmente conocidos como drones), están llegando a ser una herramienta esencial en investigación forestal, gracias a su capacidad para obtener imágenes con alta resolución espacial que pueden ser colectadas de forma rápida y a un bajo costo (Diez, et al., 2021). Existe un amplio potencial de usos que las imágenes pueden proveer. Por ejemplo, en estudios de hidrología, la cobertura arbórea es importante, ya que las copas de los árboles interceptan y regulan el flujo que sigue la precipitación antes de llegar al suelo. Similarmente, la altura de los árboles es importante, principalmente cuando se desea estimar el volumen o la productividad de un sitio. Estudios han demostrado que la altura es mejor indicador que la biomasa para determinar la productividad de un sitio (Quiñonez et al., 2015).

A pesar de que los drones son herramientas cada vez más utilizadas en el ámbito forestal, aún existen limitantes para su uso común. Algunas de las dificultades son el requerimiento de drones especializados con LIDAR (*Light Detection and Ranging*), sistema de posicionamiento satelital RTK o cinemática en tiempo real (posicionamiento GPS a nivel de centímetros), hardware con grandes capacidades para procesar cientos de imágenes, así como software especializado con altos costos de licencia. Sin embargo, podrían existir opciones más accesibles utilizando drones con posicionamiento GPS sin RTK y software libre que podría proveer de información básica para la toma de decisiones. En este sentido, el objetivo de este estudio fue estimar la cobertura arbórea y la altura de árboles con imágenes capturadas por un dron en el espectro visible (RGB) y sin posicionamiento satelital RTK. La principal contribución del estudio fue probar el desempeño de técnicas fotogramétricas para delinear la cobertura arborea utilizando un índice de vegetación y estimar la altura total derivada de una nube de puntos y métodos de segmentación por cuencas. Los resultados fueron comparados con los de un inventario utilizando el método tradicional de muestreo.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Rancho Experimental La Campana, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, en el estado de Chihuahua. La superficie estudiada cubre aproximadamente 250 ha con bosque de encino abierto de clima semiárido, también conocido como pastizal arborescente. La distribución de este tipo de vegetación es frecuente en las faldas de la Sierra Madre Occidental (CONABIO, 2014). A diferencia de un bosque templado de encino, en un pastizal arborescente los árboles se encuentran muy dispersos con densidades muy variables en el terreno. El área tiene una elevación entre 1600 a 1800 msnm. Una temperatura media anual entre 14 y 17 °C y una precipitación media anual de 395 mm. Predomina el *Quercus emoryi* Torr. y *Quercus arizonica* Sarg. asociados con zacates de hábito amacollado (Royo y Melgoza, 2001). En el inventario forestal se utilizó un muestreo sistemático con una intensidad del 1 %, por lo que se levantaron 25 sitios circulares de 0.1 ha en la superficie de 250 ha. En cada sitio se tomaron las coordenadas centrales del sitio y de cada árbol, se midió el diámetro normal (cm), altura total (m) y diámetro de copa (m) en dos direcciones N-S y E-O. En total se midieron 136 árboles en los 25 sitios.

Para la captura de imágenes se utilizó un dron DJI Phantom® 4 PRO V.2.0. equipado con una cámara digital que captura imágenes en el espectro visible (RGB) de 20 Megapixeles. La altura de vuelo fue de 180 m con una resolución de 4.0 cm por pixel y un traslape de imágenes del 75 % de frente y 60 % en los laterales. Se realizaron cuatro vuelos el 26 de octubre de 2023, cada uno cubriendo un área aproximada de 64 ha. Los vuelos fueron programados en la aplicación DroneDeploy y para la obtención y análisis de los ortomosaicos se utilizó el software libre OpenDroneMap, SAGA GIS® v.7.8.2 y QGIS® v.3.28.15. En cada vuelo se obtuvo el Modelo Digital de Superficie (MDS), Modelo Digital de Elevación (MDE) y Ortomosaico, todos con una resolución de 15 cm por pixel. Para la delimitación automática de la cobertura de copas se utilizaron las tres bandas del ortomosaico, Rojo, Verde y Azul. Con estas capas y mediante procesos de algebra de mapas se obtuvo el índice GLI (Green Leaf Index). GLI = ((GREEN – RED) + (GREEN – BLUE)) / ((2 * GREEN) + RED + BLUE) (Lussem et al., 2018). Después de aplicar el índice se buscó el umbral del valor digital de los pixeles que corresponden a las copas, para separarlos del resto de la vegetación y se reclasificó la imagen con valores de 1 para árboles y 0 para el resto de la imagen. Posteriormente se agruparon los pixeles con valores de 1 y se convirtieron a polígonos. Finalmente, se eliminaron aquellos polígonos muy pequeños que no eran árboles o no eran parte de la copa de los árboles. Este proceso dio como producto final una capa de polígonos que representan la cobertura arbórea en toda la imagen. Para la comparación con el inventario forestal se seleccionaron aquellos polígonos que correspondían a los árboles ubicados dentro de los 25 sitios de muestreo. Finalmente, se compararon las medias de las diferencias de las áreas de copa por sitio, en los 25 sitios, utilizando una prueba de t para muestras pareadas. Todos los análisis estadísticos fueron realizados en el software R.

Para la estimación de la altura primero se identificaron los árboles de forma individual. Se utilizó el método de segmentación de imágenes por cuencas (Soor, et al., 2019), que consiste en utilizar un ráster de alturas, el cual se obtuvo al sustraer el MDE del MDS, para delinear la copa individual de cada árbol y extraer su punto más alto. Antes de la segmentación se aplicó un suavizado de imagen mediante un filtro gausiano para remover valores extremos. El grado de suavizado es determinado por la desviación estándar y el radio de búsqueda para cada punto de mayor altitud. Se probaron diferentes valores de desviación estándar y radio hasta que el número de árboles identificados por el algoritmo fue similar al número real identificados en campo mediante el inventario.

Una vez identificados los árboles se extrajo el punto de mayor altitud, derivado del ráster de alturas. Este método, más los errores del dron sin RTK subestimó las alturas, por lo que las alturas del dron fueron ajustadas con una ecuación lineal derivada de las alturas reales del inventario y las alturas estimadas (sin ajuste) del dron. El modelo lineal de ajuste fue generado con el 80 % de los árboles medidos en el inventario y fue validado con el 20 %. Al modelo se le evaluó su capacidad de predecir alturas mediante el sesgo promedio absoluto (Ē) en metros y la diferencia agregada en porcentaje (DA %) (Hernández et al., 2019). Para determinar si las alturas ajustadas fueron significativamente diferentes de los datos del inventario, se comparó la media de las diferencias mediante una prueba de t para muestras pareadas.

Resultados y discusión

La copa de los árboles fue segregada del resto de vegetación utilizando un índice GLI > 0.03. La delimitación de las copas en el ortomosaico confirmó la efectividad del índice GLI para la discriminación de copas, pues de acuerdo con Agapiou (2020), el índice GLI presenta gran sensibilidad a la hora de identificar todos aquellos elementos verdes y oscuros (Figura 1). No obstante, es importante señalar que los vuelos fueron realizados en el otoño, condición que facilitó el proceso para la delimitación, pues la vegetación que rodea a los árboles se encuentra en tonalidades amarillentas. Este proceso podría ser diferente para la época de verano y para otras especies de árboles caducifolios, por lo que es factible considerar estudios bajo estas condiciones en el futuro.

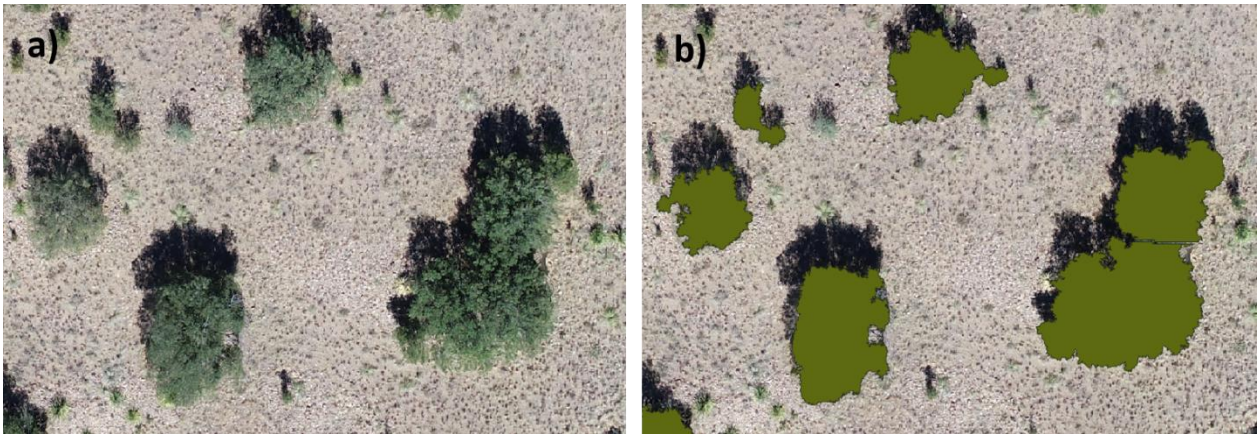


Figura 1. a) Imagen con algunos árboles de encino; y b) delimitación de la cobertura de copas mediante el índice GLI.

El análisis estadístico indicó diferencias significativas entre las áreas de copa de los 25 sitios determinadas por el inventario forestal y las estimadas por el dron (p=0.012) (Cuadro 1). El promedio de cobertura de copas mediante el inventario fue de 149.4 m^2, el cual fue mayor a los 123.8 m^2 estimados mediante las imágenes del dron. Esta diferencia posiblemente se debe al traslape de copas, pues en el inventario se miden los diámetros de copa a nivel individual, independientemente del traslape de copas, y para calcular el área se asume que la copa es un círculo. En cambio, la cobertura arbórea determinada mediante el dron es calculada de forma cenital sin considerar el número de árboles y el traslape de copas. Con base en estas consideraciones, se asume que la superficie obtenida mediante las imágenes del dron es más exacta en términos de cobertura arbórea. Es decir, no hay sobreestimaciones al medir sólo aquella superficie del suelo que está cubierta por la copa de los árboles. Extrapolando los resultados mediante el inventario se obtuvo una cobertura total de 14.2 % (35.6 ha) en las 250 ha, mientras que con el dron la cobertura arbórea total fue del 10.2 % (25.6 ha).

Cuadro 1. Estadísticas del área de copa por sitio calculada en los 25 sitios de muestreo con el inventario forestal y obtenida con las imágenes del dron.

	Área de copa (inventario) (m^2)	Área de copa (dron) (m^2)
Mínima	27.2	19.5
Máxima	391.7	467.6
Mediana	128.9	110.9
Media	149.4	123.8
Desviación estándar	87.7	94.87

Para el caso de alturas se midieron un total de 136 árboles en los 25 sitios de muestreo. En la identificación individual de los árboles se confirmó que el algoritmo de segmentación por cuencas es muy sensible a los valores de desviación estándar y del radio de copas utilizados durante la suavización del ráster de alturas (Panagiotidis et al., 2017). En este estudio, se realizó una comparación visual entre los árboles identificados en campo y los árboles identificados por la segmentación por cuencas, y el número de desviaciones estándar que tuvo mejores resultados fue de 16, con un radio de 5.5 m. El valor del radio se determinó inicialmente con el radio promedio de copas determinado en el inventario, que fue de 2.8 m. Este valor, al igual que las desviaciones estándar se fueron incrementando hasta obtener un número de árboles similar al número cuantificado en campo. Una vez identificados los puntos centrales de los árboles de forma individual se aplicó un buffer de 2.8 m a cada punto y se extrajo la altura máxima del ráster de alturas. La altura promedio obtenida con esta metodología fueron de 3.2 m (Desv. Est.= 1.65 m), la cual fue menor a la altura promedio real de 5.2 m (Desv. Est.= 1.16 m). Derivado de lo anterior, se obtuvo una ecuación de ajuste utilizando el siguiente modelo lineal (R^2=0.62, p<0.0001): AR=0.36235*AE + 4.089912. Dónde: AR= altura real y AE=altura estimada. El sesgo promedio absoluto fue de 0.8 m y la diferencia agregada fue de 15.9 %. El análisis estadístico no indicó diferencias significativas entre las alturas determinadas por el inventario forestal y las estimadas por el dron (p=0.0.003) (Cuadro 2). El promedio de altura mediante el inventario fue de 5.15 m, el cual fue similar a los 5.16 m estimados mediante las imágenes del dron.

Cuadro 2. Estadísticas de las alturas calculadas en los 27 árboles utilizadas para la validación del modelo mediante sitios de muestreo con el inventario forestal y alturas obtenidas con las imágenes del dron.

	Altura (inventario) (m)	Altura (dron) (m)
Mínima	3.1	4.1
Máxima	7.7	6.3
Mediana	5.0	5.3
Media	5.15	5.16
Desviación estándar	1.33	0.68

Conclusiones

Es factible estimar la cobertura arbórea en imágenes capturadas en el espectro visible (RGB), utilizando el índice GLI. El inventario forestal sobreestimó la cobertura arbórea debido a que no toma en cuenta el traslape de copas y se asume que la copa es un circulo al obtener un diámetro promedio. Las imágenes generan resultados más exactos debido a la vista cenital y a la delimitación exacta de la forma de la copa del árbol. El método de segmentación por cuencas generó resultados satisfactorios en la identificación individual de los árboles. No obstante, esta identificación automática es muy sensible a los valores de desviación estándar y del radio utilizados durante la suavización del ráster de alturas, por lo que es importante el conocimiento de la estructura del bosque en el campo para la toma de decisiones.

Es posible estimar la altura de los árboles con un dron sin el sistema RTK, siempre y cuando se cuente con información de alturas en campo para la calibración, ya que los errores sin calibrar son altos. La comparación entre los datos de campo y los datos obtenidos del dron indican que es posible utilizar estas herramientas como una forma rápida y efectiva de caracterizar los bosques de encino.

Referencias

Agapiou, A. (2020). Vegetation Extraction Using Visible-Bands from Openly Licensed Unmanned Aerial Vehicle Imagery. *Drones*, 4(2), 27.

Bautista, Z. F., Delfín, G. H., Palacio, P. J.L. & Delgado, C. M del C. (Eds.). (2011). Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México, 507 p.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2014). La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Diez, Y., Kentsch, S., Fukuda, M., Caceres, M. L. L., Moritake, K., & Cabezas, M. (2021). Deep learning in forestry using UAV-acquired RGB data: A practical review. *Remote Sensing*, 13(14), 2837.

Hernández-Ramos, A., Cano-Pineda, A., Flores-López, C., Hernández-Ramos, J., García-Cuevas, X., Martínez-Salvador, M., & Martínez Ángel, L. (2019). Modelos para estimar biomasa de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. en seis municipios de Coahuila. *Madera y bosques*, 25(2).

Lussem, U., Bolten, A., Gnyp, M.L., Jasper, J. & Bareth, G. (2018). Evaluation of RGB-based vegetation indices from UAV images to estimate forage yield in grasslands. *Remote Sens Spatial Inf Sci*, 42, 1215-1219.

Orozco, L. & Brumér, C. (Eds.). (2002). Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Manual Técnico No. 50. Turrialba, C.R. CATIE. 264 p.

Panagiotidis, D., Abdollahnejad, A., Surový, P., & Chiteculo, V. (2017). Determining tree height and crown diameter from high-resolution UAV imagery. *International journal of remote sensing*, 38(8-10), 2392-2410.

Quiñonez-Barraza, G., De los Santos-Posadas, H. M., Cruz-Cobos, F., Velázquez-Martínez, A., Ángeles-Pérez, G., & Ramírez-Valverde, G. (2015). Índice de sitio con polimorfismo complejo para masas forestales de Durango, México. *Agrociencia*, 49, 439-454.

Royo M., M. H.& Melgoza, A. C. (2001). Listado florístico del Campo Experimental La Campana y usos de su flora. *Técnica Pecuaria Mexicana*, 39(2), 105-125.

Soor, S., Challa, A., Danda, S., Sagar, B. D., & Najman, L. (2019). Iterated watersheds, a connected variation of k-means for clustering GIS data. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 9(2), 626-636.

IDENTIFICACIÓN DE COSTRAS BIOLÓGICAS DEL SUELO MEDIANTE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA Y VUELOS NO TRIPULADOS EN TERRENOS AGRÍCOLAS DEGRADADOS

José Israel Casas-Flores[1]*, Francisco Guadalupe Echavarria Chairez[1], Carlos Alberto Martínez Hernandez[2], Alfonso Serna-Pérez[1]

[1]INIFAP-Campo Experimental Zacatecas, Calera Zac.,[2]Universidad Autónoma Chapingo – CRUCO, Mich. *Autor para correspondencia: casas.israel@inifap.gob.mx

Introducción

Zacatecas enfrenta un problema de degradación del suelo en sus tierras de pastoreo y agrícolas. Esta degradación ha disminuido la producción de materia seca y ha afectado negativamente la condición del pastizal y el matorral (Echavarría et al., 2009; Serna y Echavarría, 2007; Vallejo, 2015). Una posible solución a este problema son las costras biológicas del suelo (CBS). Estos organismos, compuestos de hongos, cianobacterias, líquenes, briofitas y algas, viven en la capa superficial del suelo y pueden ayudar a mejorar la fertilidad y la estabilidad del suelo (Belnap et al., 2001; Quiñones et al., 2009; Rivera-Aguilar y Manuell-Cacheux, 2004), ya que las bacterias autótrofas presentes en las CBS pueden fijar nitrógeno y captar carbono, contribuyendo a la salud del suelo y la vegetación nativa. Aunque las CBS se asocian comúnmente con pastizales y matorrales, también pueden encontrarse en áreas agrícolas degradadas con actividad agrícola reducida o nula. En este estudio se presenta la cuantificación de CBS mediante el uso de técnicas de teledetección, principalmente la denominada clasificación supervisada, que es un procedimiento empleado para la identificación de áreas espectralmente similares dentro de una imagen, mediante un método paramétrico. Mediante el uso de diferentes métodos estadísticos de identificación, que permiten su detección en áreas agrícolas. La identificación de CBS se realiza con la finalidad de utilizar los valores multiespectrales que genere la identificación, para extender la identificación de las costras hacia otros sitios, por medio de imágenes de mayor tamaño generadas por un vehículo no tripulado (dron) y realizar la identificación de las mismas con un mínimo esfuerzo, con el propósito de verificar su establecimiento y crecimiento y corroborar los servicios ambientales que pueden proporcionar en estas áreas degradadas.

Materiales y métodos

El área de estudio se encuentra dentro del Campo Experimental Zacatecas del INIFAP, ubicado a 22.915116° Latitud y -102.666737° Longitud, a una altitud de 2,179 m. Desde el año 2007, se estableció un módulo de 9.5 ha de suelo, consideradas de baja productividad, en las que se trazaron curvas a nivel y se aplicaron cinco diferentes grados de laboreo y manejo, con la intención de detectar cambios a través del tiempo y generar recomendaciones para reconversión de sitios degradados, en otra franja se estableció sotol (*Dasylirium cedrosanum*) que es el tratamiento 2 y en las franjas se sembraron pastos nativos (navajita y banderilla), y en dos franjas se establecieron nopales (nopal forrajero), que corresponden a los tratamientos 4 y 5, en los que se realiza actividad agrícola anual de temporal. Un sexto tratamiento corresponde al testigo que es un terreno aledaño sin curvas y sin matorrales, con reducida actividad agrícola y en menor estado de degradación. Para este trabajo se utilizó un área de 0.31 ha perteneciente al tratamiento 3. Dentro de esta área se limpió y marcaron CBS, con objetivos fluorescentes, Figura 1, con la intención de mediante un Dron Phanton 4 Multiespectral de la marca DJI, volando a una altura de 19 m, obtener un ortomosaico multiespectral (Bandas Rojo, Verde, Azul, Infrarrojo cercano y Borde rojo) con una resolución de pixel de 1X1 cm, Figura 2, con la intención de ayudar a la selección de puntos de entrenamiento para la detección de las mismas.



Figura 1. Identificación de CBS en área de estudio.

A)



B)

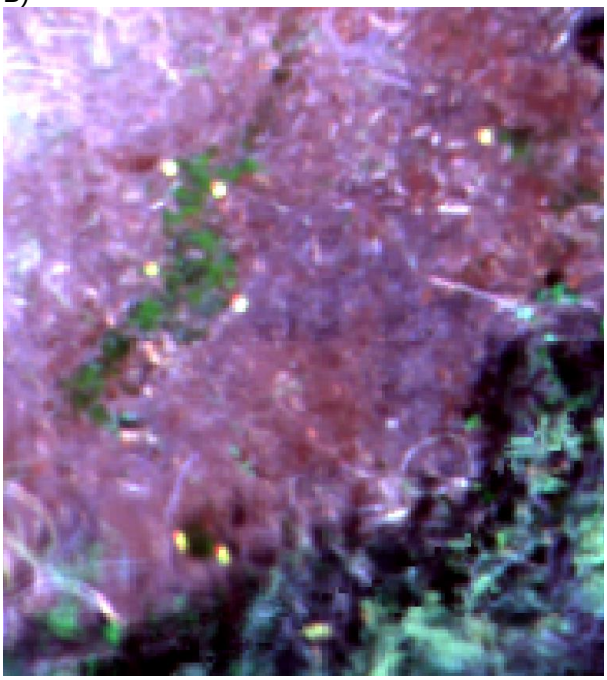


Figura 2. A) Ortomosaico Multiespectral del Área de Estudio, B) Identificación de CBS dentro de imagen de mosaico multiespectral.

Para ayudar a la identificación de las CBS y evitar confusión, se realizó la identificación de otras clases dentro de la cobertura del suelo del área, estas fueron: CBS, Suelo Húmedo, costilla de vaca (*Atriplex cannecens*), residuos orgánicos, pasto y plantas anuales. Para identificar las clases de la cobertura del suelo se procedió a crear un mapa de vectores (shape) con polígonos de entrenamiento en el Software QGIS para cada uno de los componentes de la cobertura. Se realizaron 1891 puntos de entrenamiento para el área de estudio, de las cuales 167 puntos fueron para las CBS. El análisis de las imágenes se realizó con el Software ORFEO ToolBox (CNES, 2006). Con la herramienta TrainImagesClassifier, a partir de la imagen del área y el mapa de vectores, se eligieron cuatro modelos de entrenamiento y clasificación (Wang et al., 2004). 1) Clasificador del árbol de decisión, 2) Clasificador Random forests, 3) Clasificador KNN ó método de los vecinos más cercano y 4) Clasificador Normal Bayes. Una vez generado cada uno de los modelos, se usó la herramienta ImageClassifer para clasificar la imagen del área seleccionada.

Para estimar la precisión de cada modelo de clasificación se calculó la matriz de error o matriz de confusión (Jensen & Lulla, 1987), la cual compara los resultados de la clasificación frente a áreas verdaderas del terreno, especificando el número total de píxeles de referencia que siendo de un tipo dado han sido asignados a cada una de las clases (Corts et al., 2010). Para ello se generó la matriz de confusión de cada uno de los modelos utilizando la herramienta ComputeConfusionMatrix de ORFEO, que en el mismo procedimiento genera el índice Kappa. Este índice representa una medida de concordancia o precisión con rangos que varían desde -1 a +1. Los rangos de precisión son: mayor a 0.80 precisión fuerte, de 0.40 a 0.80 precisión moderada y precisión pobre menor a 0.40.

Resultados y discusión

A partir del procesamiento de la imagen y cada uno de los modelos de clasificación, se obtuvieron los mapas de cobertura de suelo. En la Figura 3, se muestra la cobertura de vegetación para cada modelo en donde se detectó CBS.

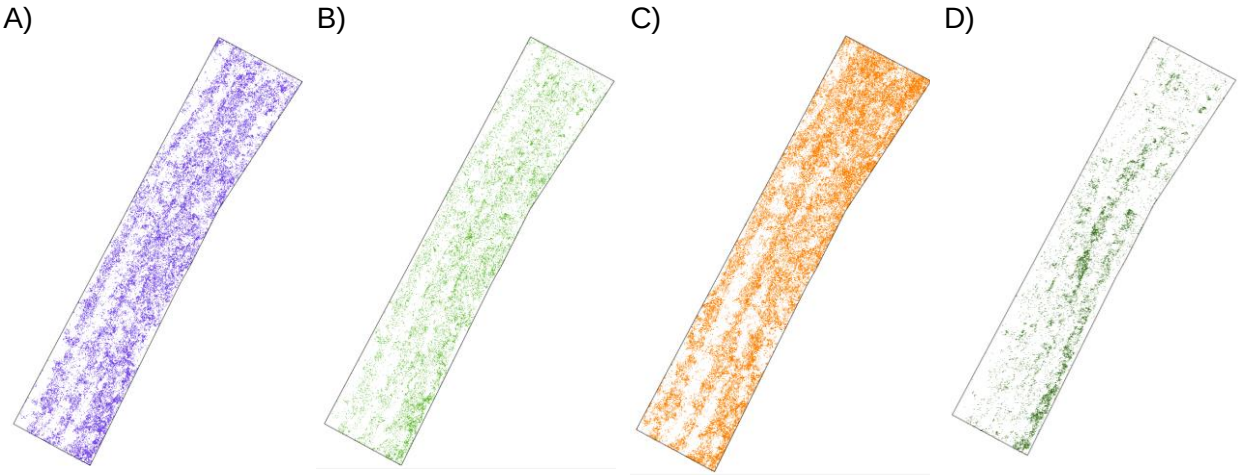


Figura 3. A) Vecinos Cercanos, B) Árbol de Decisiones, C) Random Forest, D) Normal Bayes

En el Cuadro 1, se puede ver como el modelo Random Forest, es el que peor índice de precisión muestra tanto para el modelo con todas las clases de cobertura vegetal, como una baja precisión solo para la cobertura de CBS. Los modelos de Vecinos cercanos y Árbol de decisiones tienen un índice de precisión similar tanto para el modelo completo con todas las clases de cobertura vegetal como para la cobertura de CBS y finalmente el modelo Normal Bayes, tiene una alta precisión para el conjunto de todas las coberturas y aun una mayor precisión para solo la clase CBS.

Cuadro 1. Porcentaje de precisión para cada modelo de clasificación para el área de estudio.

Clasificado	Índice de Precisión conjunto de clases	Índice de Presión para clase CBS
Vecinos Cercanos	86.46 %	84.06 %
Árbol de Decisiones	84.16 %	84.31 %
Random Forest	72.55 %	55.65 %
Normal Bayes	93.67 %	97.23 %

La regla de decisión para elegir el modelo que mejor precisión tiene es que el índice Kappa debe ser mayor a 0.80. Para la mayoría de los modelos probados el valor de Kappa cumple con la regla decisión, excepto para Random Forests, el cual presenta un índice kappa menor (Cuadro 1). El modelo Normal Bayes es el que presentó el mayor índice Kappa, por lo que es el modelo más adecuado para estimar la cobertura de CBS en el área de estudio.

Conclusiones

La cobertura de CBS en el área de estudio pudo ser estimada con una alta precisión en tres de los cuatro modelos de clasificación usados, ya que los índices Kappa de cada una de ellas fueron mayores al valor de comparación de 0.80. El modelo Normal Bayes presentó el mayor índice de precisión para el conjunto de clases y aún una mayor precisión para la cobertura de CBS, esta metodología puede ser utilizada para evaluar el porcentaje de cobertura por CBS y determinar los servicios ambientales que éstas están aportando al suelo.

Referencias

Belnap J, Budel B, Lange O.L. (2001). Biological soil crusts: characteristics and distribution. En: Belnap J, Lange OL (eds) Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management. Springer-Verlag, Berlin, 3–30 pp.

Corts, N., Navarro, M., Antonio, J., Pardo, V., & Bisbal, Y. (2010). Clasificación Periódica DeCoberturas Terrestres a Escala Regional Con Imágenes Modis. Geofocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica, 0(10), 1–17. http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/190/46

Echavarría C., F.G., G. Medina G., A. F. Rumayor R., A. Serna P., H. Salinas G., J.G. Bustamante W. (2009). Diagnóstico de los recursos naturales para la planeación de la intervención tecnológica y el ordenamiento ecológico. INIFAP. CIRNOC. Libro Técnico Nº10.

Jensen, J. R., & Lulla, K. (1987). Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. Geocarto International, 2(1), 65. https://doi.org/10.1080/10106048709354084

Quiñones V.J.J., P.Castellanos E, C.M.Valencia C, J.J. Martínez R, T. Sánchez O., C.A. Montes G. (2009). Efecto de la costra biológica sobre la infiltración de agua en un pastizal. TERRA Latinoamericana 27(4):287-293.

Rivera-Aguilar, V., I. Manuell-Cacheux. (2004). Las costras biológicas del suelo y las zonas áridas. Ciencias, julio-septiembre, 24-27.

Serna P.A., F.G. Echavarría C. (2007). Niveles de degradación del suelo de un pastizal semiarido: II Diferencias en productividad. IV Simposio internacional de pastizales. San Luís Potosí, S.L.P. 2007:163-171.

Vallejo D.J. (2015). Orígenes de la estrategia de reconversión productiva en Zacatecas. IN: Echavarria C.F.G. Reconversión productiva para el ordenamiento agropecuario. Centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria. Honorable Cámara de Diputados LXII Legislatura / Congreso de la Unión Av. Congreso de la Unión, núm. 6. Col. El Parque, 15960 México, D.F.

Wang, C., Qi, S., Niu, Z., & Wang, J. (2004). Evaluating soil moisture status in China using the temperature–vegetation dryness index (TVDI). Canadian Journal of Remote Sensing, 30(5), 671– 679. https://doi.org/10.5589/M04-029

PROPIEDADES ANTIOXIDANTES Y NIVELES DE COMPUESTOS DE ACEITE ESCENCIAL DE ORÉGANO PROVENIENTE DE DOS ENTIDADES DE MÉXICO

Julio César Ríos-Saucedo[1*], Rigoberto Rosales-Serna[1], Sahian Enitze Velazquez-Quiñones[2], Mayra Denise-Herrera[3]

[1]INIFAP – Campo Experimental Valle del Guadiana. Carretera Durango – El Mezquital km 4.5 Durango, Dgo., México. C. P. 34170. [2]ITD – Unidad de Posgrado e Investigación y Desarrollo Tecnológico, Av. Tecnológico 170, S/C, C.P. 34080, [3]INIFAP- Campo Experimental Zacatecas Carretera Fresnillo-Zacatecas km 24, Calera de V.R., Zacatecas, México C.P. 98500. *Autor de correspondencia: jriossaucedo@hotmail.com

Introducción

El orégano (*Lippia* spp.) es un grupo de especies silvestres, endémicas y ecológicamente exitosas en varias regiones de México, donde son utilizadas para generar empleo y beneficios económicos para las comunidades marginadas. El orégano (*Lippia* spp. *graveolens* Kunth) es una especie arbustiva, perenne y endémica de varias entidades de México, todas ellas, ubicadas en la región del Altiplano Semiárido y algunas áreas de la zona serrana del sur de Durango. En esta entidad, se ha fomentado la recolección de orégano, para la obtención de las hojas que son apreciadas por su calidad cuando se utilizan como condimento alimenticio. Con ello, se generan recursos económicos que contribuyen al mejoramiento del nivel de vida de la población de áreas marginadas de diferentes entidades de México. También, se ha reforzado el uso integral de esta planta silvestre en la industria de los cosméticos, fármacos y licores; motivos que, lo han convertido en un producto de exportación. Se considera que los efectos que tiene el ambiente sobre la fenología y fisiología de la planta de orégano influyen en la acumulación de los metabolitos secundarios presentes en las hojas, tallos y flores del orégano.

Las condiciones meteorológicas registradas el ciclo previo y actual de colecta de los tallos, hojas y flores influyen sobre la acumulación de los compuestos que proporcionan al orégano su calidad alimenticia e industrial. La técnica de arrastre de vapor es considerada la más difundida para la extracción de aceites esenciales a partir del orégano colectado en Durango. Los componentes químicos principales del aceite esencial de orégano son carbohidratos, alcoholes, etér, aldehídos y cetonas, los cuales son responsables de las fragancias y de las propiedades biológicas de las plantas arómáticas y medicinales (Yañes et al., 2013). Algunos de los metabólitos secundarios más importantes que están presentes en el orégano en proporciones altas son limoneno, canfor, linanol, carvacrol, $\boldsymbol{\rho}$-cimeno, timol, 3-tert-butil-4-hidroxianisol, óxido de cariofileno, α-pineno y $\boldsymbol{\beta}$-cariofileno (Arcila et al., 2003; Arango et al., 2012; Galván et al., 2023). El objetivo fue evaluar el rendimiento y las propiedades antioxidantes del aceite esencial de orégano proveniente de dos entidades de México.

Materiales y métodos

Colecta de material vegetal. Entre los meses de octubre y noviembre de 2022, se colectaron tallos finos y hojas de plantas de orégano en el Ejido Troncón y Agua Zarca municipio de El Mezquital, en el sur de Durango y en el Ejido Adjuntas de Xichú, Xichú, Guanajuato (Cuadro 1). El clima de los sitios de corte es templado semiárido $BS_{1,}$ con régimen de lluvias en verano. El corte de tallos se realizó a 15 cm del suelo y las estructuras vegetativas fueron secadas de manera natural “al sol” y almacenadas hasta su procesamiento.

Cuadro 1. Información relacionada con el sitio de colecta de plantas de orégano en dos entidades de México.

Entidad	Municipio	Coordenadas	Clima[1]	Etapa de Corte
Durango	El Mezquital	23° 51’ 93.9’’ N 104° 41’ 96.4’’	TS	Floración
Guanajuato	Xichú	21° 20’ 51.6’’ N 99° 57’ 33.8’’	TS	Floración

[1]TS= templado semiárido.

Extracción de aceite esencial. Luego del secado todas las estructuras obtenidas de las plantas de orégano, se utilizaron para la extracción de aceite esencial por arrastre de vapor de agua en un destilador modelo Ram-67. Las condiciones de operación del equipo de extracción fueron tiempo de 2 h, densidad de lecho 80 g/L y presión de vapor de 0.32 PSI. Se obtuvo un rendimiento de 3.27% p/p (g de aceite/100 g de hojas).

Análisis de la composición del aceite esencial. Se realizó mediante el uso de un cromatógrafo de gases Shimadzu GC 17A versión 3, equipado con un inyector split/splitless a temperatura de 250 °C, relación split 1:100 y un detector de ionización en llama (FID) (280 °C). Los datos cromatográficos fueron adquiridos y procesados con un programa ShimadzuClass VP 4.3. Para la separación de mezclas se utilizó una columna apolar DB-5 (J&W) de 30 m x 0,25 mm D.I. y 0,25 µm de una fase estacionaria de 5% fenil-polietilsiloxano. La temperatura del horno fue programada de 40 °C (5 min) hasta 250 °C a 5 °C min^{-1}.

Determinación del contenido de fenoles totales. El contenido de fenoles totales se determinó por el método de Folin-Ciocalteu. Este método cuantifica el poder reductor de los compuestos fenólicos sobre el reactivo Folin-Ciocalteu, mediante la formación de un complejo azul que se evalúa en el espectrofotómetro a 750 nm. (Singleton, Orthofer, & Lamuela-Raventos., 1999).

Evaluación de la actividad antioxidante. La capacidad de captura de radicales libres de los aceites esenciales se determinó mediante los métodos espectrofotométricos de DPPH (difenil, picrilhidracilo), ABTS (azinobis-etil-benzotiazolina-sulfónico), ORAC (oxygen radical absorbance capacity) y FRAP (ferric reducing antioxidant power).

Ensayo de DPPH. Se preparó la solución de 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) pesando 2.36 mg de DPPH que se disolvieron en 100 mL de etanol al 80%. Se tomaron 30 µL de cada una de las concentraciones de aceite esencial y se agregaron a 5 µL de la muestra en una placa de 96 pozos, se adiciono 150 µL de la solución de DPPH se realizó una lectura al tiempo 0 así como después de una incubación de 30 min a temperatura ambiente, registrándose ambas lecturas a 515 nm.

Ensayo ABTS. Para la determinación de capacidad antioxidante expresada como atrapaminto del radical ABTS se siguió la metodología establecida por Re et al., 1999. Donde para la preparación del radical se mezclaron 19.2 mg de ABTS (2,2´-azinobis-3-etil-benzotiazolina-6-sulfónico) aforado a 5 mL [7mM] y 3.31 mg de persulfato de potasio aforado a 5 mL [2.45 mM] se mezclaron en relación 1:1 y se incubaron a temperatura ambiente durante 16 h protegido de la luz.

Ensayo ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity). Se determinó por la metodología descrita por Ou et al., (2001), con algunas modificaciones (6,16-17). Se realizó en buffer de fosfatos [7.5 mM] (pH 7,4) a 37°C, usando una solución de fluoresceína [0.108 µM] y AAPH [79.65 mM].

FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power). Para la determinación de potencial reducción de atrapamiento férrico (FRAP) se llevó a cabo la metodología establecida por Benzie et al. (2014). Este ensayo se basa en la reducción rápida de la tripiridiltriazina férrica (TPTZ) por los antioxidantes presentes en las muestras que forman la tripiridiltriazina ferrosa (FeII-TPTZ).

Resultados y discusión

Composición del aceite esencial de orégano. Los componentes mayoritarios presentes en el aceite esencial del orégano colectado en Durango, fue: carvacrol (2,934.5 µg/mL) y en un nivel inferior el compuesto timol (16.3 µg/mL). En el caso de Guanajuato se observó un nivel inferior de carvacrol (66.5 µg/mL), comparado con Durango; sin embrago, registró un nivel alto de timol (593.6 µg/mL *Vs*. 16.3 µg/mL). Los resultados mostraron variación en la composición de los aceites esenciales obtenidos a partir del orégano colectado en Durango y Guanajuato. Es posible que el método de secado del orégano, técnica de extracción de aceite y la parte de la planta usado durante el proceso hayan influido sobre el rendimiento y composición de los aceites esenciales (Leyva et al., 2017).

El orégano colectado en Durango, mostró niveles altos de fenoles totales 1,940 mEAG/mL^{-1} y de éstos los flavonoides mostraron una proporción más alta 227.9 mEAG mL^{-1}. En ambos componentes se observó nivel significativamente bajo en Guanajuato, debido principalmente a la cosecha del material biológico durante la época de lluvias, cuando el nivel de estrés ambiental es inferior al observado en Durango. En esta entidad se inicia la temporada seca desde octubre y se registra también el descenso de la temperatura, lo que fomenta la acumulación de metabolitos secundarios.

Cuadro 2. Información relacionada con el sitio de colecta de plantas de orégano en dos entidades de México.

Entidad	Carvacrol (µg mL^{-1})	Timol (µg mL^{-1})	Fenoles Totales (mEAG mL^{-1})	Flavonoides (mEAG mL^{-1})
Durango	2,935±90	16±2	1,940± 58	227.9±19.7
Guanajuato	67±13	594±10	429±	27.7 ± 1.7

Evaluación de la actividad antioxidante. En todos los ensayos de actividad antioxidante, se observó superioridad del aceite esencial de orégano obtenido en Durango con niveles registrados entre 183.9 CAET mM mL^{-1} en FRAP hasta 1,558.2 CAET mM mL^{-1} para ORAC. Los resultados muestran que la recolecta de orégano luego del rebrote y antes de la época de lluvias, incrementó los niveles de los compuestos bioactivos presentes en la planta de orégano.

Cuadro 3. Información relacionada con el sitio de colecta de plantas de orégano en dos entidades de México.

	ABTS	DPPH	FRAP	ORAC
Entidad	CAET mM mL^{-1}	CAET mM mL^{-1}	CAET mM mL^{-1}	CAET mM mL^{-1}
Durango	1,346.7± 66.8	963.1 ± 27.7	183.9 ± 0.7	1,558.2 ± 60.1
Guanajuato	127.2 ± 5.7	2.7 ± 0.0	35.4± 0.8	333.3 ±13.9

Conclusiones

La recolección de orégano luego del rebrote y antes de la época de lluvias, incrementó los niveles de los compuestos bioactivos presentes en la planta de esta especie usada como condimento y fuente de antioxidantes naturales.

La recolección de orégano en Durango, durante la época seca del año, produjo cantidades altas de compuestos bioactivos.

Es posible que el método de secado del orégano, técnica de extracción de aceite y la parte de la planta usado durante el proceso hayan influido sobre el rendimiento y composición de los aceites esenciales.

Referencias

Arango B., O., D. Pantoja D., L. Santacruz C., & A. M. Hurtado B. 2012. Actividad antioxidante del aceite esencial de orégano (*Lippia origanoides* H. B. K.) del Alto Patia. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial 10(2): 79-86.

Arcila L., A. C., G. Loarca P., S. Lecona U., & E. González de M. 2004. El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 54(1): 100-111.

Benzie, I. F., & Choi, S. W. (2014). Antioxidants in food: content, measurement, significance, action, cautions, caveats, and research needs. *Advances in food and nutrition research*, *71*, 1-53.

Galván C., Z., G. Ramos C-M., J. E. Marzalek, & G. Vargas G. 2023. Revisión sobre el orégano mexicano *Lippia graveolens* HBK. (Sinonimia *Lippia berlandieri* Schauer) y su aceite escencial. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos 8: 861-871.

Leyva L., N., E. P. Gutiérrez G., G. Vazquez O., & J. Basilio H. 2017. Essential oils of oregano: biological activity beyond their antimicrobial properties. Molecules 22(6): 989.

Ou, B., Hampsch-Woodill, M., & Prior, R. L. (2001). Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *Journal of agricultural and food chemistry*, *49*(10), 4619-4626.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, *26*(9-10), 1231-1237.

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, *299*, 152-178.

Yáñez C., L. G., J. J. Escobar P., A. G. Campos V., & A. Flores H. 2013. Aprovechamiento del orégano (*Lippia graveolens*) producción de biomasa y rendimiento de aceite esencial extraído por el método de arrastre con vapor de agua en Mapimí, Dgo. Memoria: Resúmenes y artículos en extenso. I Congreso Internacional, IX Congreso Nacional Sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas y VI Reunión Nacional de Orégano y otras aromáticas. Universidad Autónoma Chapingo-Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Dgo., México. pp. 402-413.

Zapata, S., A. M. Piedrahita, & B. Rojano. 2014. Capacidad atrapadora de radicales oxígeno (ORAC) y fenoles totales de frutas y hortalizas de Colombia. Perspectivas en Nutrición Humana 16(1): 25-36.

RESPUESTA DE DOS VARIEDADES DE HIGUERILLA A VARIACIONES EN LA RADIACIÓN FOTOSINTETICAMENTE ACTIVA EN LA COMARCA LAGUNERA

Salma Melissa Flores Márquez[1*], RicardoTrejo-Calzada[1], Jorge Osvaldo Ruelas- Arroyo[1], Jorge Alonso Maldonado Jaquez[2], Saúl Santana Espinoza[2]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Km. 40 Carr. Gómez Palacio - Chihuahua, Bermejillo, Dgo. CP 351230. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – Campo Experimental La Laguna. Boulevard José Santos Valdez 1200 Pte. Matamoros, Coah., México. C. P. 27440
*Autor de correspondencia: al17107405@chapingo.mx

Introducción

La higuerilla (*Ricinus communis* L.) representa un cultivo de importancia en la producción de biodiesel, es una planta oleaginosa de semillas no comestibles que se ha llevado a la explotación del potencial del ricino (Lavanya et al., 2012). Al igual que la semilla, el aceite de ricino tampoco es comestible y es utilizado principalmente para aplicaciones farmacéuticas e industriales. (Severino et al., 2012). Esta planta es ampliamente cultivada en regiones tropicales y subtropicales en China, Tailandia, Etiopia y Filipinas (Ribeiro et al., 2014) y tiene un enorme valor comercial debido a que sus semillas contienen altos porcentajes de aceite en un rango que va de 40 a 55% del peso seco (Scholz y Silva, 2008). Existen factores del ambiente que determinan la actividad fotosintética de las plantas, que consta de un conjunto de reacciones químicas por las que se transforma la energía luminosa en energía química y para que esta se lleve a cabo requiere de luz solar y CO_2 presente en el aire. (De Erice y González, 2012).

La biomasa total de la planta se deriva en gran medida del carbono capturado en la fotosíntesis, y esta eficiencia o capacidad fotosintética conduce a una variación en la tasa de crecimiento y productividad. Estos son factores importantes en la competencia de especies y rendimiento (Flood et al., 2011). Una alta eficiencia fotosintética es la base de una producción alta de biomasa y un alto índice de cosecha en higuerilla (Huang et al., 2023). Las curvas de respuesta a luz muestran las características fotosintéticas de las plantas. Estas curvas pueden emplearse para caracterizar la asimilación de CO_2 fotoquímica, fotoaclimatación, fotoinhibición y la cinética de los mecanismos de fotoprotección ante cambios de las condiciones de luz (Coe y Lin, 2018). Además, las curvas de respuesta a luz pueden ser útiles en la caracterización de cultivares y su selección para condiciones específicas de cultivo.

El INIFAP ha desarrollado algunas variedades de higuerilla que se están evaluando en distintas regiones del país. Sin embargo, no se cuenta con estudios relacionados con la respuesta a la radiación fotosintéticamente activa (RFA). Con base en lo anterior, este estudio tuvo como objetivo medir la tasa fotosintética de dos variedades de higuerilla, frente a variaciones en la intensidad lumínica en la región de la Comarca Lagunera.

Materiales y métodos

El trabajo se llevó a cabo en el campo experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACh). Se estableció un experimento con dos variedades de higuerilla (OAX 1 y SAB 14) desarrolladas por el INIFAP en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimenta estuvo constituida por cinco surcos de 1.3 m y una distancia entre plantas de 0.9 m Se realizaron mediciones en una planta de cada una de las repeticiones. La medición de la tasa fotosintética se llevó a cabo con un equipo portátil de intercambio gaseoso a base de rayos infrarrojos (IRGA) LI-COR Modelo LI-6400XT.

Para la obtención de respuesta a las variaciones de luz, se utilizó en la modalidad de AUTOPROGRAMA con las siguientes densidades de flujo de fotones de radiación fotosintéticamente activa (PAR): 2000, 1500, 1000, 500, 250, 120, 60, 30, 15 y 0 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. Para la medición se seleccionaron hojas jóvenes completamente extendidas de cada variedad y totalmente expuesta a la luz solar. El análisis estadístico incluyó análisis de regresión para determinar las tasas fotosintéticas máximas, punto de saturación y de compensación de luz.

Resultados y discusión

La máxima tasa fotosintética fue mayor en la variedad OAX 1 y el punto de saturación de luz también ocurrió en esta variedad a mayores densidades de flujo de fotones de RFA, ya que se alcanzó a los 1757 µmol fotones m^{-2} s^{-1} . En tanto, la variedad SAB 14 alcanzó el punto de saturación de luz a 1671 µmol fotones m^{-2} s^{-1} . Además, el rendimiento cuántico máximo de la fotosíntesis es muy similar en ambas variedades. El punto de compensación en ambas variedades es muy parecido ya que en con valores de 52 y 57 µmol fotones m^{-2} s^{-1} para OAX 1 y SAB 14, respectivamente. El rendimiento cuántico medido como la tasa de asimilación de CO_2 por fotones requeridos en ambas variedades fue similar como se identifica en la parte lineal de la curva de respuesta a la luz (Figura 1).

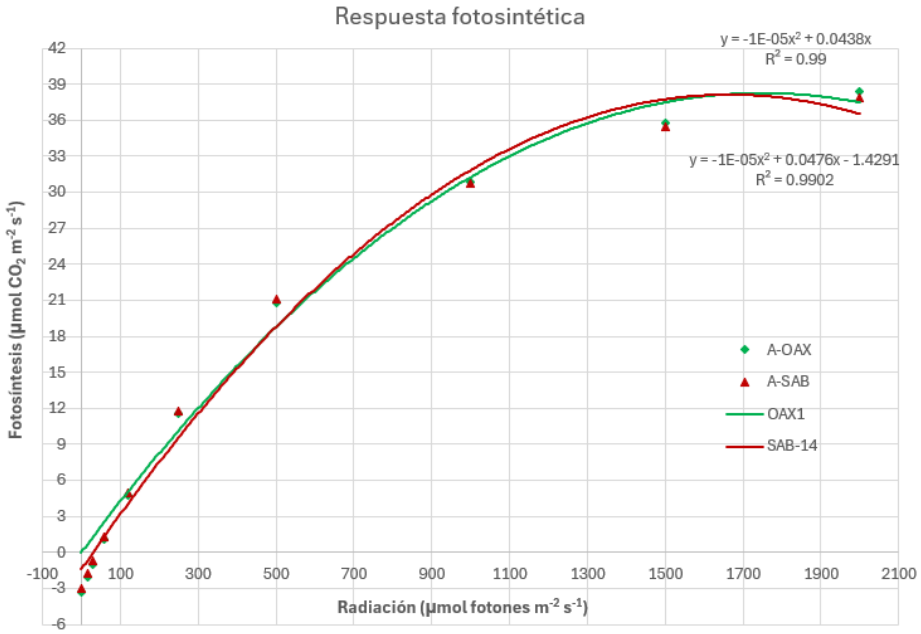


Figura 1. Respuesta fotosintética de las variedades OAX 1 y SAB-14 a diferentes densidades de flujo de fotones de radiación fotosintéticamente activa. Los puntos representan la media de 4 mediciones.

Los puntos de compensación de las variedades OAX 1 y SAB-14 son similares a los reportados por Buendía-Tamariz, et al., (2017) en dos variedades diferentes probadas en la misma región. Sin embargo, los puntos de saturación se encuentran en valores intermedios a los reportados para las variedades Krishna Y Rincón. Los resultados de este trabajo indican que aunque ambas variedades tienen una respuesta parecida a las variaciones en la densidad de flujo de fotones de RFA, la variedad OAX 1 puede tener una ventaja en virtud de que su punto de compensación es relativamente menor, lo que implica que puede tener una fotosíntesis neta a menores densidades de flujo de fotones que la variedad SAB-14.

Además, el punto de saturación de luz mayor en la variedad OAX 1 indica que esta variedad puede mantener fotosíntesis neta a relativamente mayores densidades de flujo de fotones de RFA. La curva de respuesta de las variedades en estudio permite deducir que la variedad OAX pudiera tener ventajas en regiones con altas intensidades de RFA, como la Comarca Lagunera. Esto habría que corroborarlo con la medición de la biomasa y del rendimiento de semilla.

Conclusiones

Las dos variedades evaluadas mostraron actividad de fotosíntesis máxima arriba de 1500 µmol fotones m^{-2} s^{-1}. Ambas variedades pueden tener una buena adaptación a las condiciones de la Comarca Lagunera y en general a las regiones con alta RFA como en las zonas áridas dado que presentan una relativamente alta tasa fotosintética en un amplio rango de RFA. Sin embargo, la variedad OAX 1 puede ser más eficiente por presentar un menor punto de compensación y un mayor punto de saturación de luz.

Referencias

Buendía-Tamariz, M.N., Trejo-Calzada, R. Ávalos, G. (2017). Curva de respuesta a luz de dos variedades de higuerilla en la comarca lagunera. III Congreso Internacional y XIII Congreso Nacional Sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas. (p.191-192)

Coe R.A., Lin H.C. (2018). Light-response curves in land plants. In: Covshoff S, eds. Photosynthesis, Methods in Molecular Biology. New York: Humana Press, pp. 83-94. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7786-4_5

De Erice Zúñiga, E. V., & González Mandujano, J. A. (2012). Biología: La ciencia de la vida (2ª ed.). McGraw-Hill / Interamericana Editores S.A. de C.V.

Flood, P. J., Harbinson, J., & Aarts, M. G. (2011). Natural genetic variation in plant photosynthesis. *Trends In Plant Science*, *16*(6), 327-335. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.02.005

Huang, G., Yin, X., Lu, J., Zhang, L., Lin, D., Xie, Y., Liu, H., Liu, C., Jinying Zuo, J. Zhang. X. (2023). Dynamic QTL mapping revealed primarily the genetic structure of photosynthetic traits in castor (Ricinus communis L.). Scientifc Reports (2023) 13:14071 https://doi.org/10.1038/s41598-023-41241-y

Lavanya, C., Murthy, I., Nagaraj, G., & Mukta, N. (2012). Prospects of castor (Ricinus communis L.) genotypes for biodiesel production in India. *Biomass And Bioenergy*, 39, 204-209. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.01.008

Ribeiro, P. R., Fernandez, L. G., de Castro, R. D., Ligterink, W., and Hilhorst, H. W. (2014). Physiological and biochemical responses of Ricinus communis seedlings to different temperatures: a metabolomics approach. *BMC Plant Biol*. 14:223–237. 10.1186/s12870-014- 0223-5

Severino, L. S., Auld, D. L., Baldanzi, M., Cândido, M. J. D., Chen, G., Crosby, W., Tan, D., He, X., Lakshmamma, P., Lavanya, C., Machado, O. L. T., Mielke, T., Milani, M., Miller, T. D., Morris, J. B., Morse, S. A., Navas, A. A., Soares, D. J., Sofiatti, V., Wang, L., Zanotto, M., Zieler, H. (2012). A Review on the Challenges for Increased Production of Castor. *Agronomy Journal*, *104*(4), 853-880. https://doi.org/10.2134/agronj2011.0210

Scholz, V., and Silva, J. N. D. (2008). Prospects and risks of the use of castor oil as a fuel. *Biomass Bioenergy* 32, 95–100. 10.1016/j.biombioe.2007. 08.004

INTERACCIÓN DE LAS ESPECIES *Juniperus durangensis* Y *Phoradendron juniperinum* ATRAVES DE LA MODELACION DE SUS NICHOS ECOLOGICOS

Margarita Jurado-Pérez[1] , Jesús Josafat Quezada-Rivera[2] , Jorge Luis Becerra-López [2], Ricardo Trejo- Calzada[1]*

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Dgo., Méx. [2]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas, Campus Gómez Palacio. Av. Universidad s/n. Col. Filadelfia, C.P.35010. Gómez Palacio, Dgo., Méx. *Autor de correspondencia: rtrejo@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Los muérdagos son plantas hemiparásitas que se asocian a una gran variedad de árboles alrededor del mundo (Flanders et al., 2024). Para obtener el agua y nutrientes, el muérdago utiliza el xilema de su hospedero, debido a esto, la situación fisiológica del hospedero y del huésped varía dependiendo del ambiente en el que se desarrollan (Glatzel & Geils, 2009). *Phoradendron juniperinum* es el muérdago que más comúnmente se asocia a los árboles de la familia Juniperus (Wiesenborn, 2017). Dentro de los Juniperus encontramos a *Juniperus durangensis* (Táscate), especie endémica de los estados de Durango y Chihuahua (González-Elizondo et al., 2022), el cual, representa el 1.2% en los juníperos del estado durango (Silva-González et al., 2022). Esta es una especie maderera y, se considera un recurso económico importante en el Desierto Chihuahuense. Además de esto, *Juniperus durangensis* se considera una especie hospedera del muérdago de juníperos *Phoradendron juniperinum.* Sin embargo, no existen estudios que reporten la ecología, el nicho y la asociación que se establece entre estas dos especies. El principal objetivo de este trabajo fue establecer el nicho ecológico y la distribución potencial de las especies anteriormente mencionadas, así como también, determinar las variables ambientales involucradas en la asociación del muérdago y el táscate.

Materiales y métodos

Los datos de presencia de las especies *Phoradendron juniperinum* y *Juniperus durangensis* fueron recopilados a partir de la plataforma Global Biodiversity Information Facility (GBIF. https://www.gbif.org/es/). Únicamente se tomaron en cuenta los registros pertenecientes a México. Se llevó a cabo un proceso de depuración de datos, obteniendo un total de 73 registros para *Juniperus durangensis* y 44 registros para *Phoradendron juniperinum*.

Para los datos ambientales se usaron las 19 capas bioclimáticas de World clim 2.1, las cuales, fueron descargadas de los años 1970 al 2000, a una resolución de 2.5 minutos de arco (5 km). Se realizó un proceso de selección de variables, con el fin de establecer el nicho y reducir el error de colinealidad. Para esto, se trabajaron las capas en el software libre Qgis 3.38.2. Fueron generados 2000 puntos de fondo en el polígono mínimo convexo (nicho realizado) a los cuales se les agregaron datos climáticos. Posteriormente se realizó una prueba de normalidad y un análisis de correlación bivariado. Las variables seleccionadas fueron: temperatura media anual (bio1), rango medio diurno (bio 2) estacionalidad de la temperatura (bio4), temperatura media del trimestre más cálido (bio9), precipitación anual (bio12), estacionalidad de la precipitación (bio15), y Precipitación del trimestre más seco (bio17). El modelo fue corrido con el algoritmo MaxEnt 3.3.3k. Previo al modelaje se llevó a cabo un proceso de calibración. Este se realizó con el software estadístico R 4.4.1 con el paquete “ENMeval”. El archivo “asc” resultante del modelaje fue trabajado posteriormente con el software Qgis 3.38.2.

Resultados y discusión

Se obtuvo el modelo de nicho ecológico para la especie de *J. duranguensis* y *P. juniperinum*, los valores de calibración que se utilizaron para ambas especies fueron: un factor de regularización de 1.5, un random test del 10 %, y se utilizaron las funciones “LQH”. El rendimiento del modelo realizado para *J. duranguensis* el rendimiento fue de 85%, mientras que para el modelo de *P. juniperinum* el rendimiento fue de 87%.

Los modelos de nicho (Figura 1) muestran las zonas de idoneidad ambiental para las especies. La mayor distribución se sugiere en las zonas frías de los estados de Durango y Chihuahua. En el caso de Táscate las zonas con mayor idoneidad se distribuyen principalmente en la sierra madre occidental, la sierra madre oriental y la parte alta del estado de Chiapas. Lo anterior coincide con lo reportado por Castro-López, (2020), que indico las mismas zonas de distribución e idoneidad para *J. durangensis*. En el caso del muérdago, se observó que las condiciones ideales para el desarrollo de la especie son los estados de Durango y Chihuahua, principalmente las áreas que abarcan parte de la sierra madre occidental, sin embargo, no existe información previa de modelos de nicho para esta especie, por lo que este reporte se considera una aportación importante en la ecología de *P. durangensis*.

Las zonas de distribución de ambas especies son coincidentes para las zonas de la sierra madre occidental, en los estados de Durango y Chihuahua. Lo anterior indica que la probabilidad de que los Táscates presentes en esas zonas sean parasitados por muérdago es alta, debido a que las condiciones climáticas son ideales para la proliferación de las dos especies.

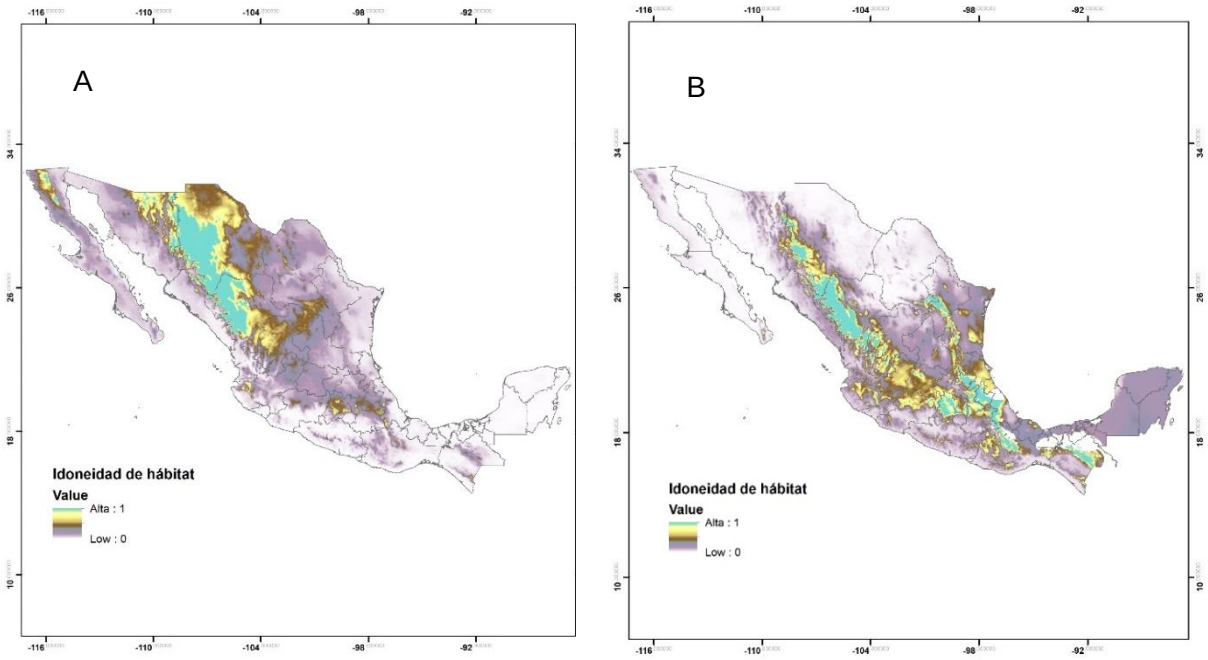


Figura1. Modelo de idoneidad de hábitat para las especies *P. juniperinum* (A) y *J. duranguensis* (B). La idoneidad del hábitat se mide en escala ascendente de 0 a 1, donde 0 es baja idoneidad del hábitat y 1 es alta idoneidad.

En el Cuadro 1 se muestra el análisis de contribución de las variables para ambas especies. La variable con mayor contribución para la presencia de ambas especies fue la temperatura anual media (bio1). En el caso del muérdago de Juniperus, el casi el 79% de la presencia puede ser explicada por la temperatura anual media. La segunda variable con mayor relevancia es la estacionalidad de la temperatura, sin embargo, la contribución de esta es únicamente del 8.45%.

Cuadro 1. Análisis de contribución de variables para la presencia de muérdago y táscate

Variable	Contribución (%) *para Phoradendron juniperinum*	Contribución (%) *para Juniperus durangensis*
Bio1	78.95	42
Bio12	6.35	30.7
Bio4	8.45	17.1
Bio9	0.05	0.05
Bio 2	1.2	0.05
Bio17	5	10.1
Bio15	0	0

Para la especie de *Juniperus durangensis*, además de la variable de temperatura media anual, la precipitación anual media (bio 12) también es determinante para la presencia, contribuyendo en un 30.7% en la idoneidad ambiental. Del mismo modo, la estacionalidad de la temperatura (bio 4) representa un porcentaje importante (17.1%) de las necesidades ambientales. Para ambas especies la precipitación estacional (bio15) no tiene ninguna influencia en la ecología.

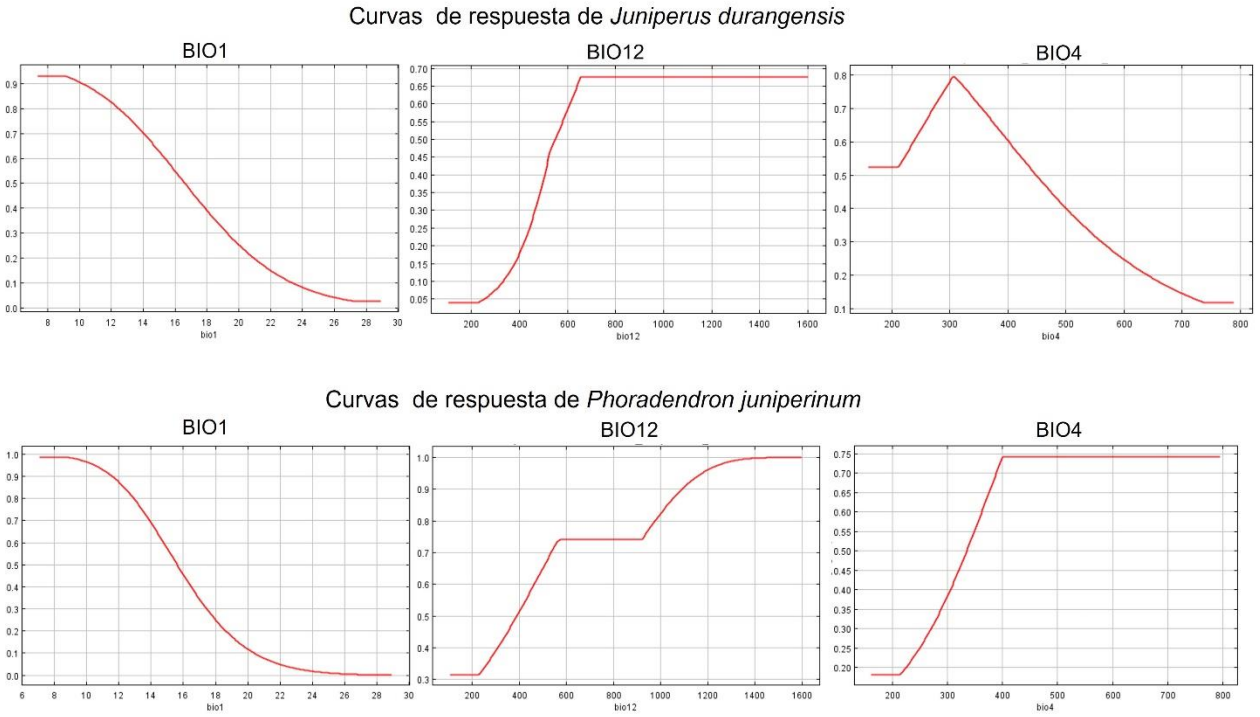


Figura 2. Curvas de respuesta de las variables más determinantes en la presencia de las especies P. juniperinum y J. duranguensis. Temperatura media anual (bio1), precipitación anual (bio12) y estacionalidad de la temperatura (bio4).

Las gráficas de respuesta a las variables fueron obtenidas a partir de la generación del modelo. En la Figura 2 se observa la respuesta de las variables que más contribuyen a la presencia de ambas especies. De acuerdo con lo anterior, los valores de temperatura anual promedio son similares en las dos especies. Tanto para el muérdago como para el táscate, los rangos de temperatura más adecuados para la ecología de las plantas van de los 6 a los 14 C°. En el caso de la precipitación el táscate se ve favorecido con precipitaciones a partir de los 500 mm anuales, mientras que, para el muérdago, las condiciones ideales de lluvia son cercanas a los 1000 mm. Por otro lado, la variable de estacionalidad de la temperatura (bio4) describe de manera grafica la ecología del muérdago con respecto al estrés ambiental de la especie hospedera. En el caso de J. durangensis, la especie se ve perjudicada cuando existe una variación estacional de más de tres desviaciones estándar (mayores cambios bruscos de temperatura). De manera contraria, en el caso del muérdago P. juniperinum, la presencia de la especie se ve favorecida cuando la variación en la estacionalidad supera las 3 desviaciones estándar.

Lo anterior indica que a mayor variabilidad climática mejores son las condiciones para que el muérdago *P. juniperinum* lleve a cabo una asociación exitosa con la especie hospedera *J. durangensis.*

Conclusiones

El modelo de nicho ecológico obtenido para *P. juniperinum* y *J. durangensis* indica que estas especies comparten zonas de distribución potencial, así como las variables ambientales determinantes para la presencia de ambas. Esto permite fundamentar que la posibilidad de presencia de muérdago asociado a táscate en la sierra madre occidental es elevada. Por otro lado, las curvas de respuesta a las variables ambientales sugieren que, a mayor variabilidad en la estacionalidad de la temperatura, mayor será la probabilidad de que los árboles de juníperos sean parasitados por el muérdago.

Referencias

Flanders, N. P., Randle, C. P., Walters, E. L., & Musselman, L. J. (2024). Variation in establishment success for American mistletoe [Phoradendron leucarpum (Raf.) Reveal & M.C. Johnst. (Viscaceae)] appears most likely to predict its distribution in Virginia and North Carolina, United States. *Botany*, *102*(3), 108-146. https://doi.org/10.1139/cjb-2023-0050

GBIF.org (14 septiembre 2024) GBIF Occurrence Download https://doi.org/10.15468/dl.da48nc

GBIF.org (16 septiembre 2024) GBIF Occurrence Download https://doi.org/10.15468/dl.qw482s

Glatzel, G., & Geils, B. W. (2009). Mistletoe ecophysiology: host–parasite. *Botany*, *87*(1), 10-15. https://doi.org/10.1139/b08-096

González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., & López-Enríquez, I. L. (2022). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: una síntesis.Acta Botánica Mexicana, 100, 351-403. https://doi.org/10.21829/abm100.2012.40

López, L. A. C. (2020). *Distribución potencial de los géneros Picea y Juniperus en México durante el Último Máximo Glacial*. https://doi.org/10.24275/uami.6q182k363

Silva-González, E., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., González-Tagle, M. A., Treviño-Garza, E. J., & Corral-Rivas, J. J. (2022). Evaluación del aprovechamiento forestal en la diversidad y estructura de un bosque templado en Durango. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 13(71). https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1017

Wiesenborn, W. D. (2017). Conspecific Pollen on Insects Visiting Female Flowers of Phoradendron juniperinum (Viscaceae) in Western Arizona. Western North American Naturalist, 77(4), 478-486. https://doi.org/10.3398/064.077.0408

EFECTO DE INOCULANTES EN LOS CULTIVO DE TRÉBOL ALEJANDRINO (*Trifolium alexandrinum* L.), CHÍCHARO (*Pisum sativum L.*) Y GARBANZO (*Cicer arietinum L.*) EN LA FORMACIÓN DE NÓDULOS

Yasmin Ileana Chew Madinaveitia[1*], Arturo Gaytán Mascorro[2], Esmeralda Ochoa Martínez[1], David Guadalupe Reta Sánchez[3], Juan isidro Sánchez Duarte[1].

[1]INIFAP-Campo Experimental La Laguna. Blvd. José Santos Valdez 1200 Pte. Col. Centro. C.P. 27440, Matamoros, Coah. INIFAP. [2]UAA Antonio Narro-Unidad Laguna. Departamento de Fitomejoramiento. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fé. Torreón, Coah. [3]INIFAP-Campo Experimental Delicias. Km. 2 Carretera Delicias-Rosales C.P. 33000, Centro, Delicias, Chih. *Autora de correspondencia: chew.yazmin@inifap.gob.mx

Introducción

Las leguminosas, son cultivos de interés por su aporte proteico en la dieta de los humanos y animales. Son importantes también, por su interacción con bacterias (rizobios) que fijan biológicamente al nitrógeno (FBN); convierten el nitrógeno atmosférico en amonio aprovechable por las plantas, que les permite desarrollarse en suelos deficientes de nitrógeno (Isidra-Arellano & Valdés-López, 2022). La asociación leguminosas-bacterias, permite su establecimiento en regiones con bajo contenido de materia orgánica y nutrientes o con problemas de contaminación con elementos potencialmente tóxicos (EPT), al restaurar y rehabilitar los suelos (Bianco, 2020; López-Alcocer et al., 2020; Noguez-Inesta et al., 2021).

En la simbiosis leguminosas-bacterias, se forman nódulos en las raíces, donde se realiza la fijación de nitrógeno que varía de 24 a 584 kg N ha^{-1} y en algunos casos, abastecer hasta el 90% de los requerimientos de las plantas (Ángeles-Núñez & Cruz-Acosta, 2015; López-Alcocer et al., 2020). Cuando la población nativa de rizobios en el suelo no es la adecuada, o no fija la cantidad suficiente de nitrógeno, o no es específica para la leguminosa a sembrar, los inoculantes a base de esas bacterias, conocidos también como biofertilizante, son una opción para reducir el uso de fertilizantes nitrogenados. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de inoculantes en la formación de nódulos en los cultivos de trébol, chícharo y garbanzo.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el INIFAP-Campo Experimental La laguna, en Matamoros, Coahuila (25° 32’ latitud norte y 103° 14’ longitud oeste). Para evaluar el efecto de los inoculantes en los cultivos de Trébol alejandrino (*Trifolium alexandrinum* L.), Chícharo (*Pisum sativum* L.) y Garbanzo (*Cicer arietinum* L.), se realizó un ensayo con semilla inoculada (sin fertilización nitrogenada) y semilla sin inocular (con fertilización nitrogenada), que fueron establecidas en un lote, donde previamente fue sembrado sorgo, para blanquear el terreno.

En las parcelas con la semilla sin inocular, la fertilización fue 150-80-00 de N y P_2O_5 kg ha^{-1}, con Novatec 45 y fosfato monoamónico, respectivamente. En las parcelas con semilla inoculada, solamente se aplicó fosfato monoamónico (00-80-00). La siembra en seco, fue el 30 de octubre de 2023. Se aplicaron cuatro riegos de auxilio. Inoculación de las semillas: Previo a la siembra, las semillas de trébol fueron inoculadas con una mezcla de las bacterias *Sinorhizobium meliloti* y *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii* (Clover); para garbanzo, *Mesorhizobium ciceri*; para chícharo, *Rhizobium leguminosarum* biovar *viceae.* Muestreo de raíces: Fueron realizados tres muestreos: fase vegetativa, floración e inicio de llenado de vaina. Para el muestreo, con una pala se hicieron zanjas alrededor de las plantas, teniendo cuidado de extraer la mayor cantidad de raíces; para retirar el exceso de tierra de las raíces, fueron lavadas con agua.

Evaluación de nódulos: Los nódulos de las raíces, se observaron con un microscopio estereoscópico para determinar su capacidad de fijación de nitrógeno. Se realizaron cortes transversales en los nódulos para clasificarlos como activos, aquellos que presentaron una coloración rosa o roja en su interior e inactivos, los de coloración blanca o verde. La coloración rosa/roja de los nódulos, es por la proteína leghemoglobina, un indicativo de que los nódulos están activos (Paredes, 2013; Chipana et al., 2017; García y Larios, 2017).

Resultados y discusión.

Trébol alejandrino. No se detectaron nódulos en las raíces de la semilla inoculada en los tres muestreos; aunque el inoculante era el específico para trébol, probablemente no se presentaron las condiciones para la nodulación. Tampoco se observaron nódulos en las raíces de la semilla sin inocular.

Chícharo. Se detectaron nódulos en las plantas de semillas inoculadas. El porcentaje de nódulos activos, en la etapa vegetativa fue de 28.9%, con el máximo porcentaje en la etapa de floración (80.2%), posteriormente decreció en la etapa de llenado de vaina (78.5%) (Cuadro 1). En las raíces de plantas donde no se inoculó la semilla (fertilización nitrogenada), no se detectaron nódulos.

Cuadro 1. Porcentaje de nódulos en las raíces de plantas de chícharo con semilla inoculada y semilla sin inocular. Campo Experimental La Laguna. Otoño-invierno 2023-2024.

Muestreo/ Etapa	Tratamiento	Porcentaje nódulos	
		Activos	Inactivos
Vegetativa	Inoculado	28.9	71.1
	Sin inocular	0.0	0.0
Floración	Inoculado	80.2	23.2
	Sin inocular	0.0	0.0
Inicio llenado vaina	Inoculado	78.5	21.5
	Sin inocular	0.0	0.0

Garbanzo. Se detectaron nódulos en las raíces tanto de las semillas inoculadas (sin fertilización nitrogenada) como las sin inocular (con fertilización nitrogenada); el porcentaje de nódulos activos fue mayor en las inoculadas. En la etapa de floración, fue donde se tuvo el mayor porcentaje de nódulos activos (82.9%).

La formación de nódulos en las plantas, donde la semilla no fue inoculada, indica que en el suelo donde se estableció el cultivo, existen bacteria nativa específicas para el garbanzo. El porcentaje de nódulos activos, fue menor que en las inoculadas, pero con la misma tendencia de mayor porcentaje en la etapa de floración (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje de nódulos en las raíces de plantas de garbanzo con semillas inoculadas y semilla sin inocular. Campo Experimental La Laguna. Otoño-invierno 2023-2024.

Muestreo/ etapa	Tratamiento	Porcentaje nódulos	
		Activos	Inactivos
Vegetativa	Inoculado	72.9	27.1
	Sin inocular	39.1	60.9
Floración	Inoculado	82.9	17.1
	Sin inocular	59.0	41.0
Llenado de vaina	Inoculado	71.2	28.8
	Sin inocular	51.5	48.5

El mayor porcentaje de nódulos activos en la etapa de floración, tanto en chícharo como en garbanzo concuerdan con Pommeresche y Hansen (2017), quienes mencionan que, en leguminosas, los nódulos se aprecian a las cuatro a seis semanas después de la siembra y tienen su máxima actividad en la floración

En chícharo y garbanzo, los nódulos en sus raíces, indica que hubo un reconocimiento o simbiosis con las bacterias de los inoculantes utilizados.

Conclusiones

En los cultivos de chícharo y garbanzo, los inoculantes fueron efectivos en la formación de nódulos y fijación biológica de nitrógeno. El uso de inoculantes en esos cultivos, puede reducir en un momento dado, la fertilización nitrogenada.

Referencias

Ángeles-Núñez, J.C. & T. Cruz-Acosta. (2015). Aislamiento, caracterización molecular y evaluación de cepas fijadoras de nitrógeno en la promoción del crecimiento de frijol. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 6:929-942.

Bianco, L. (2020). Principales aspectos de la nodulación y fijación biológica de nitrógeno en Fabáceas. IDESIA. 389(2):21-29.

Chipana, V., Clavijo, C., Medina, P. y Castillo, D. (2017). Inoculante de vainita (*Phaseolus vulgaris* L.) con diferentes concentraciones de *Rhizobium etli* y su influencia sobre el rendimiento del cultivo. Ecol. Apl., 16(2): 91-98.

Isidra-Arellano, M., & O. Valdés-López. (2022). ¿Cómo controlan las leguminosas el número de nódulos para evitar comprometer su crecimiento y desarrollo? Revista de Educación Bioquímica 41(2):51-65.

López-Alcocer, J.J., R. Lépiz-Idelfonso, D.R. González-Eguiarte, R. Rodríguez-Macías & E. López-Alcocer. (2020). Eficiencia en fijación biológica de nitrógeno de cepas de *Rhizobium* spp. recolectadas en frijol cultivado y silvestre. Terra Latinoamericana 38:841-852.

Noguez-Inesta, A., A.S. López-Sánchez, R. Carrillo-González & M.C.A. González-Chávez. (2021). Uso de leguminosas (Fabaceae) en fitorremediación. Agroproductividad 10(4):57-62.

Paredes, M. (2013). Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica de Argentina. 114 p.

Pommeresche, R. & S. Hansen. (2017). Examinando la actividad de los nódulos en raíces de leguminosas. FertilCrop. Documento técnico. 5 p. http//www.fertilcrop.net

FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE LA MOSQUITA BLANCA (*Bemisia* spp) EN EL CULTIVO DE GUAR (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) EN LA COMARCA LAGUNERA

Yasmin Ileana Chew Madinaveitia[1*], Arturo Gaytán Mascorro[2], Esmeralda Ochoa Martínez[1], David Guadalupe Reta Sánchez[3], Juan Isidro Sánchez Duarte[1].

[1]INIFAP-Campo Experimental La Laguna. Blvd. José Santos Valdez 1200 Pte. Col. Centro. C.P. 27440, Matamoros, Coah. INIFAP. [2]UAA Antonio Narro-Unidad Laguna. Departamento de Fitomejoramiento. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fé. Torreón, Coah. [3]INIFAP-Campo Experimental Delicias. Km. 2 Carretera Delicias-Rosales C.P. 33000, Centro, Delicias, Chih. *Autora de correspondencia: chew.yazmin@inifap.gob.mx

Introducción

El guar se cultiva en las regiones áridas y semiáridas de India, Pakistán, Estados Unidos de Norteamérica, Australia, África, Brasil por sus características de tolerancia a la sequía, salinidad y alta temperatura. Por ser una leguminosa y a su simbiosis con bacterias, fijan nitrógeno tanto para la planta como al suelo. Sus usos son variables: alimentación humana, animal, abono verde, de la semilla se extrae el galactomano (goma guar) un polisacárido que se utiliza en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética; también en la extracción de petróleo y metano (Alexander et al., 1988; Nemecek et al., 2012; Prajapati et al., 2013; Abidi et al., 2015), por lo que su cultivo es principalmente para la producción de semilla y extracción del polisacárido.

En México, el guar puede ser competitivo, por su alta demanda en la industria. Se estiman en el país, en condiciones de temporal 900,000 ha con alto potencial y 200,000 ha con potencial medio o subóptimo (Ramírez et al., 2019). En la Comarca Lagunera, región semiárida, con una agricultura que no es de temporal, pero con limitante del recurso agua en cada ciclo agrícola, el guar pudiera ser un cultivo a considerar por su tolerancia a la sequía. De los factores bióticos, que afectan al guar están las plagas y enfermedades: de las plagas, se mencionan a los pulgones (*Aphis* spp), mosquitas blancas (*Bemisia tabacii*), chicharritas (*Empoasca* sp), Trips (*Megaleurothrips distalis*), ácaros (*Polyphagotarsonemus latus*), minador de la hoja (*Phytomyza hortícola*), gusano del tabaco (*Spodoptera litura*) que disminuyen su producción y productividad (Kalasariya et al., 2015; Bagri et al., 2021). En la Comarca Lagunera, la mosquita blanca (*Bemisia* spp), es una de las principales plagas en melón, sandía, pepino, tomate, algodón, y se encuentra también en maleza y plantas ornamentales. Al ser el guar una leguminosa y que, en cultivos como frijol y soya, establecidos comercialmente o de manera experimental, se han observado poblaciones del insecto que pueden ser limitantes para obtener un rendimiento adecuado; además de que es un vector de virus. Ante estos antecedentes, el objetivo de este ensayo fue registrar la fluctuación de la mosquita blanca en el cultivo de guar en las condiciones de la Comarca Lagunera.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el INIFAP-Campo Experimental La laguna, en Matamoros, Coahuila (25° 32’ latitud norte y 103° 14’ longitud oeste), en una siembra del cultivo guar variedad Santa Cruz, establecida el 21 de mayo de 2021. Para el monitoreo de la mosquita blanca, se colocaron semanalmente cinco trampas amarillas con adherente distribuidas en cinco de oros (en los cuatro extremos y el centro de la siembra), permaneciendo en el cultivo 24 horas. En las trampas, se fue registrando el número de mosquitas blancas en un periodo de los 13 a los 101 días después de la siembra (dds) (13 de junio al 24 de agosto). También, se realizaron observaciones directas a las plantas, para detectar la presencia del insecto.

Resultados y discusión

La mosquita blanca se detectó dese el primer muestreo (13 dds) cuando la planta estaba pequeña (una hoja verdadera e inicio de la segunda), con una población promedio de 105 adultos /trampa (Figura 1). En las plantas se observaron los adultos, pero no huevecillos o ninfas, lo que indica que, aunque en las trampas ya se tenía un número considerable de insectos, aún no se establecían en las plantas, lo que podría considerarse como la primera migración de mosquitas blancas al cultivo. Posteriormente, se detectaron en las plantas huevecillos, ninfas y adultos.
La población de mosquitas, se fue incrementando hasta los 42 dds (2 de junio), donde se registró el mayor número promedio de insectos con 584/trampa. A partir de esa fecha, su población fue decreciendo paulatinamente, hasta tener un descenso más pronunciado a los 55 dds con una población de menos de la mitad (204/trampa) que se tuvo a los 42 dds; hasta contabilizar, a los 101 dds, 21.8 adultos promedio/trampa en el último muestreo (24 de agosto). Este descenso de la población, puede relacionarse con un período de lluvias en el mes de julio y en la primera semana de agosto, lo que conlleva a una menor temperatura, por lo que el ciclo de la mosquita blanca se alarga. En cambio, a una mayor temperatura, el ciclo se acorta, por lo que se tienen varias generaciones de mosquitas que coexisten en el tiempo y espacio. Otra razón, es la migración del insecto a otros cultivos o maleza.

En las trampas amarillas y en el cultivo se observaron pulgones y chicharritas, pero en menor población que las mosquitas blancas.

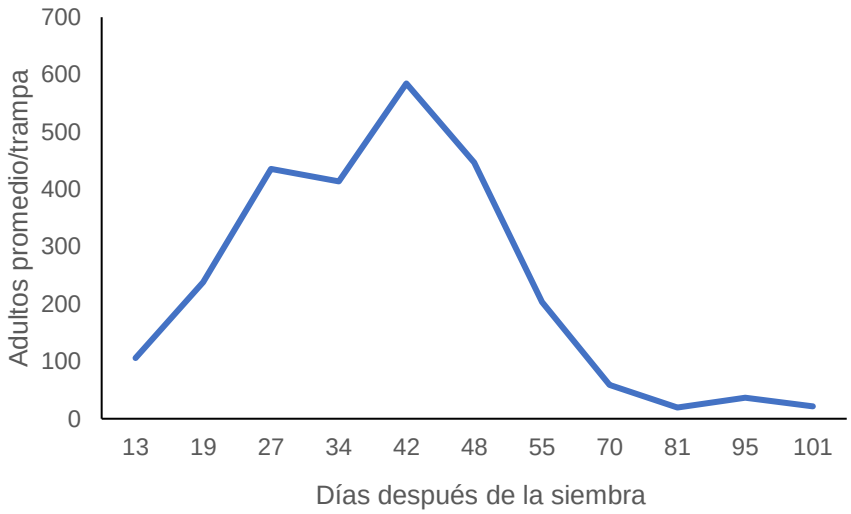


Figura 1. Fluctuación poblacional de la mosquita blanca (*Bemisia* spp) en el cultivo de guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). Comarca Lagunera, ciclo primavera-verano 2021.

Como objetivo principal del establecimiento del cultivo de guar, era determinar su potencial productivo en condiciones de la Comarca Lagunera, se realizar aplicaciones de insecticidas para el manejo de la mosquita blanca, para que no afectar el rendimiento del cultivo. Aún con las aplicaciones, se pudo determinar la fluctuación de la mosquita blanca a través del ciclo del cultivo. Los productos que se utilizaron fueron extracto de neem y canela, acetamiprid y piripoxifeno.

Conclusiones

La mosquita blanca se puede considerar, en un momento dado, como plaga primaria del cultivo de guar. Se detectó desde las primeras etapas de desarrollo, hasta la madurez de las vainas. Es importante monitorear periódicamente su presencia, para evitar posibles daños al cultivo.

Referencias

Abid, N., Liyanage, S., Auld, D., Imel, R.K., Norman, L., Grover, K., Angadi, S., Singla, S., & Trostle, C. 2015. Challenges and opportunities for increasing guar production in the United States to support unconventional oil and gas production. In: Hydraulic Fracturing Impacts and Technologies (pp. 207-226).

Alexander, L. W. Bucks, D. A., & Backhaus, R. A. (1988). Irrigation water management for guar seed production. Agron. J. 80: 447–453.

Bagri, R.K., Goyal, S.K., Singh, J., Priyanka, Chawala, N., & Kumari, M. (2021). Integrated pest management of cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). The Pharma Innovation Journal 19(3):679-682.

Kalasariya, R., Parmar, K., & Litoriya, N. (2015). Management of mayor insect pests of cluster bean. Lap Lambert Academic Publishing. 70 p.

Nemecek, T., Weiler, K., Plassmann, K., Schnetzer, J., Gaillard, G., Jefferies, D., García-Suárez, T., King, H., Milà I., & Canals, L. (2012). Estimation of the variability in global warming potential of worldwide crop production using a modular extrapolation approach. J. Clean Prod. 31:106-17.

Prajapati, V.D., Jani, G.K., Moradiya, N.G., Randeria, N.P., Nagar, B.J., Naikwadi, N.N., & Variya, B.C. (2013). Galactomannan: a versatile biodegradable seed polysaccharide. Int. J. Biol. Macromol. 60:83-92.

Ramírez, J.G., Lozano, C. M.G., & Ramírez, S.J.H. 2019. Potential areas of growing *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) under rainfed conditions in Mexico. Agircultural Sciences 10:1370-1380

ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON EL ALMACEN DE CARBONO BAJO AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

Erika Nava-Reyna[1*], Miguel Ángel Martínez-Gamiño[2], María del Rosario Jacobo-Salcedo[1], Vicenta Constante-García[1], Galilea Sarai Esparza Reyes[3]

[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, CIRNE - Campo Experimental San Luis, Soledad de Graciano Sánchez, SLP, México; [3]Unidad Regional de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Dgo., México *Autor para correspondencia: nava.erika@inifap.gob.mx

Introducción

Los componentes poliméricos de carbono y nitrógeno en los componentes de los seres vivos como la celulosa, hemicelulosa, quitina, lignina, taninos, entre otros, son estructuras complejas y diversas, por lo que su descomposición requiere la combinación de mecanismos metabólicos de diferentes microorganismos. Mas aún, la depolimerización y la subsecuente mineralización de compuestos lábiles por bacterias, arqueas y hongos son la base trófica para las redes alimentarias de residuos que median los ciclos globales del C y N, así como la producción de plantas y la composición atmosférica (Burns et al., 2013). Así, la actividad de diferentes enzimas extracelulares del suelo presenta un gran potencial como indicador temprano de la salud del suelo y los ciclos del C y N (Sinsabaugh et al., 2008), proporcionando una alerta temprana de la degradación o restauración del suelo, lo que permite promover la sostenibilidad del ecosistema a largo plazo. De esta forma, dada la eficiencia, simplicidad y respuesta temprana a cambios en el manejo del suelo, la medición de las actividades enzimáticas del suelo es cada vez más utilizada como indicador de la salud del suelo (Sainju et al., 2022), sobre todo cuando otros indicadores como el almacén de carbono orgánico del suelo (COS), principal indicador para monitorear la calidad del suelo, refleja cambios por el manejo del suelo en el largo plazo (Lorenz & Lal, 2016). Nava-Reyna et al. (2022), demostraron la relación inversa entre la actividad de las enzimas polifenol oxidasa (PPO) el almacén de COS, y positiva con la enzima β-galactosidasa (β-gal), generando un modelo con una correlación múltiple positiva excelente entre las actividades β-gal/PPO con respecto al almacén de carbono, donde más del 90% de la variabilidad en el almacén de COS de los suelos bajo distintos métodos de labranza puede ser explicada por estas actividades enzimáticas. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue validar la relación entre el almacén de COS y la actividad enzimática β-gal/PPO bajo agricultura de conservación.

Materiales y métodos

Descripción del sitio de estudio y muestreo. El estudio se realizó en una parcela con manejo acumulado de agricultura de conservación en el ejido El Rosario, Villa de Reyes, San Luis Potosí, durante el ciclo de primavera-verano 2024. En la parcela se estableció el cultivo de maíz de riego, siguiendo el manejo recomendado por el paquete tecnológico del INIFAP para producir maíz de riego con agricultura de conservación con dos tratamientos: a) prácticas tradicionales del productor con barbecho más rastra (B+R), donde se hizo barbecho con arado a 30 cm de profundidad y un paso de rastra para desmenuzar terrones; b) agricultura de conservación (AC), con labranza mínima y reincorporación del 100% del rastrojo del ciclo anterior, incorporándolo con un paso de rastra, luego se pasó un subsuelo y se realizó la siembra. Ambos tratamientos se establecieron en 2018. El muestreo se realizó en junio del 2024, durante la etapa de floración del cultivo, donde se tomaron cinco muestras de suelo superficial (0-10 cm) en cada tratamiento para hacer una muestra compuesta. El suelo fue secado al aire, quitando los residuos vegetales y tamizando por 2 mm antes de su análisis.

Cuantificación del carbono orgánico del suelo. Se utilizó el método de combustión húmeda de Walkley y Black (1934) para determinar el COS, para después calcular el almacén de carbono orgánico y la tasa de secuestro de carbono con la fórmula propuesta por Paul et al. (2016):

$$Almacen\ COS\ (Mg\ ha^{-1}) = \frac{COS \times DA \times Ps \times 10{,}000}{100}$$

Donde: COS = carbono orgánico del suelo (%); DA = densidad aparente (Mg m^{-3}); Ps = profundidad del suelo (m)

Actividad enzimática del suelo. Para la determinación de la actividad β-galactosidasa, se empleó 0.2 g de suelo con p-nitrofenil β-D-galactósido como sustrato. La actividad se determinó colorimétricamente la cantidad de p-nitrofenol liberado por la enzima a 410 nm. La actividad enzimática fue expresada como p-nitrofenil β-D-glucopiranosido g^{-1} h^{-1} (Eivazi & Tabatabai, 1988). Por su parte, la actividad polifenol oxidasa se cuantificó utilizando L-3, 4-dihidroxifenilanina (5 mM) como sustrato (Sinsabaugh, 2000). La actividad enzimática se midió a una absorbancia de 460 nm luego de 3 h de incubación a 37°C. Los resultados se expresaron como µmol h^{-1} g^{-1}.
Análisis estadístico. Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk al 95% de confianza para evaluar la normalidad de los datos y la homogeneidad de varianza. Dado que los resultados fueron normales y homogéneos, se prosiguió a realizar una prueba t-student ($p < 0.05$) en el programa IBM SPSS Statistics 25 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

Resultados y discusión

De acuerdo con los resultados, las prácticas de labranza tuvieron un efecto en el almacén de carbono ($t = -5.937$, $p = 0.001$) (Figura 1), presentando un incremento en los suelos bajo agricultura de conservación.

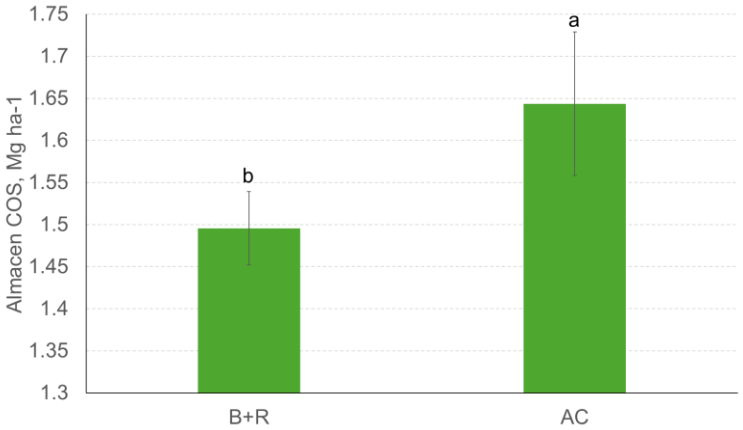


Figura 1. Almacén de carbono orgánico del suelo con labranza convencional de barbecho más rastra (B+R) y bajo agricultura de conservación (AC).

El papel de la agricultura de conservación como una herramienta para favorecer la sustentabilidad de un sistema de producción agrícola al conservar y proteger los recursos biológicos, suelo, agua ha sido ampliamente, por lo que se asocia con diversos beneficios al suelo, incluido un aumento en el almacenamiento de agua en el suelo, mejoramiento de su calidad, la disminución de la erosión, mayor rendimiento de los cultivos y el secuestro de COS estudiado (Martínez Gamiño et al., 2019; Valkama et al., 2020).

El incremento del almacén de COS, especialmente en la capa superficial del suelo, así como el mejoramiento de su estructura, fertilidad y diversidad biológica en relación con las prácticas de labranza convencional, sin algunos de los mayores beneficios de la AC, lo que pudo observarse en la parcela estudiada. Más aún, de acuerdo con el metaanálisis realizado por Potma Gonçalves et al. (2019), el COS incrementa 2.2 Mg ha^{-1} anualmente cuando se implementan prácticas de AC. Cabe destacar que cambios significativos en el COS por cambios en el manejo del suelo pueden detectarse en el mediano y corto plazo, como en esta investigación, donde los tratamientos fueron establecidos hace 6 años.

Con relación a las actividades enzimáticas del suelo, la actividad β-gal y PPO variaron significativamente en ambos tratamientos (t = 6.398, p = 0.001; t = -46.445, p = 0.000, respectivamente) (Figura 2). La β-gal se incrementó con la implementación de agricultura de conservación. La acumulación de COS se deriva de la actividad de la biota del suelo, especialmente microorganismos heterotróficos que utilizan el carbono orgánico como nutriente y fuente de energía. Así, la biomasa microbiana del suelo y la composición de sus comunidades son los principales factores que median la mineralización y síntesis de la MOS, siendo las enzimas del suelo el mecanismo para llevarlos a cabo. Enzimas como β-glucosidasa y β-galactosidasa son claves en el ciclo del C, por lo que un incremento de su actividad puede reflejar un aumento en los sitios protectores dentro del suelo por el mayor contenido de humus en suelos con incorporación de enmiendas orgánicas, donde la materia orgánica es clave en la inmovilización de enzimas extracelulares en una red tridimensional de complejos arcilla-humus (Lv et al., 2023; Tabatabai, 1994), tal como el manejo de residuos de la cosecha que se tuvo en el tratamiento de labranza de conservación. La β-gal está involucrada en la hidrólisis y biodegradación de galactósidos que liberan azúcares de bajo peso molecular que son fuente de energía para microorganismos y plantas (Zhang et al., 2015).

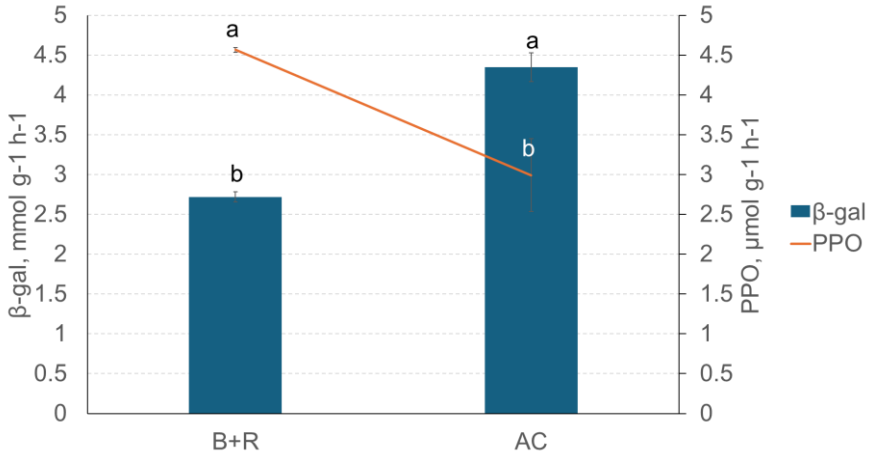


Figura 2. Actividades enzimáticas del suelo analizadas en suelos bajo agricultura de conservación (AC) y labranza convencional (B-R).

Por otro lado, la actividad PPO del suelo disminuyó con la implementación de la AC. La mayor actividad PPO en el suelo también fue reportada por Sharma et al. (2021), debido probablemente a la mayor concentración de oxígeno disponible del suelo, lo que favorece la actividad de las enzimas oxigenasas y, consecuentemente, reduce la acumulación de COS, lo cual también coincide con el almacén de COS más bajo encontrado en el tratamiento con B+R (Figura 1).

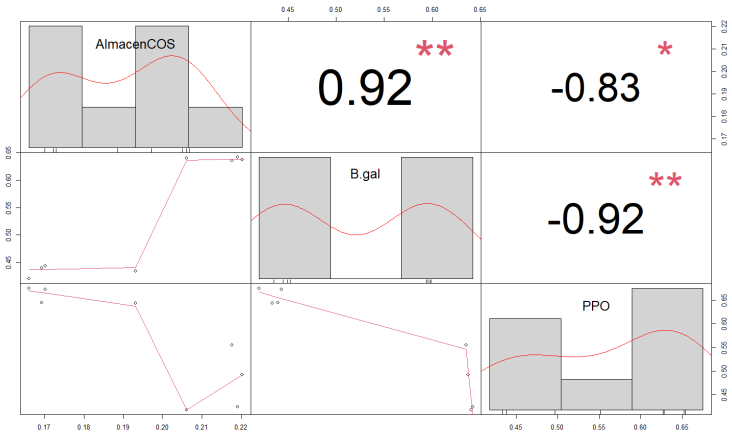


Figura 3. Representación gráfica de la matriz de coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las actividades enzimáticas β-gal y PPO del suelo y el almacenamiento de COS en la parcela de validación con agricultura de conservación y labranza convencional.

Similar a lo reportado anteriormente en la parcela experimental (Nava-Reyna et al., 2022), la parcela de validación del agricultor cooperante en Villa de Reyes también demostró una correlación del almacén de COS con ambas enzimas, siendo altamente positiva para β-gal (0.92) y negativa para PPO (-0.82). Una vez demostrada la correlación entre las variables, se procedió a realizar un análisis de regresión lineal múltiple. A partir del modelo generado, existió una correlación positiva excelente entre las enzimas y el almacén de carbono, teniendo un coeficiente de determinación de 0.924, lo que explica más del 90% de la variabilidad en el almacén de COS en los suelos de estudio, tal como se demostró en la parcela experimental del INIFAP C.E. San Luis (Cuadro 1).

Cuadro 1. Modelo de regresión múltiple de la relación del almacén de carbono orgánico del suelo con las actividades enzimáticas β-gal y PPO bajo AC y B+R.

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.924[a]	.853	.794	.03881

a. Predictores: (Constante), b.gal, PPO

ANOVA[a]

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	.044	2	.022	14.520	.008[b]
	Residuo	.008	5	.002		
	Total	.051	7			

a. Variable dependiente: AlmacenCOS b. Predictores: (Constante), b.gal, PPO

Conclusiones

La implementación de labranza mínima y reincorporación de nutrientes como prácticas de agricultura de conservación permitió un incremento en el almacén de carbono orgánico del suelo a mediano plazo (6 años), lo cual se relaciona estrechamente con la actividad enzimática β-gal y PPO, lo cual permitió validar lo encontrado previamente en la parcela experimental del INIFAP C.E. San Luis bajo condiciones controladas. Por lo tanto, la cuantificación de ambas enzimas es un excelente indicador de la calidad del suelo y la captura de carbono.

Referencias

Burns, R. G., DeForest, J. L., Marxsen, J., Sinsabaugh, R. L., Stromberger, M. E., Wallenstein, M. D., Weintraub, M. N., & Zoppini, A. (2013). Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. Soil Biology and Biochemistry, 58, 216–234.

Eivazi, F., & Tabatabai, M. A. (1988). Glucosidases and galactosidases in soils. Soil Biology and Biochemistry, 20(5), 601–606.

Lorenz, K., & Lal, R. (2016). Soil Organic Carbon – An Appropriate Indicator to Monitor Trends of Land and Soil Degradation within the SDG Framework? (S. M. Starke & K. Ehlers, Eds.). Umweltbundesamt.

Lv, L., Gao, Z., Liao, K., Zhu, Q., & Zhu, J. (2023). Impact of conservation tillage on the distribution of soil nutrients with depth. Soil and Tillage Research, 225, 105527.

Martínez Gamiño, M. Á., Osuna Ceja, E. S., & Espinosa Ramírez, M. (2019). Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10(4), 765–778.

Nava-Reyna, E., Martínez-Gamiño, M. A., Constante-García, V., Santellanez-Arreola, K., & Arreola-Ávila, J. (2022). Bioindicadores del impacto de diferentes prácticas de manejo en la calidad del suelo en zonas semiáridas del noreste de México. In G. Hernández Ibarra, A. López Santos, M. Á. Mata Espinosa, R. Trejo Calzada, O. Oscar Esquivel Arriaga, F. García González, & M. A. López Santiago (Eds.), VI Congreso Internacional y XVIII Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas (pp. 251–256). Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas .

Paul, J., Choudhary, A. K., Sharma, S., Savita, Bohra, M., Dixit, A. K., & Kumar, P. (2016). Potato production through bio-resources: Long-term effects on tuber productivity, quality, carbon sequestration and soil health in temperate Himalayas. Scientia Horticulturae, 213, 152–163.

Potma Gonçalves, D. R., de Moraes Sá, J. C., Mishra, U., Fornari, A. J., Ferreira Furlan, F. J., Ferreira, L. A., Inagaki, T. M., Romaniw, J., de Oliveira Ferreira, A., & Briedis, C. (2019). Conservation agriculture based on diversified and high-performance production system leads to soil carbon sequestration in subtropical environments. Journal of Cleaner Production, 219, 136–147.

Sainju, U. M., Liptzin, D., & Dangi, S. M. (2022). Enzyme activities as soil health indicators in relation to soil characteristics and crop production. Agrosystems, Geosciences & Environment, 5(3), e20297.

Sharma, S., Saikia, R., Thind, H. S., Singh, Y., & Jat, M. L. (2021). Tillage, green manure and residue management accelerate soil carbon pools and hydrolytic enzymatic activities for conservation agriculture based rice-wheat systems. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 52(5), 470-486.

Sinsabaugh, R. L. (2000). Phenol oxidase and peroxidase assays. University of Toledo, September, 1–5.

Sinsabaugh, R. L., Lauber, C. L., Weintraub, M. N., Ahmed, B., Allison, S. D., Crenshaw, C., Contosta, A. R., Cusack, D., Frey, S., Gallo, M. E., Gartner, T. B., Hobbie, S. E., Holland, K., Keeler, B. L., Powers, J. S., Stursova, M., Takacs-Vesbach, C., Waldrop, M. P., Wallenstein, M. D., … Zeglin, L. H. (2008). Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. Ecology Letters, 11(11), 1252–1264.

Tabatabai, M. A. (1994). Soil Enzymes. In R. W. Weaver, S. Angle, P. Bottomley, D. Bezdicek, S. Smith, A. Tabatabai, A. Wollum, S. H. Mickelson, & J. M. Bigham (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2. Microbiological and Biochemical Propertie (Issue 5, pp. 775–833). Soil Science society of America, Inc.

Valkama, E., Kunypiyaeva, G., Zhapayev, R., Karabayev, M., Zhusupbekov, E., Perego, A., Schillaci, C., Sacco, D., Moretti, B., Grignani, C., & Acutis, M. (2020). Can conservation agriculture increase soil carbon sequestration? A modelling approach. Geoderma, 369, 114298.

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. Soil Science, 37(1), 29–38.

Zhang, L., Chen, W., Burger, M., Yang, L., Gong, P., & Wu, Z. (2015). Changes in Soil Carbon and Enzyme Activity As a Result of Different Long-Term Fertilization Regimes in a Greenhouse Field. PLOS ONE, 10(2), e0118371.

IMPACTO DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN SOBRE LA CALIDAD DE SUELOS DEGRADADOS

Erika Nava-Reyna[1*], Miguel Ángel Martínez-Gamiño[2], Ignacio Sánchez-Cohen[1], Vicenta Constante-García[1], Esteban Salvado Osuna-Ceja[3]

[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, CIRNE - Campo Experimental San Luis, Soledad de Graciano Sánchez, SLP, México; [3]INIFAP, CIRNOC – Campo Experimental Pabellón, Aguascalientes, Ags., México. *Autor para correspondencia: nava.erika@inifap.gob.mx

Introducción

La superficie cultivable per cápita ha disminuido drásticamente en las últimas décadas (Mehra et al 2018), lo que, aunado a la baja en la productividad agrícola y la fertilidad del suelo y a los problemas ocasionados por el cambio climático, han incrementado los desafíos para la sostenibilidad agrícola (Maja & Ayano, 2021; Mehra et al., 2018). Por lo tanto, es necesario implementar mejores prácticas de gestión para lograr una producción agrícola sostenible, donde el manejo permita mejorar la calidad del suelo, incluido el incremento en el carbono orgánico del suelo (COS), el mejoramiento de su estructura, retención del agua y biodiversidad, entre otros, que permitan incrementar la producción.

Los sistemas de producción convencional de maíz han generado la degradación de los recursos naturales y sus múltiples efectos colaterales en la producción y el medio ambiente (Jat et al., 2019). Por el contrario, se ha demostrado que la agricultura de conservación (AC), a través de la implementación de prácticas como la labranza reducida/cero-labranza, la reincorporación de residuos de la cosecha y la rotación de cultivo, favorece la restauración de suelos degradados a través del mejoramiento de la estructura del suelo, la biodiversidad y el secuestro de carbono, optimizando la productividad del maíz y contribuyendo a la mitigación del impacto del cambio climático (Naveen Kumar & Babalad, 2018; Parihar, Parihar, et al., 2018; Powlson et al., 2016).
El índice de gestión de carbono (CMI, del inglés Carbon management index) presenta un gran potencial como indicador para evaluar la capacidad de las prácticas de manejo para mejorar la calidad del suelo en diferentes sistemas agrícolas (Blair et al., 1995), ya que relaciona el almacén de COS con la labilidad del carbono, por lo que refleja si determinado manejo favorece o perjudica la concentración de C y N del suelo y la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de las plantas y, con ello, la sostenibilidad del sistema agrícola en evaluación. (Kumar et al., 2019).

A pesar de que el efecto de la implementación de prácticas de agricultura de conservación en el almacén total del COS ha sido ampliamente estudiado, el impacto en las fracciones de COS de diferente estabilidad, así como sus índices de gestión, han sido poco estudiados. Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia de diversos métodos de labranza y la gestión de residuos de la cosecha en un sistema maíz-trigo-triticale sobre la productividad de los cultivos y el CMI.

Materiales y métodos

Descripción del sitio de estudio y muestreo. El experimento se realizó en el Campo Experimental San Luis del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuaria (Figura 1), en el Ejido de Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, con una altitud de 1834 msnm, temperatura media anual de 16.5°C y precipitación media anual de 238 mm.

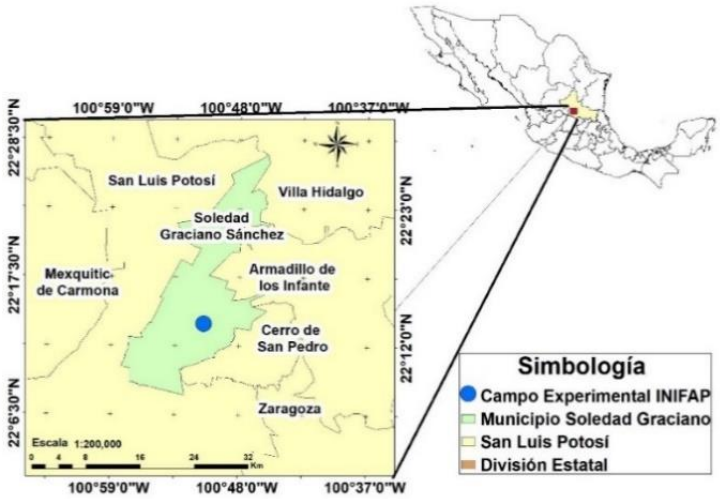


Figura 1. Ubicación geográfica del sitio del experimento.

En el sitio, se establecieron diferentes métodos de labranza y manejo de residuos de la cosecha en 1995, para poder evaluar el efecto a largo plaza de prácticas de agricultura de conservación (Cuadro 1). Adicionalmente, el tratamiento Res2, fue convertido a labranza cero a partir del año 2020, para poder monitorear los cambios en las propiedades del suelo y la productividad del cultivo a través del tiempo. Adicionalmente, se muestreó un área contigua sin perturbación por agricultura ni erosión aparente, como área de referencia.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos analizados.

Clave	Descripción
DB-Res1	Labranza cero con 33% de residuos de la cosecha, el cual tiene más de 25 años (largo plazo)
DB-Res2	Labranza cero con 33% de residuos de la cosecha, el cual tiene 5 años (mediano plazo)
DB-Deg	Barbecho más rastra
DB-Con	Área natural con *Prosopis glandulosa*

Se tomaron 4 muestras de suelo al azar de 0-20 cm de cada tratamiento, para obtener una muestra compuesta del suelo. Las muestras fueron identificadas y colocadas en bolsas de plástico. El suelo fue secado al aire, los residuos vegetales fueron retirados, y finalmente se tamizó directamente a 2 y 0.5 mm de tamaño de partícula antes del análisis.

Cuantificación del carbono total suelo. Se utilizó el método de combustión con analizador elemental para la determinación del carbono total (CT).

Cuantificación de carbono lábil. La estimación de la labilidad del C se realizó mediante la oxidación con permanganato de potasio, a través de la medición del cambio en la concentración de $KMnO_4$ 0.333 M, determinado por absorbancia en el espectrofotómetro a 565 nm. El resultado fue expresado en g C kg^{-1} de suelo (Blair et al, 1995), ya que cada 1 mM de MnO_4 es consumido hasta oxidación por 9 mg de C.

Índice de gestión de carbono (CMI). El CMI fue determinado utilizando el área conservada (mezquital) como muestra de referencia, de acuerdo con las ecuaciones propuestas por Blair et al. (1995):

$$Índice\ de\ gestión\ de\ carbono\ (CMI) = CPI \times LI \times 100$$

$$Índice\ de\ reserva\ de\ carbono\ (CPI) = \frac{C_{total}\ de\ la\ muestra\ de\ suelo}{C_{total}\ en\ el\ suelo\ de\ referencia}$$

$$Índice\ de\ labilidad\ (LI) = \frac{Labilidad\ del\ C\ en\ la\ muestra\ de\ suelo}{Labilidad\ del\ C\ en\ el\ suelo\ de\ referencia}$$

$$Labilidad\ del\ C\ (L) = \frac{C\ en\ la\ fracción\ oxidabilizada\ por\ KMnO_4}{C\ remanente\ inoxidabilizado\ por\ KMnO_4} = \frac{C_L}{C_{NL}}$$

Análisis estadístico. La normalidad de los datos obtenidos se evaluó utilizando la prueba de Shapiro-Wilk al 95% de confianza, para posteriormente determinar su homogeneidad de varianza. Cuando los datos no fueron normales, se transformaron con log10. Finalmente, se realizaron pruebas de ANOVA de una vía al 95% de confianza en el programa IBM SPSS Statistics.

Resultados y discusión

Existió diferencia significativa entre los tratamientos en cuanto a la cantidad de carbono total (F=74.006, p = 0.001) (Figura 2a), donde las prácticas de AC permitieron niveles más altos en la acumulación de carbono en relación con la labranza convencional. La minimización de la oxidación del suelo es esencial para el secuestro de carbono, razón probable por la que la cero-labranza pudo haber incrementado el nivel de CT al minimizar el disturbio mecánico del suelo (Nandan et al., 2019). Además, se ha demostrado que la labranza convencional favorece la mineralización de la materia orgánica (Kan et al., 2020; Mary et al., 2020).

En cuando a la labilidad de carbono, también se presentó un efecto significativo de los tratamientos en el carbono lábil (F=26.673, p=0.001). La adición de residuos de la cosecha sobre la superficie del suelo tuvo un efecto en el contenido de COS lábil en los sistemas de agricultura de conservación, en comparación a la labranza convencional (Figura 2b), tal como fue reportado por (Shao et al., 2009). En los sistemas de cero-labranza mejoran el microambiente del suelo, lo que ha sido relacionado con el incremento del C oxidable por permanganato y la actividad enzimática (Choudhary et al., 2018; Parihar, Jat, et al., 2018).

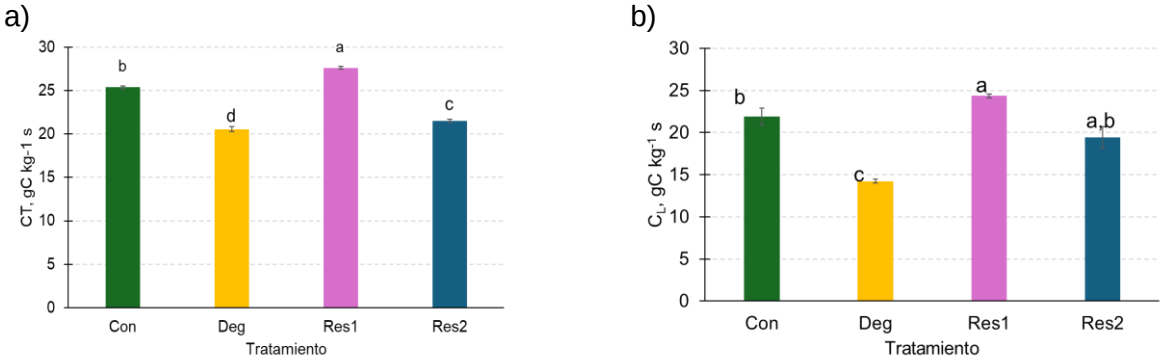


Figura 2. Cuantificación del carbono total del suelo (a) y la fracción de carbono lábil en suelos de los sitios de estudio: CON – Mezquital conservado; Deg – labranza convencional; Res1 – no-labranza+33% de residuos de la cosecha (largo plazo); Res2 - no-labranza+33% de residuos de la cosecha (mediano plazo). Las barras seguidas por la misma letra para una fracción dada no son diferentes significativamente (P<0.05).

Por otro lado, existió un impacto altamente significativo de los diferentes métodos de labranza y gestión de residuos de la cosecha sobre el índice de labilidad (F = 43.408, p = 0.001), el índice de reserva de carbono (F = 1111.808, p = 0.000) y el índice de gestión de carbono (F = 72.583, p = 0.001), donde todas las zonas dentro de la obra de conservación de suelos presentaron un mayor contenido de carbono lábil en comparación al área conservada (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de diferentes métodos de labranza y manejo de residuos de la cosecha sobre el índice de labilidad (LI), índice de reserva de carbono (CPI) y el índice de manejo de carbono (CMI) de 0-20 cm: CON – Mezquital conservado; Deg – labranza convencional; Res1 – no-labranza+33% de residuos de la cosecha (largo plazo); Res2 - no-labranza+33% de residuos de la cosecha (mediano plazo).

Tratamiento	LI	CPI	CMI
Deg	0.29 ± 0.03^{b}	0.80 ± 0.01^{c}	24.04 ± 3.10^{b}
Res1	1.98 ± 0.56^{a}	1.08 ± 0.00^{a}	216.15 ± 61.30^{a}
Res2	0.49 ± 0.12^{b}	0.84 ± 0.00^{b}	41.73 ± 10.63^{b}

* Las letras representan diferencias significativas entre tratamientos (P<0.05).

El CMI establece la tasa de variación en el carbono del suelo bajo diferentes sistemas de manejo (agrícola/natural), a partir de los cambios en el CT y el C lábil, por lo tanto, este índice es un indicador útil de la calidad del suelo (Li et al., 2012), por lo tanto, un CMI más alto sugiere una mayor fuente de nutrientes para el desarrollo de los cultivos (Ghosh et al., 2016). Así, el manejo continuo de cero-labranza con la incorporación del 33% de residuos de la cosecha a largo plazo (Res1) parece favorecer la entrada de C en el suelo y, consecuentemente, el contenido de materia orgánica del suelo, cambiando la labilidad del C a un estado fácilmente oxidable, demostrado con un CMI mayor al resto de los tratamientos, como reportaron otros autores (Singh et al., 2023; Tirol-Padre & Ladha, 2004).

Conclusiones

La utilización del índice de gestión de carbono demostró su utilidad para evaluar la calidad del suelo por diferentes sistemas de manejo. De esta forma, las prácticas de agricultura de conservación implementadas de cero-labranza e incorporación del 33% de residuos de la cosecha permitió incrementar la calidad del suelo a largo plazo en relación a la labranza convencional. No obstante, el efecto no se observó a mediano plazo, aunque sí se obtuvo un mayor LI y CPI, por lo que el impacto de la AC pudiera requerir un mayor lapso de tiempo para verse reflejado en el índice de gestión de carbono, siendo necesario su monitoreo a través del tiempo.

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.

Choudhary, M., Datta, A., Jat, H. S., Yadav, A. K., Gathala, M. K., Sapkota, T. B., Das, A. K., Sharma, P. C., Jat, M. L., Singh, R., & Ladha, J. K. (2018). Changes in soil biology under conservation agriculture based sustainable intensification of cereal systems in Indo-Gangetic Plains. Geoderma, 313, 193–204.

Ghosh, B. N., Meena, V. S., Alam, N. M., Dogra, P., Bhattacharyya, R., Sharma, N. K., & Mishra, P. K. (2016). Impact of conservation practices on soil aggregation and the carbon management index after seven years of maize–wheat cropping system in the Indian Himalayas. Agriculture, Ecosystems & Environment, 216, 247–257.

Jat, S. L., Parihar, C. M., Singh, A. K., Nayak, H. S., Meena, B. R., Kumar, B., Parihar, M. D., & Jat, M. L. (2019). Differential response from nitrogen sources with and without residue management under

conservation agriculture on crop yields, water-use and economics in maize-based rotations. Field Crops Research, 236, 96–110.
Kan, Z.-R., Virk, A. L., Wu, G., Qi, J.-Y., Ma, S.-T., Wang, X., Zhao, X., Lal, R., & Zhang, H.-L. (2020). Priming effect intensity of soil organic carbon mineralization under no-till and residue retention. Applied Soil Ecology, 147, 103445.
Kumar, N., Nath, C. P., Hazra, K. K., Das, K., Venkatesh, M. S., Singh, M. K., Singh, S. S., Praharaj, C. S., & Singh, N. P. (2019). Impact of zero-till residue management and crop diversification with legumes on soil aggregation and carbon sequestration. Soil and Tillage Research, 189, 158–167. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.02.001
Li, C., Yue, L., Kou, Z., Zhang, Z., Wang, J., & Cao, C. (2012). Short-term effects of conservation management practices on soil labile organic carbon fractions under a rape–rice rotation in central China. Soil and Tillage Research, 119, 31–37.
Maja, M. M., & Ayano, S. F. (2021). The Impact of Population Growth on Natural Resources and Farmers' Capacity to Adapt to Climate Change in Low-Income Countries. Earth Systems and Environment, 5(2), 271–283.
Mary, B., Clivot, H., Blaszczyk, N., Labreuche, J., & Ferchaud, F. (2020). Soil carbon storage and mineralization rates are affected by carbon inputs rather than physical disturbance: Evidence from a 47-year tillage experiment. Agriculture, Ecosystems & Environment, 299, 106972.
Mehra, P., Baker, J., Sojka, R. E., Bolan, N., Desbiolles, J., Kirkham, M. B., Ross, C., & Gupta, R. (2018). A Review of Tillage Practices and Their Potential to Impact the Soil Carbon Dynamics (pp. 185–230). https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.03.002
Nandan, R., Singh, V., Singh, S. S., Kumar, V., Hazra, K. K., Nath, C. P., Poonia, S., Malik, R. K., Bhattacharyya, R., & McDonald, A. (2019). Impact of conservation tillage in rice–based cropping systems on soil aggregation, carbon pools and nutrients. Geoderma, 340, 104–114.
Naveen Kumar, B. T., & Babalad, H. B. (2018). Soil Organic Carbon, Carbon Sequestration, Soil Microbial Biomass Carbon and Nitrogen and Soil Enzymatic Activity as Influenced by Conservation Agriculture in Pigeonpea and Soybean Intercropping System. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7(03), 323–333.
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. (2018). 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. (2018). 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.
Powlson, D. S., Stirling, C. M., Thierfelder, C., White, R. P., & Jat, M. L. (2016). Does conservation agriculture deliver climate change mitigation through soil carbon sequestration in tropical agro-ecosystems? Agriculture, Ecosystems & Environment, 220, 164–174.
Shao, J., Li, Y., Wei, C., & Xie, D. (2009). Effects of land management practices on labile organic carbon fractions in rice cultivation. Chinese Geographical Science, 19(3), 241–248.
Singh, G., Sharma, K. R., Bhatt, R., Singh, J., Wani, O. A., Dewidar, A. Z., & Mattar, M. A. (2023). Soil Carbon and Biochemical Indicators of Soil Quality as Affected by Different Conservation Agricultural and Weed Management Options. Land, 12(9), 1783.
Tirol-Padre, A., & Ladha, J. K. (2004). Assessing the Reliability of Permanganate-Oxidizable Carbon as an Index of Soil Labile Carbon. Soil Science Society of America Journal, 68(3), 969–978.

DIVERSIDAD GENÉTICA EN COLECTAS DE VAINILLA (*Vanilla* spp.)

Olga Bonilla-Barrientos[1], Enrique Hernández-Leal[1]*, Iván Franco-Gaytán[2], Jorge Maltos-Buendía[2], Delfino Reyes-Lopez[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Delicias, Km 2 Ctra. Rosales-Delicias, 33000 Delicias, Chih. [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]Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. *Autor de correspondencia: hernandez.enrique@inifap.gob.mx

Introducción

El género *Vanilla* comprende cerca de 130 especies distribuidas en las zonas tropicales del mundo, principalmente en el continente americano (Azofeifa-Bolaños et al., 2017). En México, se reportan 10 especies; sin embargo, trabajos recientes indican que la diversidad genética puede ser más amplia (Ramos-Castellá et al., 2017). En las plantaciones de los agricultores la variabilidad genética es limitada (Hernández-Leal et al., 2016), por factores como la reproducción vegetativa para el establecimiento de nuevos huertos, la polinización manual y la limitada germinación de las semillas; así como, la falta de nuevos híbridos provenientes de la recombinación (Schlüter et al., 2007). La diversidad genética se refiere a las variaciones heredables que ocurren en cada organismo, entre los individuos de una población y entre las poblaciones dentro de una especie en condiciones naturales (Rimieri, 2017). El uso de marcadores moleculares presenta algunas ventajas al compararlos con los descriptores morfológicos y bioquímicos. Los ISSR discriminan entre individuos de especies genéticamente cercanas o entre variedades de la misma especie (Reyes-Alemán et al., 2013); además, generan información valiosa desde el punto de vista genético y son una técnica simple y económica (Araújo et al., 2016). Conocer la diversidad genética en cultivos de interés para el hombre es de suma importancia, como estrategia para resolver problemas técnicos, biológicos y climáticos, por eso el objetivo fue estimar la diversidad genética en híbridos intraespecíficos de cruza simple de *V. planifolia*, con datos moleculares obtenidos con cuatro marcadores tipo ISSR.

Materiales y métodos

Estuvo compuesto por 38 genotipos de *Vanilla planifolia* del banco de germoplasma de vainilla, ubicado en Tenampulco, Puebla, México. Se colectaron hojas de plantas de ocho años de edad de 16 accesiones provenientes de los estados de Chiapas, Puebla, Quinta Roo y Veracruz; 21 híbridos y un testigo de *V. planifolia*. La extracción de ADN se hizo en el Laboratorio de Biotecnología de Plantas, de la Universidad Nacional de Costa Rica con tejido vegetal de hojas sanas de cada genotipo.

El protocolo de extracción empleado fue una modificación del método basado en el detergente catiónico bromuro de cetiltrimetilamonio (CTAB), con ARNasa, seguido de una extracción con cloroformo y una precipitación con isopropanol (Rasoamanalina et al., 2023). En un tubo de microcentrífuga de 1.5 mL se introdujo un segmento de hoja de 50-60 mg, se agregaron dos balines metálicos con diámetro de 3 mm y 400 µL de solución de homogenización (100 mM Tris-HCl, pH 8.0, 20 mM EDTA, 2 % w/v CTAB, 1.42 M NaCl, 2.4 µL β-mercaptoetanol, 0.1 mg mL-1 proteinasa K). Los tubos se colocaron en el disruptor de tejidos MM400 (Retsch GmbH, Haan, Alemania) por 3 min a 30 Hz para macerar la muestra.

Las muestras se incubaron a 60 ºC por 1 h, agitando los tubos por inversión cada 10 min. Se agregaron 3 µL RNasa (20 mg mL-1) y se incubó por 15 min a 37 ºC. Después, se agregaron 500 µL de una mezcla de cloroformo: octanol (24:1 v/v) y se homogeneizó por inversión del tubo durante 1 min; las muestras se centrifugaron a 15000 rpm durante 10 min, el sobrenadante se transfirió a un nuevo tubo. El ADN se precipitó con 1 v de isopropanol, se mezcló por inversión y se volvió a centrifugar a 15000 rpm por 10 min. El precipitado de ADN se lavó con 500 µL de etanol 70 % y se centrifugó nuevamente. Se removió el etanol con micropipeta y el precipitado de ADN se dejó secar a temperatura ambiente con el tubo invertido por 15 min. Finalmente, el ADN se resuspendió en 50 µL de solución Tris 10 mM (pH 8.0), las trazas de etanol fueron evaporadas incubando los tubos a 45 ºC durante 3 min; las muestras fueron almacenadas a -20 ºC hasta su uso.

La calidad del ADN se determinó por electroforesis horizontal en geles de agarosa 1 %. La concentración y pureza del ADN se estimó con un espectrofotómetro NanoDrop 2000 (Thermo Scientific, Carlsbad, California, EUA) usando las relaciones de absorbancia 260/280 y 260/230 como indicadores de la pureza. Para evaluar la diversidad de híbridos y accesiones parentales se evaluaron 10 marcadores ISSR (Verma et al., 2009). Se trabajaron reacciones de PCR con un volumen final de 20 µL con las siguientes concentraciones finales: 30 ng de ADN, solución amortiguadora 1X [10 mM Tris-HCl (pH 8.8 a 25 °C), 50 mM KCl, 0.08 % (v/v) Nonidet P40], 0.2 mM de dNTPs, 2 mM de MgCl2, 0.5 mM de cada iniciador, 1 U de Taq polimerasa y agua grado molecular.

La amplificación por PCR se llevó a cabo en un termociclador modelo ProFlex PCR System (Applied Biosystems, Singapur) usando el siguiente programa: desnaturalización inicial a 94 °C por 5 min, seguido por 40 ciclos de 40 s a 94 °C para la desnaturalización, 45 s a la temperatura de hibridación específica para cada iniciador y 90 s a 72 °C para la extensión. La temperatura de hibridación fue: 50 ºC para los iniciadores ISSR-C07 (5'-GAGAGAGAGAGAGAGAC-3') e ISSR-T06 (5'-AGAGAGAGAGAGAGAGT-3'), 57 y 61 ºC para ISSR-C09 (5'-CAGATGGGAGTCAAGTCAAC-3') e ISSR-C10 (5'-ACCTCCTGCAGATTCGTGTC-3'), respectivamente.

La reacción concluyó con una extensión final a 72 °C por 10 min. Posteriormente, los fragmentos amplificados fueron separados electroforéticamente en gel de agarosa 2 % a 100 V durante 2 h. La post-tinción del gel se realizó con Gel Red (Biotium, San Francisco, California, EUA), siguiendo las recomendaciones del fabricante. Finalmente, la observación de fragmentos se llevó a cabo en un transiluminador ENDURO GDS (Labnet, Edison, Nueva Jersey, EUA).

Análisis estadístico. A partir de la información genotípica se generó una matriz binaria donde 1 indicaba presencia y 0 ausencia del fragmento, para medir la capacidad informativa de los marcadores ISSR y su utilidad. Para evaluar la diversidad genética, se estimaron tres parámetros: contenido de información polimórfica (CIP) (Roldan-Ruiz et al., 2000), índice de marcador (IM) (Varshney et al., 2007) y poder de resolución (PR) (Prevost y Wilkinson, 1999)

Resultados y discusión

El AMOVA reveló alta varianza genética del 97 % dentro de las poblaciones y poca varianza (3 %) entre las poblaciones (Cuadro 1) considerando genotipos parentales de diferente origen geográfico e híbridos de cruza simple, los cuales constituyeron las poblaciones. Esto indica que hay mayor diferenciación genética dentro de poblaciones que entre poblaciones, debido a que las accesiones parentales fueron de diferente origen geográfico y los híbridos crean nuevas combinaciones genéticas al realizar las cruzas. Schlüter et al. (2007), encontraron mayor variación genética en V. planifolia dentro de poblaciones que entre poblaciones. Conocer la diversidad genética entre y dentro de poblaciones es importante para el diseño de un programa de mejoramiento genético por selección e hibridación.

Cuadro 1. Análisis molecular de varianza en la subpoblación parental y población total de *V. planifolia* de México.

AMOVA considerando genotipos parentales e híbridos					
Fuente	GL	SC	CM	Estimación de varianza	% de varianza
Entre poblaciones	4	87.24	21.81	0.59	3
Dentro de poblaciones	33	610.18	18.49	18.49	97
Total	37	697.42		19.08	100
AMOVA considerando genotipos parentales					
Entre poblaciones	3	49.08	16.36	0.00	0
Dentro de poblaciones	11	189.05	17.19	17.19	100
Total	14	238.13		17.19	100

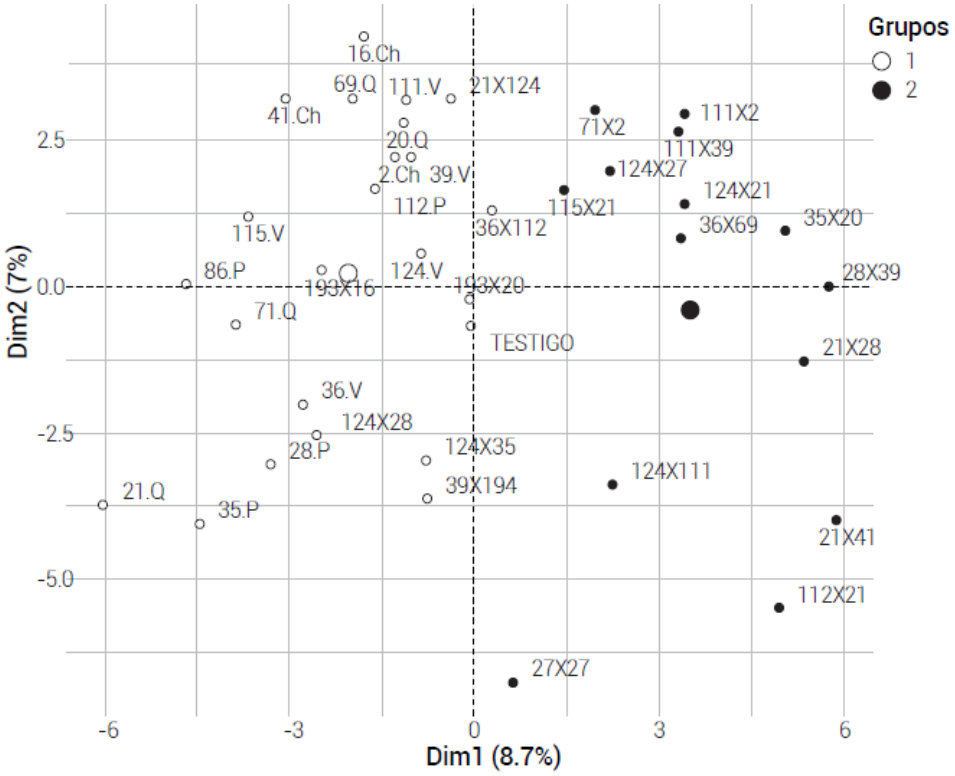


Figura 1. Dispersión de los 38 genotipos de *V. planifolia* agrupados de acuerdo con los dos primeros componentes principales (Dim).

Para el análisis de componentes principales (C.P) se observó con los dos primeros componentes solo el 15.7 % de la diversidad, lo cual se considera bajo, ya que fueron necesarios 10 componentes para explicar más de 50 % de la diversidad genética (Figura 1). No obstante, de acuerdo con las pruebas Gap (Tibshirani et al., 2009) y Elbow (Thorndike, 1953), se observaron dos grupos dentro de la población. El primer grupo estuvo conformado por genotipos parentales, el segundo grupo por los híbridos. En el primer grupo los genotipos parentales no formaron subgrupos con base en su origen geográfico, lo cual indicó que los genotipos de Veracruz, Puebla, Quintana Roo y Chiapas, México presentan alta similitud genética, debido a que la reproducción comercial para el establecimiento de nuevos huertos de vainilla se realiza por esquejes, y generalmente los productores de Quintana Roo y Chiapas adquieren esquejes de Veracruz y Puebla. Estas interrelaciones genéticas entre poblaciones de *V. planifolia* originarias de los estados de Veracruz y Quintana Roo también han sido reportadas por Ramos-Castellá et al. (2017).

Conclusiones

La variación molecular dentro de poblaciones es mayor que entre poblaciones, lo cual implica la necesidad de conservar más individuos de cada población. La hibridación entre individuos de diferente origen es una herramienta factible para incrementar la diversidad entre poblaciones, misma que puede ser usada en un programa de mejoramiento genético.

Referencias

Azofeifa-Bolaños J. B., L. R. Gigant, M. Nicolás-García, M. Pignal, F. B. Tavares- González, E. Hágsater, and M. Grisoni. 2017. A new vanilla species from Costa Rica closely related to V. planifolia (Orchidaceae). European Journal of Taxonomy 284:1-26, https://doi. org/10.5852/ejt.2017.284

Hernández-Leal E., C. R. Castillo-Martínez, D. Reyes-López, T. Corona-Torres, C. H. Avendaño-Arrazate, O. J. J. García-Zavala, … y O. Bonilla-Barrientos. 2016. Aclimatación de híbridos intraespecíficos de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews, obtenidos *in vitro*. Agro Productividad 9:72-77.

Prevost A. and M. J. Wilkinson. 1999. A new system of comparing PCR primers applied to ISSR fingerprinting of potato cultivars. Theoretical and Applied Genetics 98:107-112, https://doi.org/10.1007/s001220051046

Rasoamanalina R. O. L., K. Mirzaei, M. El Jaziri, A. R. Ramírez R. and P. Bertin. 2023. Diversity and structure assessment of the genetic resources in a germplasm collection from a vanilla breeding programme in Madagascar. Plant Genetic Resources 21:548-557, https://doi.org/10.1017/S1479262123000631

Ramos-Castellá A. L., L. G. Iglesias-Andreu, J. Martínez-Castillo, M. Ortíz- García, R. H. Andueza-Noh, P. Octavio-Aguilar and M. Luna-Rodríguez. 2017. Evaluation of molecular variability in germplasm of vanilla (*Vanilla planifolia* G. Jackson in Andrews) in Southeast Mexico: implications for genetic improvement and conservation. Plant Genetic Resources 15:310-320, https://doi.org/10.1017/S1479262115000660

Reyes-Alemán J. C., E. Valadez-Moctezuma, L. Simuta-Velázco, A. F. Barrientos-Priego and C. Gallegos-Vázquez. 2013. Distinction of species of the genus Persea by RAPD and ISSR DNA markers. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4:517-529, https://doi.org/10.29312/remexca.v4i4.1185

Rimieri P. 2017. Genetic diversity and genetic variability: two different concepts associated to plant germplasm and breeding. BAG. Journal of Basic and Applied Genetics 28:7-13.

Schlüter P. M., M. A. Soto A. and S. A. Harris. 2007. Genetic variation in *Vanilla planifolia* (Orchidaceae). Economic Botany 61:328-336, https://doi.org/10.1663/0013-0001(2007)61[328:GVIVPO]2.0.CO;2

Thorndike R. L. 1953. Who belongs in the family? Psychometrika 18:267-276, https://doi.org/10.1007/BF02289263

Tibshirani R., G, Walther and T. Hastie. 2001. Estimating the number of clusters in a data set via the gap statistic. Journal of the Royal Statistical Society: Series B Statistical Methodology 63:411-423, https://doi.org/10.1111/1467-9868.00293

Varshney R. K., K. Chabane, P. S. Hendre, R. K. Aggarwal and A. Graner. 2007. Comparative assessment of EST-SSR, EST-SNP and AFLP markers for evaluation of genetic diversity and conservation of genetic resources using wild, cultivated and elite barleys. Plant Science 173:638-649, https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2007.08.010

Verma P. C., D. Chakrabarty, S. N. Jena, D. K. Mishra, P. K. Singh, S. V. Sawant and R. Tuli. 2009. The extent of genetic diversity among Vanilla species: comparative results for RAPD and ISSR. Industrial Crops and Products 29:581-589, https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.11.006

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DERIVADAS DE SOILGRIDS MEDIANTE MEDICIONES IN SITU

Mariana de J. Marcial-Pablo[1*], Erika Nava-Reyna[1], Erickson Basave-Villalobos[2], José Alberto Urrieta-Velázquez[1], Vicenta Constante-García[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. [2]Campo Experimental Valle de Guadiana(CEVAG), INIFAP. Durango, México. * Autor de correspondencia: marcial.marianadejesus@inifap.gob.mx

Introducción

La mayoría de los cultivos dependen del suelo como medio adecuado para su crecimiento. Los suelos proporcionan al menos seis factores para el crecimiento de cultivos: Soporte físico, aireación para las raíces, suministro y almacenamiento de humedad, moderación de la temperatura del aire en la zona de las raíces y cerca del suelo, un entorno relativamente libre de fitotoxinas y 13 de los 17 elementos nutritivos esenciales (Jahn et al., 2006).

El suelo se considera con frecuencia el sustrato fértil, pero suele no serlo, debido a que no todos los suelos son adecuados para los cultivos. Los suelos ideales para la agricultura son aquellos que tienen un aporte equilibrado de componentes minerales (arena: 0,05–2 mm, limo: 0.002–0.05 mm y arcilla: <0.002 mm), materia orgánica del suelo (MOS), aire y agua (Brady & Weil, 2004). El aporte equilibrado de estos componentes permite la retención y el drenaje del agua, el oxígeno en la zona radicular, los nutrientes que facilitan el crecimiento de los cultivos y proporcionan soporte físico a las plantas.

La distribución de estos componentes del suelo (en un suelo en particular) está influenciada por los cinco factores de formación del suelo: material parental, tiempo, clima, organismos y topografía; cada uno de estos factores desempeña un papel directo y superpuesto a la hora de influir en la idoneidad de un suelo para la agricultura. Los suelos ricos en arcilla aumentan la capacidad de retención de agua y proporcionan muchos nutrientes esenciales para las plantas. Una medida común de la fertilidad del suelo se obtiene midiendo la capacidad de intercambio de cationes (CIC) (Thi et al.,2021); la CIC es una medida de la capacidad de un suelo para intercambiar iones positivos entre las partículas del suelo y la solución que rodea a estas partículas.

El pH, que suele denominarse la variable maestra del suelo, controla una amplia gama de procesos y propiedades físicas, químicas y biológicas que afectan la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas (Neina, 2019). El pH del suelo, que refleja el nivel de acidez del suelo, influye significativamente en la disponibilidad de nutrientes de las plantas, la actividad microbiana e incluso la estabilidad de los agregados del suelo. A un pH bajo, los macronutrientes esenciales de las plantas (es decir, N, P, K, Ca, Mg y S) son menos biodisponibles que a valores de pH más altos cercanos a 7, y ciertos micronutrientes (es decir, Fe, Mn, Zn) tienden a volverse más solubles y potencialmente tóxicos para las plantas a valores de pH bajos (5-6) (Brady & Weil, 2008).

Para garantizar una agricultura sostenible y evaluar los efectos de las prácticas de gestión en los procesos del suelo, se requieren herramientas para evaluar la calidad del suelo; la evaluación de la calidad del suelo tiene numerosas aplicaciones para la gestión agrícola.

Una manera de conocer los indicadores de la calidad de los suelos sin la necesidad de realizar mediciones es a partir de bases de datos conocidas a nivel regional o mundial como son el Mapa Mundial de Suelos (SMW) y Mapa Digital de Suelos del Mundo (DSMW) de FAO/UNESCO, Servicio Global de Tierras de Copernicus (CGLS), Base de Datos Mundial Armonizada de Suelos (HWSD), Mapa mundial de suelos afectados por salinidad, Servicio Mundial de Información de Suelos (WoSIS) entre otros. Con lo anterior el objetivo de este artículo es comparar datos obtenidos de muestreos en campo contra los datos obtenidos del sistema del soilGrids 2.0, calculando los errores y las precisiones entre los datos.

Materiales y métodos

Puntos de muestreo. Se obtuvieron 45 puntos de muestreo, los sitios donde se obtuvieron los datos fueron: en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila (dentro de la sierra de Zapalinamé); en el ejido Echeverría de la Sierra, Durango, Durango; en La Soledad, Canatlán, Durango y en el ejido La Purísima, Mapimí, Durango. El muestreo de los sitios se realizó en el mes de julio del 2023 y la ubicación se muestra en la figura 1.

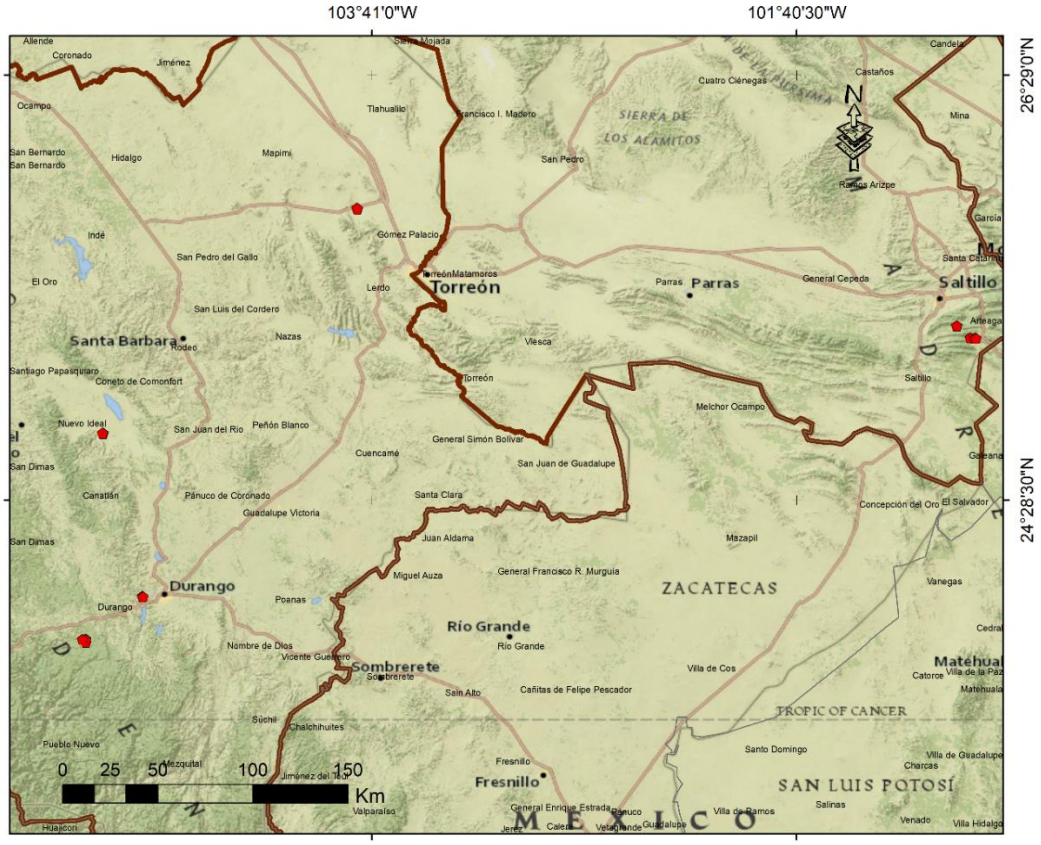


Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreos.

Obtención de datos. Para los datos de campo, la profundidad de muestreo de los sitios fue de 20 cm en las cuales se determinaron las siguientes propiedades físicas y químicas: densidad aparente, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), carbono orgánico, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, fierro, zinc, manganeso, cobre, boro, aluminio y azufre.

Se obtuvieron datos del SoilGrids 2.0 considerando las ubicaciones de los sitios de muestreo. SoilGrids es un sistema de mapeo que proporciona predicciones globales para propiedades numéricas estándar del suelo a siete profundidades estándar: 0, 5, 15, 30, 60, 100 y 200 cm (Hengl et al., 2014, 2017); están disponibles mapas de las siguientes propiedades del suelo: pH, contenido de carbono orgánico del suelo, densidad aparente, contenido de fragmentos gruesos, contenido de arena, contenido de limo, contenido de arcilla, capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno total, así como densidad de carbono orgánico del suelo y stock de carbono orgánico del suelo.

A partir de los datos muestreados y de los datos proporcionados por el SoilGrids, el análisis comparativo se realizó para la densidad aparente, pH, CIC y carbono orgánico.

Análisis de los datos. Para evaluar el desempeño de los datos observados, obtenidos del análisis realizado de las muestras en campo, con respecto a los datos estimados, obtenidos de Soilgrids 2.0, se emplearon diversas métricas estadísticas que cuantifican la desviación de las unidades de los datos de interés. El análisis incluyo el coefiente de determinación (R^2), el error absoluto medio (MAE) y la raíz del cuadrado medio del error (RMSE). El R^2 describe el grado de colinealidad que existe entre datos simulados y medidos, e indica, en el gráfico de dispersión, qué tan bien se ajustan a la línea 1:1.

$$\mathrm{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^{n} |O_i - E_i|}{n} \quad (1)$$

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (O_i - E_i)^2}{n}} \quad (2)$$

Donde: n corresponde al total de las muestras, O_i son los valores observados y E_i son los valores estimados.

Resultados y discusión

En la figura 2 se muestra la relación de las propiedades de suelo medidas y las estimadas con sus respectivos errores. En la gráfica se puede apreciar que las correlaciones entre los datos presentan un R^2 mayor a 0.7 indicando que se lograron buenas precisiones en tres de las cuatro propiedades de suelo analizadas. Para el caso de la capacidad de intercambio catiónico el R^2 obtenido fue menor a 0.5. Con respecto a los valores de RMSE, Poggio et al., (2021) encontraron valores de 0.78 en pH, 0.19 en densidad aparente y 3.6 % en carbono orgánico, estos valores son similares a los encontrados en los sitios de muestreo. Otros autores como Dandabathula et al., (2022) encontraron valores cercanos a 1 en pH en una zona árida.

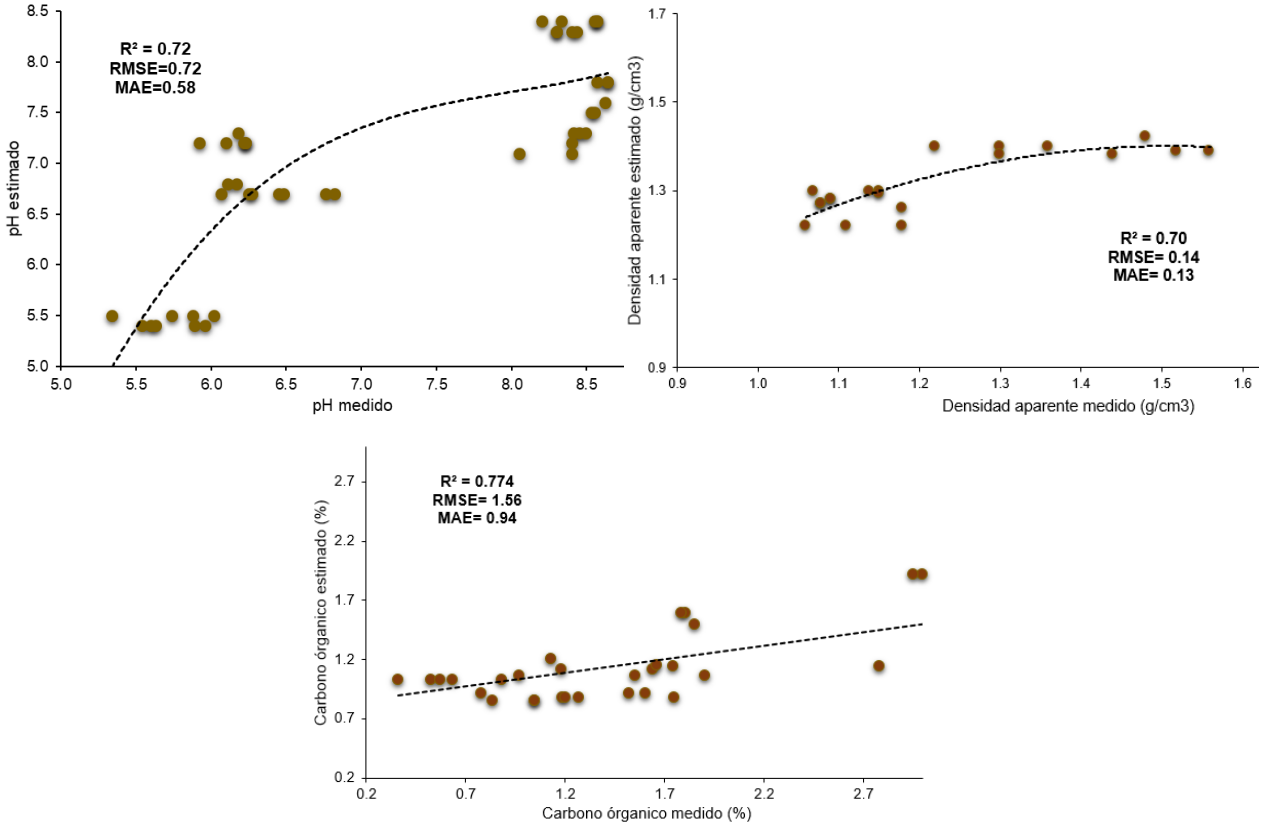


Figura 2. Relación entre los datos medidos y estimados con el SoilGrids de pH, densidad aparente y carbono orgánico.

Una de las limitantes al realizar el análisis fue la distribución espacial de los muestreos y la cantidad de datos recabados, sin embargo, al aumentar la cantidad de muestreos aumenta el costo de inversión de los análisis y muestreos, en este sentido estos datos globales de suelos se podrían calibrar localmente para reducir su error y así usarse en proyectos relacionados con las propiedades físicas y químicas del suelo.

Conclusiones

Los datos obtenidos de dataset globales permiten tener una consistencia espacial de la información como es el caso del SoilGrids, sin embargo, es necesario que se verifiquen los errores localmente y posteriormente buscar métodos para la reducción de sesgos. De acuerdo con los resultados de este trabajo se observa que a pesar de que el SoilGrids es un sistema de alta resolución no significa que proporciona datos con alta precisión, ya que se indica que la precisión es mayor para algunas variables debido a la capacidad de SoilGrids de estimar con mayor exactitud algunas de las variables que otras.

Referencias

Brady, N. C., Weil, R. R., & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils* (Vol. 13, pp. 662-710). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2004). Elements of the nature and properties of soils.

Dandabathula, G., Salunkhe, S. S., Bera, A. K., Ghosh, K., Hari, R., Biradar, P., Chirala, K.R., & Gaur, M. K. (2022). Validation of SoilGrids 2.0 in an arid region of India using in situ measurements. *European Journal of Environment and Earth Sciences*, *3*(6), 49-58.

Hengl, T., De Jesus, J. M., MacMillan, R. A., Batjes, N. H., Heuvelink, G. B., Ribeiro, E., Samuel-Rosa, A., Kempen, B., Leenaars, J. G., Walsh, M. G. & Gonzalez, M. R. (2014). SoilGrids1km—global soil information based on automated mapping. *PloS one*, *9*(8), e105992.

Hengl, T., Mendes de Jesus, J., Heuvelink, G. B., Ruiperez Gonzalez, M., Kilibarda, M., Blagotić, A., Shangguan, W., Wright, M.N., Geng, X., Bauer-Marschallinger, B., Guevara, M.A., Vargas, R., MacMillan, R. A., & Kempen, B. (2017). SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS one*, *12*(2), e0169748.

Jahn, R., Blume, H. P., Asio, V. B., Spaargaren, O., & Schad, P. (2006). *Guidelines for soil description*. Fao.

Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and environmental soil science*, *2019*(1), 5794869.

Poggio, L., De Sousa, L. M., Batjes, N. H., Heuvelink, G. B., Kempen, B., Ribeiro, E., & Rossiter, D. (2021). SoilGrids 2.0: producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty. *Soil*, *7*(1), 217-240.

Thi, D. P., Hang, N. N. T., Viet, O. T., Van, L. N., Viet, A. N., Lan, P. D. T., & Van, N. V. (2021). Sandy soil reclamation using biochar and clay-rich soil. *Journal of Ecological Engineering*, *22*(6), 26-35.

TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS DE SEMILLAS DE SOTOL (*Dasylirion wheeleri*) CON Y SIN ESCARIFICACIÓN MECÁNICA

Gustavo Flores-Wong*, Michell Alejandra Montañez-Carrillo, Fernando Hernández-Figueroa, Luis Gerardo Yáñez-Chávez

Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Km 40 Carretera Gómez Palacio-Chihuahua. CP.35230. *Autor de correspondencia: al20107118@chapingo.mx

Introducción

En particular, la latencia, en el sector forestal hace referencia a la capacidad de algunas semillas de permanecer en un estado de aparente inactividad, lo cual puede representar un obstáculo en los procesos de propagación y producción de especies vegetales. La dormición, latencia o letargo en semillas se define como la incapacidad de una semilla intacta y viable para germinar, incluso cuando se encuentran presentes las condiciones ambientales adecuadas de temperatura, humedad y oxígeno necesarias para que ocurra la germinación. Es importante destacar que existe un amplio rango de intensidades de latencia, que va desde la latencia absoluta, en la cual la germinación no se produce bajo ninguna condición, pasando por intensidades intermedias, donde las semillas pueden germinar en un rango de condiciones ambientales estrecho (por ejemplo, cuando se incuban a cierta temperatura), hasta el extremo donde no hay latencia, y las semillas pueden germinar en un amplio rango de condiciones ambientales (Varela y Arana, 2011). Durante algún tiempo se han desarrollado y buscado técnicas para romper la latencia, y garantizar la germinación. Los tratamientos pregerminativos disminuyen aquel bloqueo denominado latencia y permiten ablandar, perforar, rasgar o abrir la cubierta para hacerla permeable, sin dañar al embrión ni al endospermo que están en su interior (Ortiz-Timoteo et al., 2018). El sotol (*Dasylirion wheeleri*) tiene importancia económica, ambiental y cultural; su principal forma de reproducción es sexual, sin embargo, las semillas presentan latencia exógena, lo que dificulta su proliferación y reduce la población natural (Ortiz-López et al., 2024). Por lo tanto, en este trabajo se planteó evaluar el potencial germinativo de semillas de sotol, bajo diferentes tratamientos pregerminativos con y sin escarificación mecánica en condiciones de laboratorio.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Biotecnología de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo, en Bermejillo, Mapimí, Durango. Se localiza a 25° 51’ 35" de latitud norte y 106° 28’ 12" de longitud oeste, a una altura de 1113 msnm. Para los tratamientos pregerminativos se utilizaron semillas provenientes de una colecta realizada en abril del 2023 en la localidad Chapala, Cuencamé, Dgo., mediante el método de selección masal. En abril del 2024, se seleccionaron 400 semillas al azar de sotol (*D. wheeleri*). Antes de la aplicación de cada tratamiento, se desinfectaron en una mezcla compuesta por 10% de hipoclorito de sodio y 90% de agua durante diez minutos. Posteriormente, se enjuagaron con agua destilada para eliminar los residuos. Cada tratamiento se separó en cuatro repeticiones de 20 semillas cada una y se colocaron en círculos de papel absorbente en cajas Petri. Las muestras se etiquetaron con cinta, indicando fecha, número y especie de planta. Para evitar el daño por hongos y bacterias, se humedecieron las semillas con una solución formada por fungicida (Captan) a una proporción de 2 g L^{-1} de agua, con un atomizador. Se aplicó agua en pequeñas cantidades con el atomizador, repitiendo esta operación según fuera necesario. Los tratamientos pregerminativos se describen en el Cuadro 1. La germinación de los tratamientos pregerminativos se evaluó durante 15 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.

Cuadro 1. Tratamientos pregerminativos utilizados en el experimento.

Id de tratamiento	Característica
A	Testigo (sin escarificación mecánica ni estratificación),
B	Sin escarificación mecánica + estratificación en inmersión en agua caliente (90°C durante 60 segundos)
C	Con escarificación mecánica + tratamiento hormonal (inmersión en ácido giberélico en dosis de 500 ppm durante 30 minutos)
D	Con escarificación mecánica + estratificación en inmersión en agua caliente (60°C durante 60 segundos) e inmediatamente sumergir en agua fría (4°C durante 60 segundos)
E	Con escarificación mecánica

Nota: La escarificación mecánica fue por el método de abrasión manual de la estructura alada de la semilla.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos muestran que los tratamientos evaluados tuvieron bajos porcentajes de viabilidad cuando la semilla no fue escarificada, siendo el tratamiento B, el más alto (25%), que al compararse con el porcentaje E (con escarificación mecánica) resulta ser 65% menor (Figura 1).

Los tratamientos con menor % de viabilidad fueron el A y D (5%), seguido por el tratamiento C (11%), estos valores son claramente distintos significativamente al comportamiento que tuvo el testigo, resultado parcialmente similar a un estudio realizado por Dzib-Chi (2003), donde encontró que aquellas semillas de sotol (*D. wheeleri)* a las que no se les era retirada la cubierta, no germinaban, aunque fueran sometidas a algún tratamiento hormonal y que esto era debido a la falta de humedad que provocaba la cubierta al impedir el paso del agua, también, al igual que sus resultados se presentó contaminación en algunas cubiertas de las semillas.

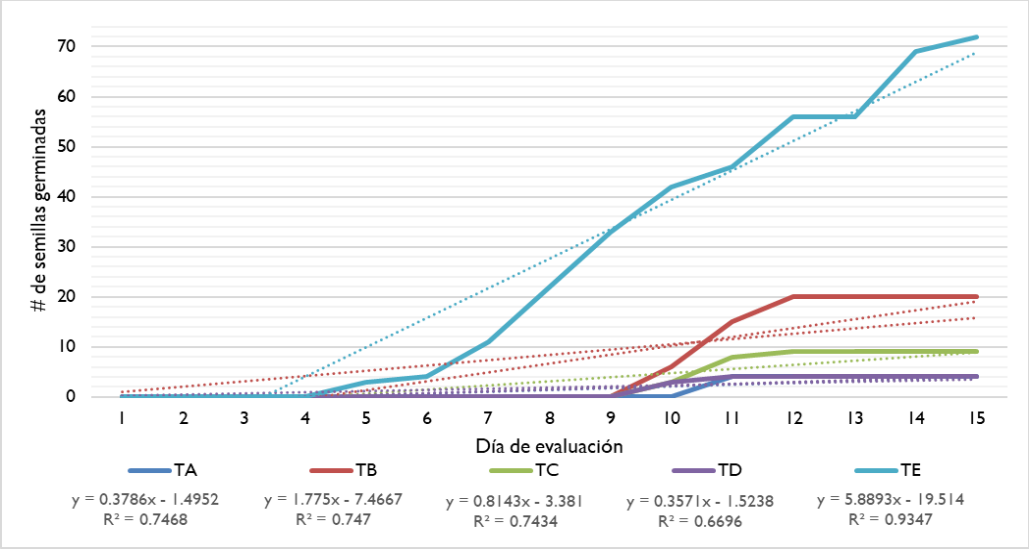


Figura 1. Comportamiento germinativo de semillas de *D. wheeleri* bajo diferentes métodos pregerminativos.

La germinación de las semillas con cubierta fue significativamente menor presentándose el % más alto con un tratamiento térmico (TB; 25%), este porcentaje obtenido es similar a lo encontrado por Rodríguez-Trejo et al., (2019), donde las semilla que contenían cubierta alcanzaron un máximo de 22.3 % de germinación y para aquellas que si fueron escarificadas alcanzó 94.3%, valor ligeramente superior a lo obtenido, 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.

El mejor tratamiento sin escarificación como se mencionó anteriormente, fue aquel en el que la semilla se sumergió en agua a 90°C durante 60 segundos, tratamiento que resultó para Rosales-Mata et al. *(2018),* ser el que mejor respuesta germinativa tuvo con esta especie, obteniendo un 37% de germinación a los 15 días de evaluación, esto pudo ser resultado de la disolución de agentes químicos inhibidores a causa de la alta temperatura, también cuando las semillas fueron expuestas a una disolución de ácido giberélico, estas aumentaron su porcentaje de viabilidad lo cual indica que los métodos de escarificación que sometan a la semilla a la sustitución o disolución de inhibidores químicos darán mejores resultados.

Conclusión

El mejor tratamiento pregerminativo para semillas de sotol (*D. wheeleri*) sin escarificar es el tratamiento B (remojo en agua a 90°C durante un minuto), con un total de 20 semillas germinadas, equivalente al 25% de viabilidad. También se sugiere que esta semilla tiene una latencia química condicionada a inhibidores que pueden ser diluidos a altas temperaturas o ante la presencia de giberelinas.

Referencias

Dzib-Chi, M.E. (2003). Rompimiento de latencia en semillas de sotol (Dasylirion cedrosanum Trel.) utilizando algunos métodos físicos y químicos. [Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro].

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

Ortiz-Timoteo, V., Ordaz-Chaparro, V. M., Aldrete, A., Escamilla Prado, E., Sánchez Viveros, G., & López-Romero, R. M. (2018). Tratamientos pregerminativos en semillas de dos especies del género Coffea. *Agroproductividad. Agroproductividad*, *11*(4), 68-73.

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. Germinación de semillas de Dasylirion lucidum Rose y Beaucarnea gracilis Lemaire de matorral xerófilo.

Rosales-Mata, S., Ríos-Saucedo, J.C., Rosales-Serna, R., y García-Rodríguez, J.L. (2018). Tratamientos pregerminativos de remojo y temperatura en semilla de Dasylirion cedrosanum. XIV Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas.

Varela, S.A & Arana, V. (2011). Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos. Silvicultura en Vivero, 3, pp 1-10. https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/11393/INTA_CRPatagoniaNorte_EEABariloche_Varela_SA_Latencia_Y_Germinacion_De_Semillas_Tratamientos_Pregerminativos.pdf?sequence=1&isAllowed

BIODIVERSIDAD BACTERIANA PRESENTE EN SUELOS DEGRADADOS EN TRATAMIENTO DE RESTAURACIÓN EN EL MUNICIPIO DE MAPIMÍ DURANGO

Sara Luna-Reyes[1*], Erika Nava-Reyna[2], Ignacio Sánchez-Cohen[2], Vicenta Constante-García[2], Jesús Arreola-Ávila[1]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas Km. 40 Carretera Gómez Palacio Chihuahua Bermejillo, Durango, México, C.P. 35230. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias CENID-RASPA, Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, Gómez Palacio, Durango. * Autor de correspondencia: sara_reyes32@hotmail.com

Introducción

La biodiversidad bacteriana suele ser un efecto impulsor de los servicios ecosistémicos, los cuales tienen una estrecha relación con el suelo y sus actividades agrícolas, con la producción de nutrientes y sobre todo con el secuestro del carbono (Mhete et al., 2020). Por otro lado, la diversidad bacteriana se encuentra influenciada por ciertos factores que van desde el tipo de suelo, el pH (el suelo con un pH neutro suele tener mayor comunidad bacteriana a diferencia de los suelos ácidos o básicos), genotipo, etapa y desarrollo de la planta presente en ese suelo, suelen determinar la estructura y composición del nicho microbiológico (Edwards et al., 2015). La degradación del suelo es una problemática que ha estado afectando a la mayor parte del mundo, principalmente sus propiedades físicoquímicas y biológicas, destacando las comunidades bacterianas por su papel en el ciclaje de nutrientes y descomposición de la materia orgánica del suelo, las cuales han sido el mejor plus para supervisar, evaluar y determinar la funcionalidad, productividad y calidad del suelo (Mhete et al., 2020) bajo diferente manejo. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar la biodiversidad bacteriana en suelos degradados bajo restauración ecológica en zonas áridas del norte de México.

Materiales y Métodos

Descripción de los sitios de estudio y muestreo. El muestreo se realizó el 27 de septiembre de 2023 en la localidad “La Purísima” del municipio de Mapimí, Durango, México (25°51’ 06.5’’ N, 103°45’08.1’’O), con temperatura media anual de 20.8 °C, precipitación media anual de 264 mm y una elevación de 1,195 msnm). Se seleccionaron tres sitios de estudio, teniendo en cuenta los diferentes usos de suelos: a) Área conservada con mezquite *Prosopis levigata* con exclusión de pastoreo ®; b) Área restaurada con mezquite *Prosopis levigata*, pastos nativos y exclusión de pastoreo ®; c) Área degradada por deforestación, uso agrícola y sobrepastoreo (D).

Se empleo una técnica de muestreo por cuadrantes en el cual se establecieron aleatoriamente 3 puntos para el muestreo con una profundidad de 0-20 cm aproximadamente. Se colocaron 0.25 g de suelo rizosférico en un Tubo BashingBead Zymo Research para lisis celular, con 750 µl de solución de lisis y se procesó cada tubo en un disruptor celular TerraLyzer™ durante 30 s; las muestras se mantuvieron en congelación hasta la extracción de ADN en el laboratorio. Extracción del ADN, secuenciación y análisis bioinformático. El ADN de las bacterias del suelo se extrajo utilizando el kit MiniPrep Fungal/Bacteria DNA de Zymo Research™. Se amplificaron las regiones V3-V4 del gen 16S ARNr, (Klindworth et al., 2013) y se secuenciaron utilizando Illumina (Illumina, 2019). Finalmente, las secuencias fueron analizadas en QIIME II (Quantitative Insights Into Microbial Ecology 2) con DADA2, Greengenes como base para predecir la abundancia de los diferentes taxones en las muestras, Excel y Morpheus (García-De la Peña, 2019).

Análisis estadístico. Se calculo la diversidad alfa con los índices de número de características (ASV), Shannon, Evenness y Faith, así como la diversidad beta mediante los índices Bray-Curtis y Unweighted Unifrac, empleando QIIME 2.

Resultados y discusión

De acuerdo con el análisis de diversidad alfa, no existió diferencia significativa entre los sitios de estudio en ninguno de los índices (Shannon: H=5.60, p=0.060; Evenness: H=3.28, p=0.1931; Número de características (ASV): H=6.48, p=0.038; Número de linajes bacterianos (Faith): H=6.48, p=0.050). Por otro lado, las áreas evaluadas presentaron diferencia significativa en los índices de diversidad beta, tanto en la prueba de comparación filogenética Unweighted Unifrac (Permanova: pseudo-F=1.28, p=0.015) como en la prueba de comparación taxonómica Bray-Curtis (Permanova: pseudo-F=1.66, p=0.026). De esta forma, todos los sitios de estudio presentan una misma diversidad local, pero con diferencias taxonómicas y filogenéticas entre sus bacteriomas. A partir de los resultados obtenidos se identificaron organismos en 39 phylum, 96 clases, 272 órdenes, 468 familias, 872 géneros y 1,167 especies bacterianas en todas las muestras de suelo con diferente grado de degradación (Figura 1).

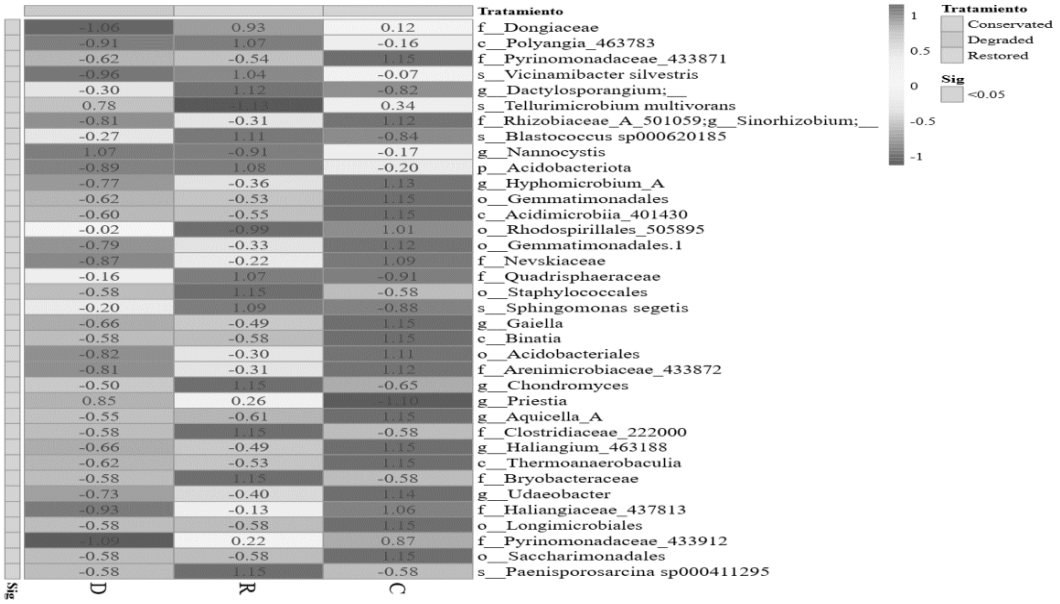


Figura 1. Heatmap de los principales géneros en suelos con diferente grado de degradación.

De acuerdo con los resultados, el suelo conservado, se favoreció con la abundancia relativa de los géneros *Gaiella* (1.15%), *Aquicella_A* (1.15%), *Haliangium_463188* (1.15%), *Udaeobacter* (1.14%) y *Priestia* (-1.10%). *Gaiella* son bacterias gram negativas estrictamente aerobias, las cuales participan activamente en el ciclo del carbono y producción de metabolitos secundarios, destacando su alto potencial de regeneración en la degradación de contaminantes en suelos (Zhang et al., 2020). Desafortunadamente este género no ha sido estudiado completamente a pesar de su abundancia en varias regiones geográficas (Mun et al., 2020). Por otro lado, el género *Aquicella_A* forma parte de la clase de las Gammaproteobacterias las cuales tienden a demostrar vida preferentemente en ecosistemas ricos en carbono (Delgado-Baquerizo et al., 2017).

Estas bacterias suelen encontrarse en diversos ecosistemas terrestres a nivel mundial (Maestre et al., 2015), sobre todo en ecosistemas donde la presencia de carbono se ve incrementada de acuerdo con los exudados de las raíces de las plantas (Rossmann et al. 2012). Por lo general, esta bacteria se encuentra en suelos con vegetación, lo cual explica su abundancia en suelos conservados. Asimismo, ciertos estudios han demostrado que las Gammaproteobacterias suelen ser una gran fuente de carbono orgánico, además de permitir la evaluación de la salud ecológica del suelo (Broszat et al., 2014). Por su parte, las bacterias del género *Haliangium_463188* pertenecen a la familia *Haliangiaceae*, las cuales son mixobacterias que son consideradas interesantes debido a su alta abundancia en ciertos ecosistemas, incluyendo el suelo (Petters et al., 2021). De acuerdo con Zhang y colaboradores (2017), las bacterias *Haliangium sp*. suelen estar implicadas en el ciclo del carbono, debido a la capacidad que estas poseen de lisar bacterias Gram positivas. Este género pertenece al filo de las Actinobacteriotas las cuales son productoras de fuentes de energía critica que apoya la resistencia en ecosistemas desérticos (Bay et al., 2021). Asimismo, este tipo de filo suele desarrollarse en ambientes oligotróficos (Zhang et al., 2019) y su abundancia tiende adaptarse en condiciones secas (Stovicek et al., 2017).

Por otro lado, en suelos del área restaurada destacaron los géneros *Chondromyces* (1.15%), *Dactylosporangium* (1.12%), las familias *Bryobacteraceae* (1.15%), *Clostridiaceae_222000* (1.15%) y la especie *Tellurimicrobium multivorans* (-1.13%). El género *Bog-159* pertenece a la familia *Bryobacteraceae,* la cual juega un papel fundamental en el aumento de la eficiencia de la utilización del carbono disponible (Fierer et al., 2007). Esta familia suele favorecer la recuperación y capacidad de la perturbación que sufren las comunidades bacterianas en el suelo (Luo et al., 2021). Además, estas bacterias son clasificadas como Gram negativas, aerobias y anaerobias facultativas ligeramente acidófilas, las cuales son capaces de reducir el Fe (III) y el nitrato y suelen presentarse en ecosistemas húmedos y en suelos ácidos (Dedysh, 2015). La familia *Clostridiaceae_222000* es considerada un elemento fundamental en la microflora del suelo (Russo et al., 2012) y tenden a formar parte de la cadena microbiana del reciclaje de nutrientes, mejorando la fertilidad del suelo (Ulrich & Becker, 2006) y son responsables de la disminución del nitrato al amonio del suelo (Pett-Ridge & Firestones, 2005). Además, estos, poseen una gama amplia de temperaturas optimas, por lo que, la mayoría suele tolerar temperaturas de 30 a 40 °C, ya que una temperatura elevada favorece su proliferación (Palmer et al., 2019).

En cuanto a los suelos degradados, los géneros bacterianos más representativos fueron *Nannocystis* (1.07%) y *Pyrinomonadaceae_433912* (-1.09%). Las bacterias del género *Nannocystis*l son halotolerantes y frecuentemente se encuentran aisladas en regiones terrestres e intermareales. Asimismo, cuenta con un excelente potencial en la producción de metabolitos con actividades biológicas de suma importancia (Dávila-Céspedes et al., 2016). Xu y colaboradores (2020) demostraron como la presencia de este género se asoció a la fijación del nitrógeno y además beneficio la inhibición de patógenos del suelo para aumentar el rendimiento del maní. Esto explica su abundancia en suelos degradados por el uso excesivo de siembras, el cual beneficia a los productores y pueden estar presentes en suelos salinos como los de Mapimí. Finalmente, la familia *Pyrinomonadaceae* son quimioorganoheterotrofos aeróbicos y son considerados termófilos capaces de tolerar un amplio rango de pH (Wüst et al., 2016). Huijun y colaboradores (2023), determinaron que estas bacterias pueden adaptarse a condiciones limitantes de nutrientes y poseen la capacidad de degradar compuestos orgánicos complejos, lo que beneficia en el proceso del ciclo de nutrientes y en la descomposición de la materia orgánica del suelo. Esto explica su importancia en suelos degradados.

Conclusiones

La abundancia relativa de las poblaciones bacterianas presentes en suelos del Municipio de Mapimí varió según el nivel de degradación y el uso de suelo. Además, se observó el aumento de las comunidades bacterianas que participan en el ciclo de N y C y la promoción del crecimiento vegetal en los tratamientos conservado y restaurado, mientras que en la zona degradada los taxa bacterianos más significativos destacan por su habilidad de soportar altas temperaturas y salinidad, lo que refleja el estado del sitio. Asimismo, metagenómica resulto ser una excelente herramienta para la evaluación de la salud de los suelos degradados en restauración del Municipio de Mapimí.

Referencias

Bay, S. K., Waite, D. W., Dong, X., Gillor, O., Chown, S. L., Hugenholtz, P., & Greening, C. (2021). Las bacterias quimiosintéticas y fotosintéticas contribuyen de manera diferencial a la producción primaria a través de un pronunciado gradiente de aridez desértica. *Revista ISME*, *15*(11), 3339-3356.

Broszat, M., Nacke, H., Blasi, R., Siebe, C., Huebner, J., Daniel, R., & Grohmann, E. (2014). El riego con aguas residuales aumenta la abundancia de gammaproteobacterias potencialmente dañinas en los suelos del Valle del Mezquital, México. *Microbiología aplicada y ambiental*, *80*(17), 5282-5291.

Dávila-Céspedes, A., Hufendiek, P., Crüsemann, M., Schäberle, T. F., & König, G. M. (2016). Mixobacterias de origen marino del suborden Nannocystineae: Una fuente poco explorada de metabolitos estructuralmente intrigantes y biológicamente activos. *Revista Beilstein de química orgánica*, *12*(1), 969-984.

Dedysh, S. N. (2015). B ryobacteraceae. *Manual de Sistemática de Arqueas y Bacterias de Bergey*, 1-4.

Delgado-Baquerizo, M., Trivedi, P., Trivedi, C., Eldridge, D. J., Reich, P. B., Jeffries, T. C., & Singh, B. K. (2017). La riqueza y la composición microbianas impulsan de forma independiente la multifuncionalidad del suelo. *Ecología Funcional*, 31(12), 2330-2343.

Edwards, J., Johnson, C., Santos-Medellín, C., Lurie, E., Podishetty, N. K., Bhatnagar, S., ... & Sundaresan, V. (2015). Structure, variation, and assembly of the root-associated microbiomes of rice. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *112*(8), E911-E920.

Fierer, N., Bradford, M. A., & Jackson, R. B. (2007). Toward an ecological classification of soil bacteria. *Ecology*, *88*(6), 1354-1364.

García-Dela Peña, C., Garduño-Niño, E., Vaca-Paniagua, F., Díaz-Velásquez, C., Barrows, C. W., Gomez-Gil, B., & Valenzuela-Núñez, L. M. (2019). Comparison of the fecal bacterial microbiota composition between wild and captive Bolson Tortoises (Gopherus flavomarginatus). *Herpetological Conservation and Biology, 14*(3), 587-600.

Huijun, L. I., Weijian, Z. H. A. N. G., Weijian, W. U., Gaoyang, L. I., Yijie, C. H. E. N., Fengcheng, H. U. A. N. G., ... y Zhen, Z. H. E. N. (2023). Efectos del arroz marino sobre las propiedades químicas del suelo y la estructura de la comunidad microbiana en los solonchaks costeros, *Revista de Ciencia y Tecnología Agrícola (1008-0864),* 25(9).

Klindworth, A., Pruesse, E., Schweer, T., Peplies, J., Quast, C., Horn, M., & Glöckner, F. O. (2013). Evaluation of general 16S ribosomal RNA gene PCR primers for classical and next-generation sequencing-based diversity studies. *Nucleic Acids Research, 41(1),* e1. Doi.org/10.1093/nar/gks808.

Luo, J., Guo, X., Liang, J., Song, Y., Liu, Y., Li, J., ... y Li, T. (2021). Influencia de un CO2 elevado sobre la estructura de la comunidad bacteriana y su red de co-ocurrencia en suelos contaminados con nanopartículas de Cr2O3. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, *779*, 146430.

Maestre, F. T., Delgado-Baquerizo, M., Jeffries, T. C., Eldridge, D. J., Ochoa, V., Gozalo, B., ... y Singh, B. K. (2015). El aumento de la aridez reduce la diversidad y abundancia microbiana del suelo en las tierras secas del mundo. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias*, *112*(51), 15684-15689.

Mhete, M., Eze, P. N., Rahube, T. O., & Akinyemi, F. O. (2020). Las propiedades del suelo influyen en la abundancia y diversidad bacteriana bajo diferentes regímenes de uso de la tierra en ambientes semiáridos. *Científico Africano*, *7*, e00246.

Mun, C. L., & Ling, C. M. W. V. (2020). Efectos de la temperatura elevada sobre la diversidad bacteriana del suelo tropical. *Sains Malayos*, *49*, 2335-2344.

Palmer, J. S., Hough, R. L., West, H. M., & Avery, L. M. (2019). Una revisión de la abundancia, comportamiento y detección de patógenos clostridiales en suelos agrícolas. *Revista europea de ciencias del suelo*, *70*(4), 911-929.

Pett-Ridge, J. & Firestone, M.K. 2005. Redox fluctuation structures microbial communities in a wet tropical soil. Applied and Environmental Microbiology, 71, 6998–7007.

Petters, S., Groß, V., Söllinger, A., Pichler, M., Reinhard, A., Bengtsson, M. M., & Urich, T. (2021). Revisión de la red trófica microbiana del suelo: ¿Mixobacterias depredadoras como taxones clave?. *Revista ISME*, *15*(9), 2665-2675.

Rossmann, B., Müller, H., Smalla, K., Mpiira, S., Tumuhairwe, J. B., Staver, C., & Berg, G. (2012). Banana-associated microbial communities in Uganda are highly diverse but dominated by Enterobacteriaceae. *Applied and environmental microbiology*, *78*(14), 4933-4941.

Russo, S.E., Legge, R., Weber, K.A., Brodie, E.L., Goldfarb, K.C., Benson, A.K. & Tan, S. (2012). Bacterial community structure of contrasting soils underlying Bornean rain forests: Inferences from microarray and next-generation sequencing methods. Soil Biology and Biochemistry, 55, 48–59.

Stovicek, A., Kim, M., Or, D., y Gillor, O. (2017). Respuesta de la comunidad microbiana a los ciclos de hidratación-desecación en suelos desérticos. *Sci. Rep.* 7:45735. doi: 10.1038/srep45735.

Ulrich, A. & Becker, R. (2006). Soil parent material is a key determinant of the bacterial community structure in arable soils. FEMS Microbiology Ecology, 56, 430–43.

Wüst, P. K., Foesel, B. U., Geppert, A., Huber, K. J., Luckner, M., Wanner, G., & Overmann, J. (2016). Brevitalea aridisoli, B. deliciosa y Arenimicrobium luteum, tres nuevas especies de Acidobacteria subdivisión 4 (clase Blastocatellia) aisladas del suelo de sabana y descripción de la nueva familia Pyrinomonadaceae. *Revista Internacional de Microbiología Sistemática y Evolutiva, 66(9), 3355-3366.*

Xu, Y., Zhang, G., Ding, H., Ci, D., Dai, L., & Zhang, Z. (2020). Influencia del estrés salino en la rizosfera, la estructura de la comunidad bacteriana del suelo y el rendimiento del crecimiento del cacahuete (Arachis hypogaea L.). *Microbiología Internacional*, *23*(3), 453-465.

Zhang, L., & Lueders, T. (2017). La diferenciación del nicho de los microdepredadores entre el suelo a granel y la rizosfera de un suelo agrícola depende de las presas bacterianas. *FEMS Microbiología Ecología*, 93(9), fix103.

Zhang, B., Wu, X., Tai, X., Sun, L., Wu, M., Zhang, W., ... y Dyson, P. (2019). Variación en la composición de la comunidad actinobacteriana y su función potencial en diferentes ecosistemas de suelo pertenecientes a la árida cuenca del río Heihe en el noroeste de China. *Fronteras de la microbiología*, 10, 2209.

Zhang, M., Riaz, M., Liu, B., Xia, H., El-Desouki, Z., & Jiang, C. (2020). Two-year study of biochar: Achieving excellent capability of potassium supply via alter clay mineral composition and potassium-dissolving bacteria activity. *Science of the total environment, 717*, 137286.

USO DE TUBOS PROTECTORES PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO INICIAL DE PLANTAS DE HUIZACHE (*Acacia schaffneri*) EN PROYECTOS DE REFORESTACIÓN

Perla Mirasol Rodríguez-Leyva[1], José Ángel Sigala-Rodríguez[2], José Luis García-Pérez[3]*, Erickson Basave-Villalobos[2], José Ángel Prieto-Ruíz[1], José Leonardo García-Rodríguez[2]

[1]Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Río Papaloapan y Blvd, Durango S/N, 34120 Durango, 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]Campo Experimental La Campana, INIFAP, Carr. Chihuahua-Ojinaga km 33.5, 32910 Cd. Aldama, Chihuahua, México. *Autor de correspondencia: garciap.luis@inifap.gob.mx

Introducción

La restauración de la vegetación nativa en ambientes semiáridos supone un enorme desafío debido a la escasez de humedad y altos niveles de temperatura y radiación. Estas condiciones ecológicas representan un fuerte filtro ambiental para el reclutamiento natural y artificial de nuevos individuos, especialmente los de reforestación (Lewandrowski et al., 2021). Además, durante los primeros meses las plantas son propensas a daños por herbivoría causada por fauna nociva, ganado doméstico (Wadud et al., 2024) y a la defoliación por insectos (Nickele et al., 2012), lo que puede reducir la supervivencia y crecimiento inicial. Para prevenir estos daños, una alternativa es el uso de cercos y repelentes químicos. No obstante, muchas de las reforestaciones se realizan en terrenos de pastoreo, lo que limita la exclusión de grandes áreas y hace necesario dotar protección individual a los árboles recién plantados (Pérez et al., 2022).

En la actualidad existen diversos modelos de protectores, los cuales varían en su estructura y material de construcción, cuyos beneficios frente a depredadores y al estrés abiótico se han reportado en numerosos estudios establecidos en diferentes ecosistemas y especies forestales (Oliet et al., 2019; Padilla et al., 2011; Rojas-Arévalo et al., 2022; Valenzuela et al., 2018). Otro factor importante en el establecimiento y arraigo de las plantas es la condición del suelo en los sitios de plantación (Villar-Salvador y Oliet, 2021). Los terrenos reforestados en zonas semiáridas abarcan suelos someros con escasa cobertura vegetal, lo que hace necesaria la construcción de obras de conservación de suelo y agua para reducir la erosión, favorecer la infiltración y la acumulación de sedimentos, y eventualmente la disponibilidad de materia orgánica y nutrientes necesarios para el establecimiento de las plantas (Comisión Nacional Forestal, 2023).

En los ecosistemas semiáridos del norte de México la protección individual de las plantas es una técnica que se ha implementado poco en los proyectos de reforestación, por lo que es importante estudiar los efectos que puedan tener en el desempeño inicial de las principales especies de interés ecológico. El presente estudio se centra en investigar cómo el uso de tubos protectores puede influir en la supervivencia y el crecimiento inicial de plantas de huizache chino (*Acacia schaffneri*) en terrenos semiáridos con obras de conservación de suelo. La importancia ecológica de *A. schaffneri*, radica en su amplia distribución natural, particularmente en las comunidades de matorral xerófilo espinoso en la región norte-centro de México (González-Elizondo et al., 2007).

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en un área de agostadero del Ejido Lázaro Cárdenas (Garabitos), municipio de Durango, Durango (24º01’05.1” N, -104º45’53.9” O) a una altitud de 1,990 m, México. El sitio corresponde a una ladera con orientación sur y una pendiente del 15%. El clima semiseco templado con lluvias en verano con un promedio de precipitación anual de 475 mm y temperatura media anual de 17°C.

La vegetación predominante es matorral y pastizal con arbustos compuesta por especies arbustivas como el huizache chino (*Acacia schaffneri*), el mezquite (*Prosopis laevigata*) y el nopal duraznillo (*Opuntia durangensis*), así como diversas de especies herbáceas y gramíneas. El suelo es somero (<25 cm) y pedregoso, el cual ha estado sometido procesos de erosión hídrica debido a la reducción de la cobertura herbácea por el sobrepastoreo. En el sitio, durante el año 2011, se realizaron obras de conservación del suelo que consistieron muros de piedra acomodada de 30 cm de alto acordonados en curvas a nivel con un espaciamiento de 25 m entre muros. Actualmente, se observa la acumulación de suelo retenido en las obras por el efecto del control de la erosión.

Se diseñó un experimento bifactorial con dos condiciones de plantación (micrositio): 1) sobre el suelo retenido por la obra de conservación y 2) en un punto sin obra, en la parte media entre los muros de piedra (Figura 1A), esto combinado con dos escenarios de protección de las plantas: 1) con protección, utilizando un tubo fabricado de polietileno (blanco lechoso) con una transmisividad del 95% (Figura 1B) y 2) sin tubo protector. Los tubos protectores tienen una altura de 61 cm y un diámetro de 10.5 cm.

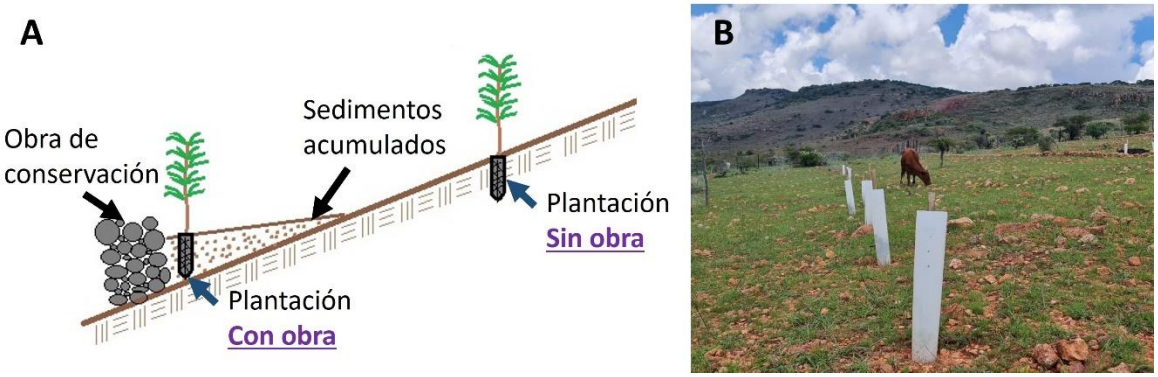


Figura 1. Esquema ilustrativo de dos micrositios de plantación (A): con y sin obra, y aspecto de los tubos protectores una vez instalados (B), factores que se evaluaron en plantas de huizache (*Acacia schaffneri*)

Por cada combinación de micrositio de plantación y protección se establecieron 20 plantas distribuidas en cuatro repeticiones de cinco plantas, con un total de 80 plantas por el experimento. Durante el experimento se registró una precipitación acumulada de 501 mm, medida con un pluviómetro de balancín. La plantación se realizó la primera semana de octubre del 2023 usando el método de cepa común y con un espaciamiento de 2.5 m entre plantas. A nivel de planta, se monitoreó la supervivencia, la afectación por herbivoría y se midió el crecimiento (altura y diámetro) en dos temporadas: a finales de invierno (febrero 2024) y principios de verano (julio 2024). Con los datos de crecimiento en ambas fechas, se calculó los incrementos en altura y diámetro. Los datos de supervivencia y porcentaje de herbivoría se analizaron ajustando un modelo lineal generalizado con una distribución binomial. Por otro lado, los datos de crecimiento e incrementos se analizaron mediante un ANOVA de dos vías. Cuando el efecto de los factores o su interacción fue significativo, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico R versión 4.4.1. (R Core Team, 2024).

Resultados y Discusión

No se encontró un efecto significativo del tubo protector en la supervivencia de las plantas (Chi^2=0.597, p=0.439). En promedio, las plantas con protección tuvieron una supervivencia de 92.9%, mientras que en plantas sin protector fue de 87.7%. Si bien, no se observaron indicios considerables de herbivoría por fauna menor (e.g., liebres o conejos), sí se observaron daños debidos a la defoliación por hormiga arriera (*Atta* sp.), principalmente a finales de invierno. En este aspecto, se encontró que el tubo protector redujo la defoliación (Figura 2); sin embargo, dicha reducción fue significativa sólo en el micrositio de plantación sin obra de conservación de suelo (interacción Obra × Protector; Chi^2=6.023, p=0.014). La mayor incidencia de daños por defoliación en las plantas establecidas con obra podría asociarse la proximidad a estos micrositios (barreras de piedras), en las cuales se crean nichos de insectos, incrementando su abundancia y, en consecuencia la vulnerabilidad de las plantas a la defoliación, pese a contar con protección (Pérez et al., 2022).

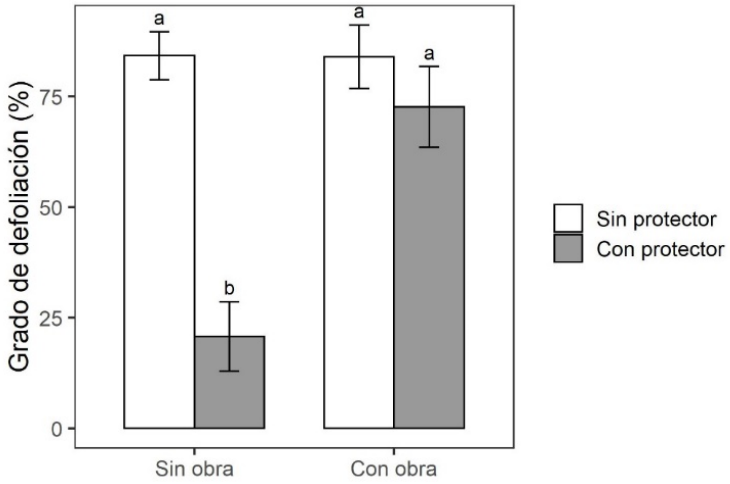


Figura 2. Porcentaje de defoliación de plantas de huizache (*Acacia schaffneri*) en dos condiciones de plantación (micrositio): 1) sin obra y 2) con obra de conservación de suelo y dos escenarios de protección: 1) sin tubo y 2) con tubo protector. Las medias con letras distintas indican diferencias significativas.

A finales del invierno, no se encontró efecto significativo del micrositio de plantación ni del tubo protector sobre el crecimiento en altura y diámetro (p>0.05, en todos los casos). Por otra parte, en principios del verano a nueve meses de plantado, se encontró un efecto significativo del tubo protector en el crecimiento de las plantas, principalmente en altura (F=16.9, p<0.001), aunque en diámetro el efecto fue marginal (F=3.83, p=0.054). Se encontró que las plantas con tubo protector tuvieron casi 40% mayor altura que las plantas sin protección (Figura 3). En esta última evaluación, el micrositio de plantación no influyó significativamente en las variables de altura y diámetro de las plantas. Aunque se esperaría que las plantas protegidas mostraran un mayor desarrollo en diámetro tal como lo reportan Valenzuela et al., (2018) en *Nothofagus pumilio*, en nuestro estudio no influyó debido a que las plantas sin protección fueron expuestas a condiciones adversas y mayor pérdida de biomasa foliar, generando episodios de estrés, lo que induce crecimiento radical y en consecuencia el engrosamiento del diámetro (García-Pérez et al., 2021).

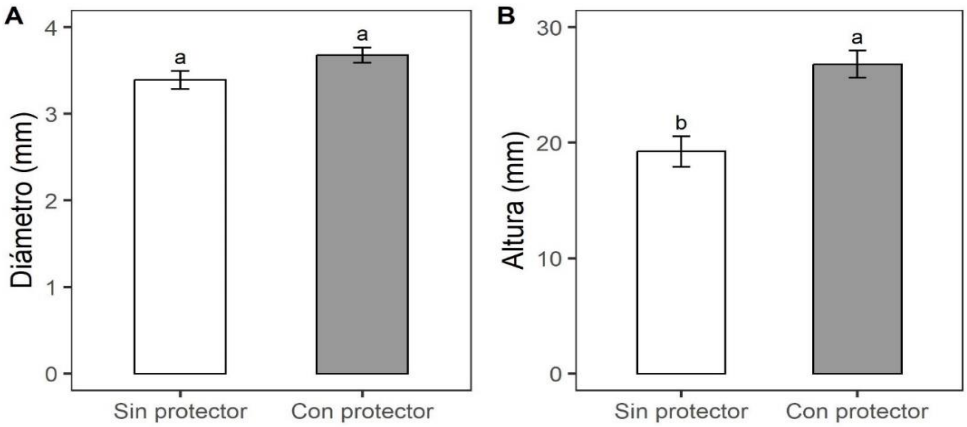


Figura 3. Valores promedio (±EE) de diámetro (A) y altura (B) de plantas de huizache (*Acacia schaffneri*) en dos escenarios de protección individual: 1) sin tubo y 2) con tubo protector. Para cada variable, las medias con letras distintas indican diferencias significativas.

En cuanto a los incrementos en la época de primavera, se encontró una interacción significativa del micrositio con el protector (F=4.41, p=0.039) en el incremento en diámetro. Se observó un incremento significativo en todas las plantas, excepto en aquellas plantadas en el micrositio sin obra y sin protector (Figura 4A). Por otra parte, se encontró un efecto significativo del protector sobre el incremento en altura (F=9.51, p=0.003), independientemente del micrositio de plantación. Las plantas con protector tuvieron incrementos de altura positivos significativos, tanto en el micrositio con obra como sin obra (Figura 4B). Esta respuesta puede atribuirse a que, en el micrositio sin obra, la disponibilidad de humedad edáfica es menor. Sin embargo, el protector crea condiciones favorables que reducen la transpiración y el estrés hídrico de las plantas (Oliet et al., 2019; Rojas-Arévalo et al., 2022). En cambio, en los sitios sin obras el uso del protector fue indiferente en el incremento en diámetro, propiciado presumiblemente por los beneficios de la obra de conservación. En cuanto al incremento en altura en ambos micrositios es consistente con lo reportado por (Bellot, 2002), en los cuales se el mayor incremento se asoció esta con la reducción de la disponibilidad de luz, cuando estas no habían alcanzado la altura del protector.

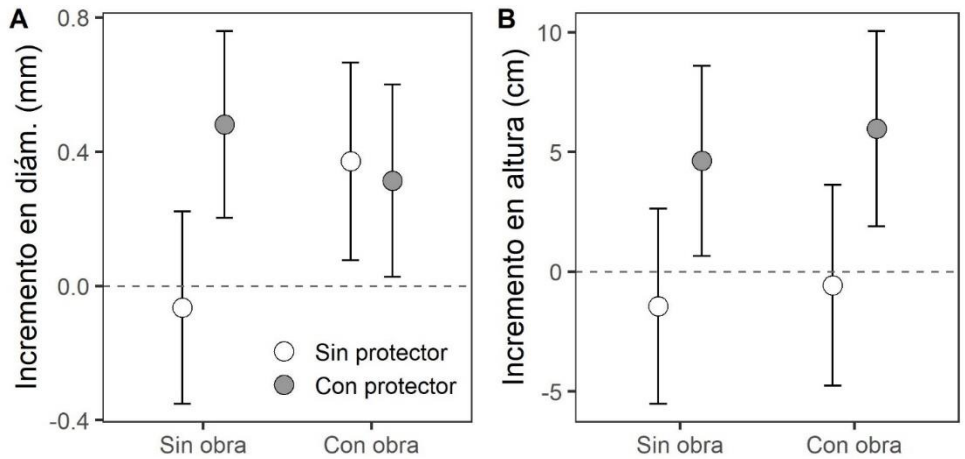


Figura 4. Valores promedio (e intervalos de confianza al 95%) de incrementos en diámetro (A) y altura (B) de plantas de huizache (*Acacia schaffneri*), durante la época de primavera de 2024, dos condiciones de plantación (micrositio): 1) sin obra y 2) con obra de conservación de suelo y dos escenarios de protección: 1) sin tubo y 2) con tubo protector.

Conclusiones

El uso de protectores individuales en reforestaciones de huizache chino (*Acacia schaffneri*) redujo el daño por herbívoros y la defoliación por insectos, pero este efecto se neutralizó en las plantas establecidas cerca de las obras de conservación de suelo (barreras de piedra). Por otra parte, el uso de protectores mejoró el desempeño de las plantas, especialmente en el crecimiento en altura. En cambio, el desarrollo en diámetro fue menos sensible al uso de protectores salvo cuando se plantó sin obras de conservación. Estos resultados pueden tener implicaciones prácticas en la ejecución de los programas de reforestación destinados a la recuperación de poblaciones naturales de *Acacia schaffneri,* especialmente en sitios semiáridos degradados.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado con recursos fiscales del INIFAP mediante el proyecto “Integración de tecnologías para la restauración agroecológica de tierras marginales en ecosistemas semiáridos del Norte-Centro de México”.

Referencias

Bellot, J. (2002). The effects of treeshelters on the growth of Quercus coccifera L. seedlings in a semiarid environment. *Forestry*, *75*(1), 89-106. https://doi.org/10.1093/forestry/75.1.89

Comisión Nacional Forestal. (2023). *Manual de Obras y Prácticas de Protección, Restauración y Conservación de Suelos Forestales* (6a edición).

García-Pérez, J. L., Oliet, J. A., Villar-Salvador, P., & Guzmán, J. E. (2021). Root Growth Dynamics and Structure in Seedlings of Four Shade Tolerant Mediterranean Species Grown under Moderate and Low Light. *Forests*, *12*(11), 1540. https://doi.org/10.3390/f12111540

Gonzalez-Elizondo, M. S., Gonzalez-Elizondo, M., & Márquez Linarez, M. A. (2007). *Vegetación y ecorregiones de Durango* (Primera Edición). Plaza y Valdez.

Lewandrowski, W., Stevens, J. C., Webber, B. L., L. Dalziell, E., Trudgen, M. S., Bateman, A. M., & Erickson, T. E. (2021). Global change impacts on arid zone ecosystems: Seedling establishment processes are threatened by temperature and water stress. *Ecology and Evolution*, *11*(12), 8071-8084. https://doi.org/10.1002/ece3.7638

Nickele, M. A., Reis Filho, W., Oliveira, E. B. D., Iede, E. T., Caldato, N., & Strapasson, P. (2012). Leaf-cutting ant attack in initial pine plantations and growth of defoliated plants. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *47*(7), 892-899. https://doi.org/10.1590/s0100-204x2012000700003

Oliet, J. A., Blasco, R., Valenzuela, P., Melero de Blas, M., & Puértolas, J. (2019). Should we use meshes or solid tube shelters when planting in Mediterranean semiarid environments? *New Forests*, *50*(2), 267-282. https://doi.org/10.1007/s11056-018-9659-z

Padilla, F. M., Miranda, J. D. 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: Tree shelter tubes in arid restorations. *Applied Vegetation Science*, *14*(1), 31-39. https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2010.01094.x

Pérez, D. R., Díaz, M., Duarte Baschini, C., & Sabino, G. (2022). Hidrogel y protección contra mamíferos en plantaciones de restauración ecológica en tierras secas: Una evaluación en Prosopis denudans var. denudans. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, *57*(2). https://doi.org/10.31055/1851.2372.v57.n2.34107

R Core Team (2024). _R: A Language and Environment for Statistical Computing_. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

Rojas-Arévalo, N., Ovalle, J. F., Oliet, J. A., Piper, F. I., Valenzuela, P., Ginocchio, R., & Arellano, E. C. (2022). Solid shelter tubes alleviate summer stresses during outplanting in drought-tolerant species of Mediterranean forests. *New Forests*, *53*(3), 555-569. https://doi.org/10.1007/s11056-021-09872-z

Valenzuela, P., Arellano, E. C., Burger, J., Oliet, J. A., & Perez, M. F. (2018a). Soil conditions and sheltering techniques improve active restoration of degraded Nothofagus pumilio forest in Southern Patagonia. *Forest Ecology and Management*, *424*, 28-38. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.042

Wadud, A. I., Bugalho, M. N., & Vaz, P. G. (2024). Meta-analysis of livestock effects on tree regeneration in oak agroforestry systems. *Journal of Environmental Management*, *364*, 121498. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121498

Villar Salvador, P., & Oliet Palá, J. A. (2021). 3. Factores y procesos ecofisiológicos determinantes del arraigo y establecimiento de las plantas en las repoblaciones forestales. En R. Serrada Hierro, Bases técnicas y ecológicas del proyecto de repoblación forestal (Vol. 1, pp. 89-127). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE NUEVE ECOTIPOS DE *Setaria machrostachya* EN SAN LUIS POTOSÍ

Mauricio Velázquez Martínez[1]*, Pedro Hernández Rojas[2], Rosendo Hernández Martínez[3], Miguel Ángel Mata Espinosa[4], Edith Ramírez Segura[5].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental San Luis, km 14.5 Carretera San Luis - Matehuala. Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. C.P. 78430. [2]INIFAP, Sitio Experimental Zaragoza, km. 21.5 Carr. Zaragoza – Ciudad Acuña, Zaragoza, Coahuila, México., C.P. 26450. [3]INIFAP, Campo Experimental Río Bravo, Tamaulipas, México. km. 61 Carr. Matamoros-Reynosa C.P. 88900. [4]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Km. 40 Carr. Gómez Palacio – Chihuahua. Bermejillo, Durango, México C.P. 35230. [5]INIFAP, CENID Agricultura Familiar, km. 8.4 Carr. Lagos de Moreno – San Luis Potosí. Ojuelos de Jalisco, Jalisco, México. C.P. 47540. *Autor de correspondencia: velazquez.mauricio@inifap.gob.mx.

Introducción

El sobrepastoreo en las zonas de escasa precipitación en México ha ocasionado desde la década de 1950 la disminución en producción forrajera (Jurado et al., 2021), así mismo, Quero-Carrillo et al. (2014), mencionan que México tiene 83 % de la superficie enclavada en zonas semiáridas, sin embargo, la producción forrajera depende de las lluvias veraniegas y los recursos forrajeros no son aprovechados de manera sistemática y ordenada.

El conocimiento de las especies gramíneas forrajeras nativas mexicanas es importante para estudiar la producción de forraje en temporal y su calidad ante la escasa precipitación, y de esta manera, organizar el pastoreo y recuperar tierras de pastizal (Gómez-Guzmán et al., 2023). *Setaria machrostachya* Kunt. HBK conocido como zacate tempranero es una planta nativa de gran importancia forrajera con amplia distribución en el estado de Chihuahua (Melgoza et al., 2008). reportan hasta un 13% de proteína cruda y 69% de digestibilidad. Sin embargo, entre otros factores, el sobrepastoreo ha provocado la reducción y desaparición de poblaciones de esta especie.

La amplia variabilidad genética y las características morfológicas de las diferentes poblaciones servirán de base para la selección de las mismas con diversos propósitos en la rehabilitación de ecosistemas (Morales-Nieto et al., 2015). El objetivo del presente estudio fue evaluar bajo un mismo ambiente altura del follaje y número de espigas de nueve ecotipos de *Setaria machrostachya*.

Materiales y métodos

Sitio experimental. El estudio se realizó el Campo Experimental San Luis del INIFAP, ubicado en el ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. El lugar está situado a 1850 metros sobre el nivel del mar, coordenadas geográficas Latitud (dec): 22.228928 y Longitud (dec): -100.850599. Se estableció un lote experimental *ex situ* el 18 de julio del 2024. Los ejemplares de *Setaria machrostachya* fueron recolectados en el año 2023 y 2024 en los estados de Tamaulipas, Coahuila, Durango y San Luis Potosí.

Se colectaron tres ejemplares completos en bolsas para vivero de 20 cm de ancho por 30 cm de largo; la parte área se podo a una altura aproximada de 15 cm, cada planta fue identificada con un número de recolecta. Cada uno de los ecotipos represento una población de acuerdo al lugar de origen. Cada población estaba separada por una distancia aproximada de 100 km o 50 km si la altura sobre el nivel del mar aumentaba o disminuía 500 m.

Manejo experimental. La preparación de terreno se realizó el 29 de abril 2024 y constó de barbecho con arado de vertedera, dos pasos de rastra y niveladora agrícola. El trasplante fue manual, en hileras de 1.5 m y distancia de planta en hilera de 1 m, en arreglo de tresbolillo. De cada genotipo se sembraron 6 macollos de zacate (tres por hilera, cada hilera fungió como un bloque), como surco orillero se pusieron plantas de *Sporobolus airoides*. Para la siembra se hicieron hoyos de 30 cm de profundidad y 15 cm de diámetro, se agregó un litro de agua a cada hoyo y luego se rellenó con la misma tierra hasta que quedara de una profundidad de 15 cm donde se plantó parte de un macollo, se volvió agregar un litro de agua, los primeros tres días se rego diario con un litro de agua por planta, posteriormente tres veces a la semana un litro de agua. El trasplante se realizó el 18 de julio del 2024. La medición de al altura y número de espigas se realizó el día 13 de septiembre de 2024, es decir 58 días después de trasplante (ddt). Antes del trasplante re realizó un corte de uniformización a una altura aproximada de 10 cm.

Variables estudiadas. Las variables fueron altura del follaje y número de espigas por planta. Se consideró la altura de manera general de la planta, cuando el conjunto de hojas tendiese a inclinarse horizontalmente o hacia abajo; se consideró a espigas completamente abiertas y espigas que comenzaban a aparecer a través de la vaina de la hoja bandera (desembuchado de la espiga).

Análisis de datos. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza usando el programa estadístico SAS/STAT (2010) y, las medias se compararon con prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$), previo a homogeneidad de varianza de Bartlett. El modelo para variables producción de forraje fue:

$$Y_{ij} = \mu + Trat_i + Bloq_j + e_{ij}$$

En el cual Y_{ij} = es la variable respuesta en el tratamiento *i, repetición j*; μ = media general; $Trat_i$ = efecto del tratamiento *i*, donde *i* = 1, 2 y 3; $Bloq_j$ = efecto del bloque *j*; e_{ij} = error aleatorio.

Resultados y discusión

Se observó diferencia en la altura del follaje ($P<0.001$), donde las poblaciones de Guadalcazar y Villa de Guadalupe presentaron la mayor altura 19 y 18.5 cm, respectivamente; las poblaciones de Hidalgo Durango y Rioverde San Luis Potosí presentaron menor altura respecto a las dos primeras ($P<0.05$: Figura 1). La altura del rebrote de los zacates es una forma indirecta de medir el vigor y potencial que puede tener esa población en la producción de biomasa forrajera.

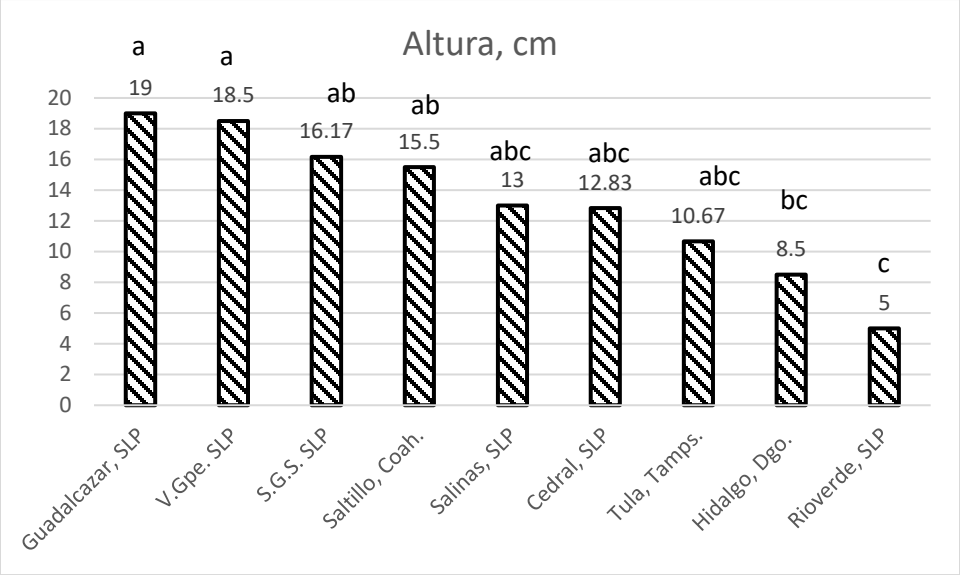


Figura 1. Altura del follaje de 9 ecotipos de *Setaria machrostachya*, establecidas *ex situ* en condición de riego, 58 días después de trasplante en Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. a,b,c Medias con mismas literales en barras, no difieren estadísticamente (P>0.05). V.Gpe. = Villa de Guadalupe; S.G.S. = Soledad de Graciano Sánchez.

No se observó diferencia en el número de espigas por planta por origen de la población de zacate tempranero (P=0.6869) y no se detectó efecto de bloque (P=0.7966), el promedio general fue 2.04 espigas; los resultados se muestran en el cuadro 1. Aun cuando no se encontró diferencia en el número de espigas por ecotipo, Quero-Carrillo y Miranda-Jiménez (2023) menciona que es importante seguir evaluando *Setaria machrostachya* debido a que, no existe semilla comercial producida en México, por lo que el presente trabajo deberá continuar evaluando los ecotipos cuando tengan al menos dos años de establecidos.

Cuadro 1. Promedio de espigas por planta de nueve ecotipos de *Setaria machrostachya*, establecidas *ex situ* en condición de riego, 58 días después de trasplante en Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.

Población	Ecotipo	Promedio de espigas por planta
Soledad de Graciano Sánchez, SLP	5	3.33
Guadalcazar, SLP	3	3.16
Villa de Guadalupe, SLP	2	2.66
Cedral, SLP	7	1.83
Salinas de Hidalgo, SLP	8	1.83
Saltillo, Coahuila.	1	1.5
Rioverde, SLP	9	1.33
Tula, Tamaulipas.	4	0.66
Hidalgo, Durango.	6	0

La colección ex situ de nueve ecotipos de *Setaria machrostachya* presento una amplia variación en la altura de follaje, tal como lo consigno Morales et al. (2015) en una evaluación de 44 poblaciones de zacate tempranero del estado de Chihuahua, debido probablemente a las condiciones ambientales de los sitios de origen. Además Morales et al. (2015) encontraron correlación significativa de producción de materia seca con la altura del follaje (r= 0,48; p≤0,0009), por lo que en el presente trabajo los ecotipos 3, 2 y 5 pueden considerarse para seguirlos evaluando con fines forrajeros.

Conclusiones

Bajo un mismo ambiente, la amplia variabilidad genética de las poblaciones se logró expresar en altura del follaje, los ecotipos 3, 2 y 5 de *Setaria machrostachya* presentaron la mejor altura y pueden ser considerados para futuras evaluaciones con fines forrajeros. El número de espigas por planta en las diferentes poblaciones no tuvo diferencias bajo un mismo ambiente, si embargo, esta variable en zacates se recomienda seguir midiendo hasta el segundo y tercer años de establecido. El estudio esta limitado en el primer año a que se establezca *ex situ* las plantas de las diferentes poblaciones, tener un seguimiento de uno a tres años y medir otras variables como calidad y producción de forraje, cantidad y calidad de semillas, caracterización morfológica, entre otras.

Referencias

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 2(3):261-285.* https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5875.

Gómez-Guzmán G., Mendoza-Pedroza S.I., Hernández-Guzmán F.J., Rodríguez-Ortega L.T., Álvarez-Vázquez P., Zúñiga-Estrada E.A. (2023). Forage and vegetal characterization of three native mexican grasses in Tulancingo de Bravo, Hidalgo. *Agro Productividad 16(12) suplemento: 75-80.* https://doi.org/10.32854/agrop.v16i12.2771.

Quero-Carrillo y Miranda-Jiménez (2023). Tempranero *Setaria machrostachya* Kunt. HBK. *In:* AR Quero C y E. Flores A (eds). Gramíneas nativas. Importancia e Impacto en Ecosistemas Ganaderos. *Libro Técnico Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. pp: 914-219.*

Quero-Carrillo A.R., Miranda-Jiménez L., Hernández-Guzmán F.J., Rubio A.F.A. (2014) Mejora del establecimiento de praderas. *Folleto técnico. Colegio de Postgraduados. 31p.* DOI:10.13140/2.1.5101.2161.

Melgoza, A., Morales C.R., Sierra J.S., Royo M.H., Quintana G., Lebgue T. (2008). Manual práctico para la identificación de las principales plantas en los agostaderos de Chihuahua. *Segunda edición Unión Ganadera Regional de Chihuahua-Fundación PRODUCE Chihuahua. 214 p.*

Morales-Nieto C., Avendano-Arrazate C., Melgoza-Castillo A., Martínez-Salvador M., Jurado-Guerra P. (2015). Caracterización morfológica y molecular de poblaciones de zacate tempranero (*Setaria macrostachya* Kunth) en Chihuahua, México. *Revista Internacional de Botánica Experimental. FYTON ISSN 0031 9457, 84: 190-200.*

SAS/STAT. (2010). Statistical Analysis System for windows. Version 9.3. *SAS Institute Inc., Campus Drive, Cary, North Carolina 27513*.

CONCENTRACIÓN DE FENILPROPANOIDES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE DIFERENTES GENOTIPOS DE DURAZNO (*Pronus persica*)

Mayra Denise Herrera[1*], Manuel Antonio Galindo Reyes[2], Valentín Melero Meraz[1], Getsemaní Alejandra Ibarra Vázquez[1]

[1]INIFAP-CEZAC. Carretera Zacatecas-Fresnillo, km. 24.5, Calera de V.R., Zacatecas, México. C.P. 98500. [2]INIFAP-CEPAB. Km 32.5 Carretera Aguascalientes-Zacatecas Pabellón de Arteaga, Ags. C.P. 20660. [3]CECYTEZ-Calera. Nicolás Bravo No. 801. Colonia Francisco Madero, Calera de V.R., México. C.P. 98507. *Autor de Correspondencia: mayradherrera@gmail.com

Introducción

Los compuestos fenólicos son un gran grupo de metabolitos secundarios de las plantas. Hasta ahora, se han identificado más de 8000 fenoles dietéticos, y sus perfiles de distribución y acumulación pueden verse afectados tanto por factores genéticos como ambientales (Del Río et al., 2013). Curiosamente, los perfiles fenólicos distintivos se pueden utilizar como marcadores taxonómicos (Peterson et al., 2006). De ahí la importancia de ser considerados en el mejoramiento genético de cualquier cultivo. Los duraznos (*Prunus persica*) son importantes desde el punto de vista nutricional y económico y son una de las frutas más consumidas en todo el mundo. Una gama tan amplia de cultivares proporciona importantes recursos genéticos para la evaluación del perfil fenólico. Hasta el momento, se han caracterizado compuestos fenólicos en germoplasmas de durazno cultivados en diferentes regiones, como EE. UU. (Cevallos-Casals et al., 2006), Italia (Di Vaio et al., 2008), Brasil (Rossato et al., 2009) y Pakistán (Manzoor et al., 2012). Como resultado, se han identificado varios compuestos fenólicos en frutos de durazno (Scordino et al., 2012). Según Lu et al. (2017), las propiedades antioxidantes de los componentes fenólicos se atribuyen a sus capacidades de eliminación de radicales libres y quelación de metales, así como a sus efectos sobre la expresión genética. En particular, es un hecho establecido que los duraznos contienen cantidades de compuestos fenólicos, como ácido clorogénico, ácido neoclorogénico, catequina, epicatequina y derivados de cianidina y quercetina, que contribuyen significativamente a la actividad antioxidante total. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue realizar la cuantificación de diferentes familias de compuestos fenilpropanoides (compuestos fenólicos) y la evaluación de la capacidad de inhibición de radicales libres (capacidad antioxidante) de diferentes genotipos de durazno.

Materiales y métodos

Preparación de las muestras de durazno. La recepción de los genotipos de duraznos fue en el Laboratorio de Alimentos Funcionales del INIFAP Campo Experimental Zacatecas. Las frutas fueron cortadas en 4 partes para frigoconservarlas a -70°C hasta su liofilización para deshidratar las muestras. Posteriormente, fueron molidas en un molino doméstico y almacenadas en bolsas herméticas protegiendo de la luz y en un ambiente fresco.

Caracterización fitoquímica de los materiales

Extracción de polifenoles. Se obtuvo un extracto acetónico de los compuestos fenólicos siguiendo la metodología de Xu et al., (2007), se pesó un gramo de muestra liofilizada 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 los compuestos fenólicos totales y flavonoides.

Cuantificación de polifenoles y flavonoides totales. Los compuestos fenólicos totales se cuantificaron mediante el ensayo de Folin-Cioacalteu (Singleton et al., 1999) y los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (mg EAG/g) utilizando una curva estándar de ácido gálico con un rango de linealidad de 0 a 0.32 mg/mL (R2 = 0.99). 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).

Cuantificación de antocianinas totales. Previamente a la cuantificación de antocianinas se realizó la extracción de antocianinas con una solución de extracción 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 de la absorbancia obtenidos se sustituyó en la siguiente formula:

C=(A⁄ε)*PM*(1⁄(g de muestra)*[10]^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.

Evaluación de la capacidad antioxidante por medio del ensayo de ABTS y DPPH. La capacidad antioxidante fue determinada por la capacidad de los extractos del polvo para eliminar el radical estable 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH) de acuerdo con el método descrito por Brand-Williams et al. (1995). La capacidad de eliminación de radicales libres de las muestras del ácido 2,2-azinobis-3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico (ABTS) se evaluó como se describe por Machado et al. (2008). Los resultados de ABTS y DPPH se expresan como porcentaje de inhibición.

Análisis estadístico. El análisis estadístico se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA). Se consideraron diferencias estadísticamente significativas entre los fitoquímicos cuando el valor de probabilidad fue <0.05 con la prueba de Tukey. Los análisis fueron realizados en el programa JMP versión 5.0.1.

Resultados

Debido a las correlaciones significativas observadas entre los contenidos fenólicos y diversas propiedades bioactivas, se han realizado numerosos estudios para seleccionar nuevos genotipos ricos en compuestos fenólicos y propiedades nutricionales mejoradas. En este estudio se encontró que, si bien la concentración de fenoles totales (Figura 1a) fue similar entre tres genotipos, incluido Florencia, este material de durazno tuvo la mayor concentración de flavonoides y antocianinas (Figura 1b y c).

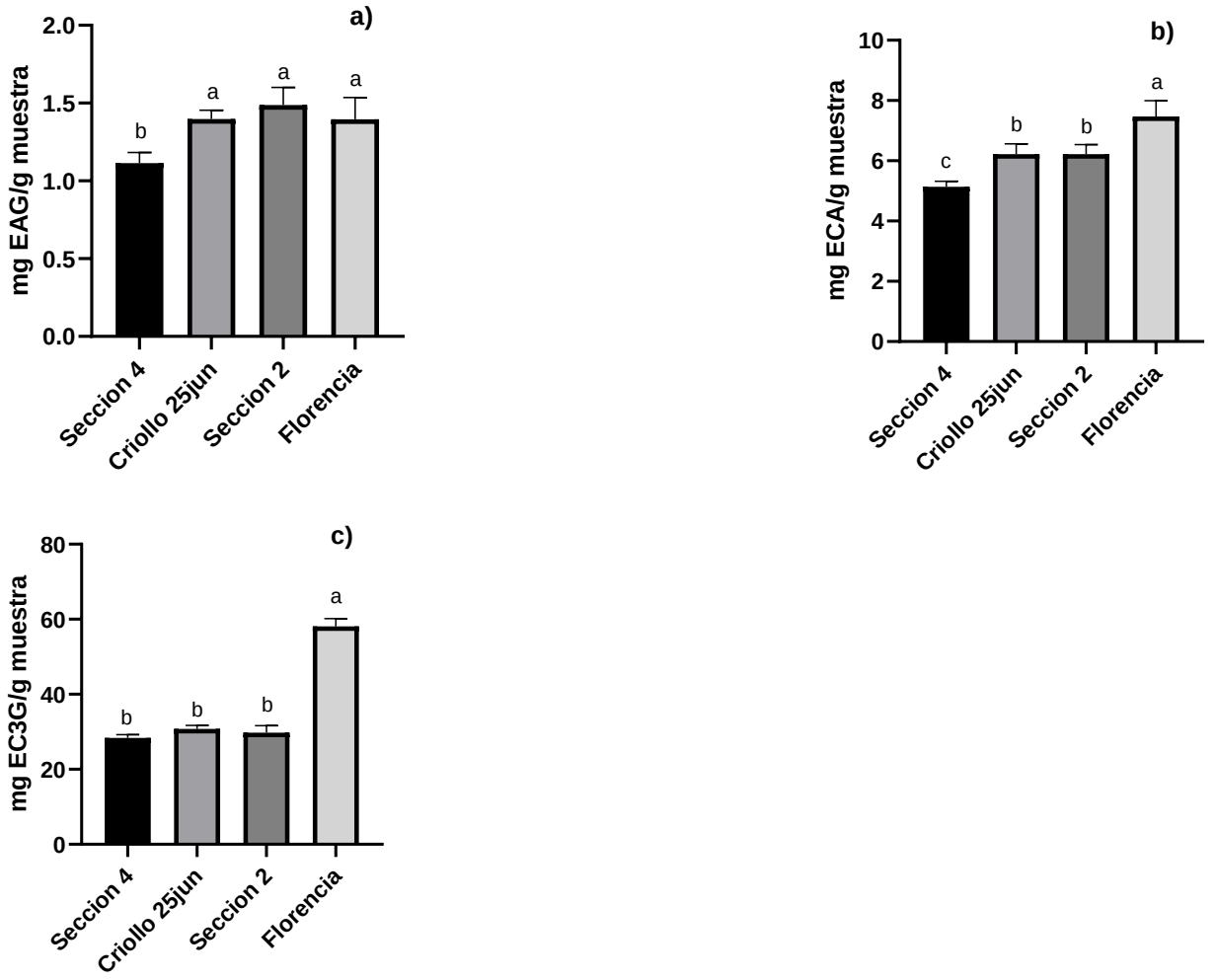


Figura 1. Concentración de a) fenoles totales, b) flavonoides y c) antocianinas en diferentes genotipos de durazno. Los datos se muestran como la media ± EE. Letras diferentes entre barras representan diferencia significativa ($p<0.05$) con la prueba de Tukey.

Los compuestos polifenólicos han sido ampliamente estudiados en el área de ciencia de alimentos por la inversa correlación entre su ingesta a través de frutas y verduras y la incidencia de padecer enfermedades crónicas no trasmisibles como enfermedades cardiovasculares, cáncer, obesidad y diabetes (de la Rosa et al., 2019). En este contexto, se ha atribuido a los polifenoles (flavonoides y antocianinas) un amplio potencial para reducir las complicaciones de algunas de estas enfermedades (Gamboa-Gómez et al., 2015).

Por otro lado, los estudios antioxidantes *in vitro* proporcionaron una sólida justificación bioquímica del beneficio de los polifenoles de las frutas de durazno, y la base para estudios *in vivo* posteriores en animales y seres humanos. La Figura 2 muestra el potencial de los genotipos de durazno para inhibir a los radicales libres ABTS y DPPH. Es interesante observar que a pesar de que Florencia fue el genotipo más sobresaliente en cuanto a su concentración de fenilpropanoides, fue el que tuvo la menor capacidad de inhibir el radical ABTS, no obstante, tuvo un incremento significativo en cuanto la inhibición de DPPH, lo que pudiera estar asociado a su elevada concentración de flavonoides y antocianinas.

Según de Santiago et al. (2018), las propiedades antioxidantes de los vegetales dependen de la presencia de constituyentes antioxidantes como los compuestos fenólicos, lo que concuerda con lo reportado para la inhibición de DPPH.

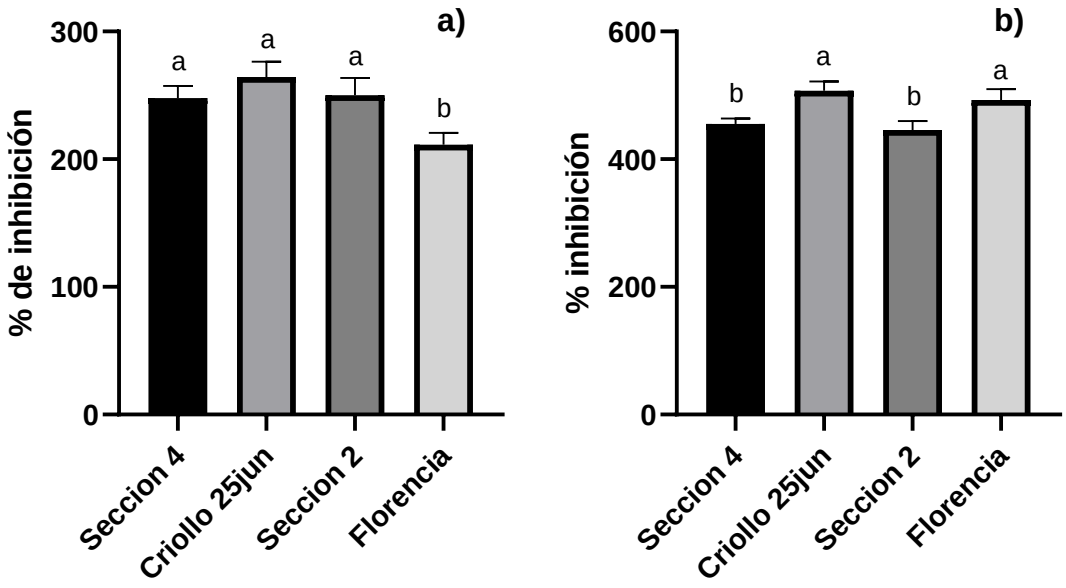


Figura 2. Capacidad de inhibición (%) de a) ABTS y b) DPPH de diferentes genotipos de durazno. Los datos se muestran como la media ± EE. Letras diferentes entre barras representan diferencia significativa ($p<0.05$) con la prueba de Tukey.

Conclusiones

En el presente estudio, se investigó el contenido de compuestos fenólicos y las actividades antioxidantes de 4 cultivares de durazno. Con base en el perfil fenólico en la cáscara, nuestros resultados mostraron una clara distinción entre los fenoles en diferentes tipos de durazno, lo que indicó la aplicación potencial de los compuestos fenólicos en las clasificaciones de esta fruta, así como en el mejoramiento genético. Nuestros hallazgos brindan información útil para futuros estudios y utilización del germoplasma de duraznero en los programas de fitomejoramiento.

Referencias

Cevallos-Casals B.A., Byrne D., Okie W.R., Cisneros-Zevallos L. (2006). Selecting new peach and plum genotypes rich in phenolic compounds and enhanced functional properties. Food Chem. 96:273–280.

de la Rosa, L.A., Moreno-Escamilla, J.O., Rodrigo-García, J., Alvarez-Parilla, E. (2019). Phenolic compounds. In Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruts and Vegetables. 254 Pp

Del Rio D., Rodriguez-Mateos A., Spencer J.P.E., Tognolini M., Borges G., Crozier A. (2013). Dietary (poly)phenolics in human health: Structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases. Antioxid. Redox Signal.18:1818–1892.

de Santiago, Elsy, Maite Domínguez-Fernández, Concepción Cid, and María-Paz De Peña. (2018). Impact of Cooking Process on Nutritional Composition and Antioxidants of Cactus Cladodes (*Opuntia Ficus-Indica*). Food Chemistry 240.

Di Vaio C., Graziani G., Marra L., Cascone A., Ritieni A. (2008). Antioxidant capacities, carotenoids and polyphenols evaluation of fresh and refrigerated peach and nectarine cultivars from Italy. Eur. Food Res. Technol. 227:1225–1231.

Gambóa-Gómez, C.I., Rocha-Guzmán, N.E., Gallegos-Infante, J.A., Moreno-Jiménez, M.R., Velázquez-Cabral, B.D., González-Laredo, R.F. (2015). Plants with potential use in obesity and its complication. Excli Journal. 23 p.

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.

Manzoor M., Anwar F., Mahmood Z., Rashid U., Ashraf M. (2012). Variation in minerals, phenolics and antioxidant activity of peel and pulp of different cultivar of peach (*Prunus persica* L.) fruit from Pakistan. Molecules.17:6491–6506.

Peterson J.J., Dwyer J.T., Beecher G.R., Bhagwat S.A., Gebhardt S.E., Haytowitz D.B., Holden J.M. (2006) Flavanones in oranges, tangerines (mandarins), tangors, and tangelos: A compilation and review of the data from the analytical literature. J. Food Compos. Anal. 19: S66–S73.

Rossato S.B., Haas C., Raseira M.D.C.B., Moreira J.C.F., Zuanazzi J.Â.S. (2009). Antioxidant potential of peels and fleshes of peaches from different cultivars. J. Med. Food. 12:1119–1126.

Singleton VL, Orthofer R, Lamuela RM. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Methods in enzymology, 299, 10 p.

Scordino M., Sabatino L., Muratore A., Belligno A., Gagliano G. (2012). Phenolic characterization of Sicilian yellow flesh peach (*Prunus persica* L.) cultivars at different ripening stages. J. Food Qual. 35:255–262.

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.

CARACTERIZACIÓN FITOQUÍMICA DE MATERIALES DE CHILE (*Capsicum annuum*)

Mayra Denise Herrera[1*], Cristobal Evri Bautista Pérez[2], Getsemaní Alejandra Ibarra Vázquez[1], Ulises Santiago López[3]

[1]INIFAP-CEZAC. Carretera Zacatecas-Fresnillo, km. 24.5, Calera de V.R., Zacatecas, México. C.P. 98500. [2]INIFAP-Campo Experimental Las Huastecas. Carretera Tampico-Mante km. 55, Villa Cuauhtémoc, Tamaulipas, México. C.P. 89610. 4INIFAP-Sitio Experimental Ébano. Carretera Valles-Tampico, km 67, Ébano, San Luis Potosí, México. C.P. 79293. [3]INIFAP-Campo Experimental Villa de Etla. Melchor Ocampo No.7, Sto. Domingo Barrio Bajo, Villa de Etla, Oaxaca, México C.P. 68200 *Autor de Correspondencia: mayradherrera@gmail.com

Introducción

Los diversos materiales de chile que existen pertenecen al género *Capsicum*. *C. annuum, C. frutescens, C. chinense, C. pubescenes* y *C. baccatum* se cultivan a nivel nacional e internacional. De estos, *C. annuum* es el que se cultiva más extensamente. El chile es uno de los alimentos más consumidos, no solo a nivel nacional, sino, entre diferentes países. Tienen diversos sabores, usos culinarios y contenido nutricional. Después de ser introducidos desde las Américas, el chile se ha incorporado a culturas y cocinas de todo el mundo. Además de sus usos culinarios directos, los chiles también se utilizan para dar color, sabor, conservación, nutracéuticos y fines medicinales. Esta leguminosa es una excelente fuente de fitoquímicos, como compuestos polifenólicos (antocianinas, ácidos fenólicos, flavonoides, capsaicinoides) y carotenoides (Kumar y Tata, 2009).

Hoy en día, la amplia gama aceptada de efectos beneficiosos de los compuestos fenólicos inició intentos de estimular su acumulación en los cultivos mediante tecnologías agrícolas y la ingeniería genética, y esto no solo por los efectos positivos en las plantas, sino también por su aporte benéfico a la salud de los consumidores. Middleton et al. (2000) enumeraron las interacciones de los polifenoles con los sistemas enzimáticos, el papel modulador de los flavonoides en los procesos inflamatorios, y su acción como compuestos antivirales, antitóxicos, citoprotectores y antioxidantes. Estos compuestos proporcionan muchos beneficios nutricionales y para la salud que incluyen actividades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas, menor prevalencia de diabetes tipo 2 y obesidad, protección contra la hipercolesterolemia y menor prevalencia de enfermedades cardiovasculares ateroscleróticas (Álvarez-Parilla et al., 2011; Spiller et al., 2008). Un estudio reciente sobre la asociación del consumo de chile rojo picante y la mortalidad en una gran población estadounidense observó una reducción del 13% en la mortalidad (Chopan y Littenberg, 2017).

Materiales y métodos

Las evaluaciones de concentración de fitoquímicos del material genético se realizaron a partir de genotipos de chile, obtenidos mediante el manejo agronómico recomendado por el Paquete Tecnológico de Chiles, generado por el INIFAP (Ramírez et al., 2015; Mata et al., 2010). La siembra se realizó en charolas bajo invernadero y el trasplante en camas de 1.84 m de ancho con doble hilera, con una separación entre hileras de 50 cm y una densidad de 3.5 plantas/m lineal, esta actividad se realizó en el Campo Experimental Las Huastecas del INIFAP. Para las evaluaciones se utilizó un diseño de bloques al azar con tres repeticiones

Caracterización fitoquímica de los materiales

Extracción de polifenoles. Se obtuvo un extracto acetónico de los compuestos fenólicos siguiendo la metodología de Xu et al., (2007), se pesó un gramo de muestra liofilizada 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 los compuestos fenólicos totales y flavonoides.
Cuantificación de polifenoles y flavonoides totales

Los compuestos fenólicos totales se cuantificaron mediante el ensayo de Folin-Cioacalteu (Singleton et al., 1999) y los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (mg EAG/g) utilizando una curva estándar de ácido gálico con un rango de linealidad de 0 a 0.32 mg/mL (R2 = 0.99). 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).

Cuantificación de antocianinas totales. Previamente a la cuantificación de antocianinas se realizó la extracción de antocianinas con una solución de extracción 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 de la absorbancia obtenidos 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.

Cuantificación de carotenoides totales y licopeno. La cuantificación de carotenoides totales se realizó mediante un método colorimétrico descrito por Dóka et al. (2013). Brevemente se mezcló 5 mg de la muestra seca con una solución de Acetonitrilo: metanol: Tetrahidrofurano (50:45:5 V/V/V) para extraer los carotenoides totales. Esta mezcla se agito en un agitador durante 2 horas. Pasado este tiempo, se centrifugo a 8000 g durante 5 min a una temperatura de -5 °C, posteriormente el sobrenadante fue recuperado. Para medir la absorbancia se realizó en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 450 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de β-caroteno por gramo de muestra seca (mg EβC/g) utilizando una curva estándar de β-caroteno con un rango de linealidad de 0-0.98 mg/mL (R^2=0.99).

Para la medición del licopeno total, se mezclaron 2 g de muestra con 5 mL de BHT al 0,05 % (p/v) en acetona, 5 ml de etanol al 95 % y 10 ml de hexano. Los tubos se colocaron de lado sobre un recipiente rectangular, se colocaron en un baño de hielo y el recipiente se agitó en un agitador orbital durante 15 min. Luego, se agregó 3 mL de agua destilada y las muestras se agitaron durante 5 min. Los tubos se dejaron a temperatura ambiente para permitir la separación de fases y la absorbancia de la capa superior de hexano se midió a 503 nm. La evaluación de la concentración de licopeno se calculó de acuerdo con el coeficiente de extinción molar (Zechmeister et al., 1943) para licopeno en hexano. La expresión de licopeno total fue en mg/g empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Licopeno (mg/g)} = A_{503} \text{ X } 31{,}2/\text{g de muestra.}$$

Donde: A es absorbancia.

Análisis estadístico. El análisis estadístico se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA). Se consideraron diferencias estadísticamente significativas entre los fitoquímicos cuando el valor de probabilidad fue <0.05 con la prueba de Tukey. Los análisis fueron realizados en el programa JMP versión 5.0.1.

Resultados

Los compuestos polifenólicos han sido ampliamente estudiados en el área de ciencia de alimentos por la inversa correlación entre su ingesta a través de frutas y verduras y la incidencia de padecer enfermedades crónicas no trasmisibles como enfermedades cardiovasculares, cáncer, obesidad y diabetes (de la Rosa et al., 2019). En este contexto, se ha atribuido a los polifenoles (flavonoides y antocianinas) un amplio potencial para reducir las complicaciones de algunas de estas enfermedades (Gamboa-Gómez et al., 2015). En la Figura 1, se muestra la caracterización de polifenoles de los diferentes materiales evaluados. Es interesante observar que a pesar de que los polifenoles son compuestos que derivan de la ruta biosintética de los fenilpropanoides, las diferentes familias de estos metabolitos se expresan de manera diferencial entre los materiales de chile estudiados. Super Llanero 1, Chiser 26-4 y Chiser 74-5-1 sobresalieron por su concentración de fenoles totales (Figura 1ª), flavonoides (Figura 1b) y antocianinas (Figura 1c), respectivamente. No obstante, ambos chiles Chiser tuvieron una importante concentración de flavonoides y antocianinas. Se podría considerar que otros materiales como Super Llanero 2 y Vilmorín 2030 están entre los genotipos con alta concentración. Estos datos permiten identificar los genotipos de chile que tiene una tasa biosintética de fenilpropanoides importante que debiera ser considerada por los grupos de fitogenetistas.

Por otro lado, se evaluó la concentración de carotenoides totales (Figura 1d) y licopeno (Figura 1e), estos, junto con las antocianinas y las betalaínas, son los principales pigmentos naturales utilizados en la industria alimentaria por sus efectos biológicos positivos, especialmente en la reducción del riesgo de algunas enfermedades crónicas; estos compuestos proporcionan los colores naranja, amarillo y rojo, debido a sus cromóforos, que consisten principalmente en una cadena de dobles enlaces conjugados (Rodríguez-Mena et al., 2023).

Se cuantificó la mayor concentración de carotenoides totales y licopeno del genotipo Chiser 74-5-1. Es importante mencionar que estos compuestos, además de ser potentes biomoléculas funcionales para el organismo humano, previenen el daño oxidativo celular al reducir las especies reactivas de oxígeno que actúan como radicales libres en la planta (Herrera et al., 2023), lo que indica que Chiser 74-5-1 es más eficiente, que el resto de los genotipos, para activar su mecanismo de defensa, contra diferentes factores bióticos y abióticos que inducen el estrés oxidativo, como déficit hídrico, presión osmótica, radiación UV, y la incidencia de plagas y enfermedades, por mencionar algunos.

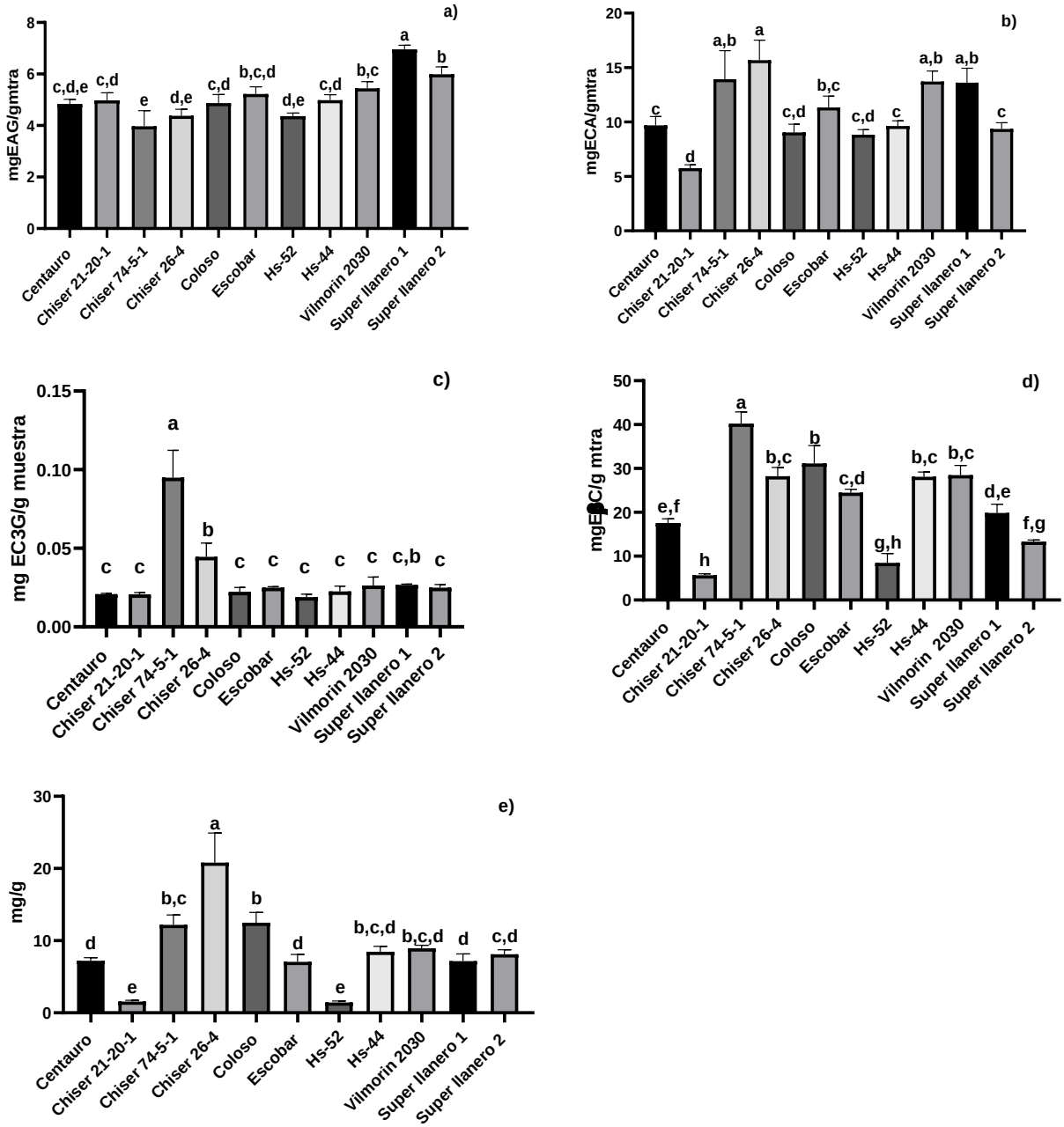


Figura 1. Caracterización de fitoquímica de diferentes materiales de chile. a) fenoles totales; b) flavonoides; c) antocianinas; d) carotenoides totales; e) licopeno. Los datos se muestran como la media ± la DE. Letras diferentes entre columnas indican diferencia significativa ($p<0.05$) con la prueba de Tukey.

Conclusiones

La concentración de polifenoles depende del genotipo del cultivar, en general, los chiles evaluados tuvieron una concentración diferenciada de polifenoles y carotenoides, este es un dato importante, ya que es importante incluir la composición fitoquímica del chile como criterio de selección de materiales 'promesa' para continuar con el fitomejoramiento del cultivo, y obtener materiales de chile de mayor calidad nutracéutica y funcional.

Referencias

Abdel-Aal ESM, Hucl, P. (1999). A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheat. Cereal Chemistry. 76: 350-354.

Alvarez-Parrilla E., De La Rosa L.A., Amarowicz R., Shahidi F. (2011). Antioxidant activity of fresh and processed Jalapeno and Serrano peppers. J. Agric. Food Chem. 59:163–173.

Chopan M., Littenberg B. (2011). The association of hot red chilli pepper consumption and mortality: A large population-based cohort study. PLoS ONE. 1:2.

de la Rosa, L.A., Moreno-Escamilla, J.O., Rodrigo-García, J., Alvarez-Parilla, E. (2019). Phenolic compounds. In Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruts and Vegetables. 254 Pp.

Dóka, O., Ficzek, G., Luterotti, S., Bicanic, D., Spruijt, R, Buijnsters, J.G., Szalay, L., Végvári, G. (2013). Simple and rapid quantification of total carotenoids in lyophilized apricots (*Prunus armeniaca* L.) by means of reflectance colorimetry and photoacoustic spectroscopy. Food Technology and Biotechnology, 51, 7 p.

Gambóa-Gómez, C.I., Rocha-Guzmán, N.E., Gallegos-Infante, J.A., Moreno-Jiménez, M.R., Velázquez-Cabral, B.D., González-Laredo, R.F. (2015). Plants with potential use in obesity and its complication. Excli Journal. 23 p.

Herrera MD, Álvarez-Sáncehz FI, Ortíz-Rodríguez NM, Flores-Prieto FF. (2023). Solar drying modes of saladette tomatoes slices on phytochemicals and functional properties. Solar Energy. 262: 111903.

Kumar O.A., Tata S.S. (2009). Ascorbic acid contents in chilli peppers (*Capscium,* L.) Nat. Sci. Biol.1:50–52

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.

Mata Vázquez H, Vázquez García E, Ramírez Meraz M, Patishtán Pérez J. (2010). Fertirrigación de chile serrano con riego por goteo en el sur de Tamaulipas. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Las Huastecas. Cuauhtémoc, Tam., Méx. Libro Técnico No. 2. Noviembre de 2010. México. 176 p.

Middleton, E., Jr., Kandaswami, C., Theoharides. T.C. (2000). The effects of plant flavonoids on mammalian cells: Implications for inflammation, heart disease, and cancer. Pharmacol. Rev., 52, 673–751.

Ramírez MM, Arcos CG, Mata VH, Vázquez GE, Méndez AR. (2015). Variedades e híbridos de chile y su manejo para el sur de Tamaulipas. Campo Exp. Las Huastecas. Folleto Técnico No. MX-0-310701-11-03-14-09-40. 48 p.

Rodríguez-Mena, A, Ochoa-Martínez LA, González-Herrera SM, Rutiaga-Quiñones OM, González-Lerdo RF, Olmedilla-Alonso B. 2023. Natural pigments of plant origin: Classification, extraction and application in foods. Food Chemistry. 2023, 133908.

Singleton VL, Orthofer R, Lamuela RM. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Methods in enzymology, 299, 10 p

Spiller F., Alves M.K., Vieria S., Carvalho T.A., Leita C.E., Lunardelli A. (2008). Anti-inflammatory effects of red pepper (*Capsicum baccatum*) on carrageenan and antigen-induced inflammation. J. Pharm. Pharmacol. 60:473–478.

Xu BJ, Chang, SKC. (2007). A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. Journal of Food Science. 2: 7 p.

Zechmeister, L., LeRosen, W. A., Schroeder, A., Polgár, Linus-Pauling. (1943). Spectral Characteristics and Configuration of Some Stereoisomeric Carotenoids Including Prolycopene and Pro-γ-carotene. Journal of the American Chemical Society. 65: 1940–1951.

DIVERSIDAD DE ASTERÁCEAS AL SUR DE CUENCAMÉ, DURANGO

Mayela Rodríguez-González[1]*, Luis Gerardo Yáñez-Chávez[2]

[1]Universidad Abierta y a Distancia de México – UnADM. CP 03330 CDMX. [2]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Km. 40 Carretera Torreón-Chihuahua. CP 35230 Bermejillo, Durango. *Autor de correspondencia: mayelarg92@gmail.com

Introducción

México es uno de los cinco países megadiversos del mundo, con gran diversidad de hábitats concentrando gran diversidad de flora y fauna (Valenzuela Núñez et al., 2015). Especialmente, el estado de Durango presenta una alta diversidad ecosistémica, albergando una gran riqueza florística con diversidad de géneros y especies. En particular, la familia Asteraceae (o Compositae) ocupa un lugar predominante en la flora, estando representada por aproximadamente 1700 géneros y 35,000 especies (Mandel et al., 2019) distribuidas en todo el mundo. A nivel nacional es la familia más diversa, con aproximadamente 417 géneros y 3013 especies, de las cuales 3050 especies son nativas y 1988 son endémicas del territorio nacional (Ramírez y Herrera, 2015; Villaseñor, 2018). Las compuestas se reconocen por tener pétalos fusionados, las flores compuestas que consisten en muchos floretes crean la falsa apariencia de pétalos separados (Katinas et al., 2007). Esta familia en su mayoría son especies anuales o perennes herbáceas. Se desarrollan en climas templados y secos, la mayoría de ellas como especies nativas de los ecosistemas que habitan; sin embargo, un alto porcentaje de especies de asteráceas se ve favorecida por la perturbación, por lo que suelen ser dominantes en medios arvenses o ruderales (Villaseñor, 2018). Sin embargo, aunque a nivel nacional la familia Asteraceae es una de las más estudiadas aún se tiene poco conocimiento de ella nivel regional o estatal. En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue enlistar las especies de Asteraceae que forman parte de la flora en la región sur del municipio de Cuencamé, Durango, con la finalidad de resaltar sus usos culturales, medicinales y ornamentales

Materiales y métodos

El área de estudio se localiza en la parte sur del municipio de Cuencamé, del estado de Durango, México, a una altura promedio de 2100 msnm; las localidades de muestreo se visualizan en la Figura 1. El clima del área es semiárido, con régimen de lluvias en verano (INEGI, 2018). La precipitación promedio anual es de 503 mm y la temperatura media anual de 16°C (SMN, 2010).

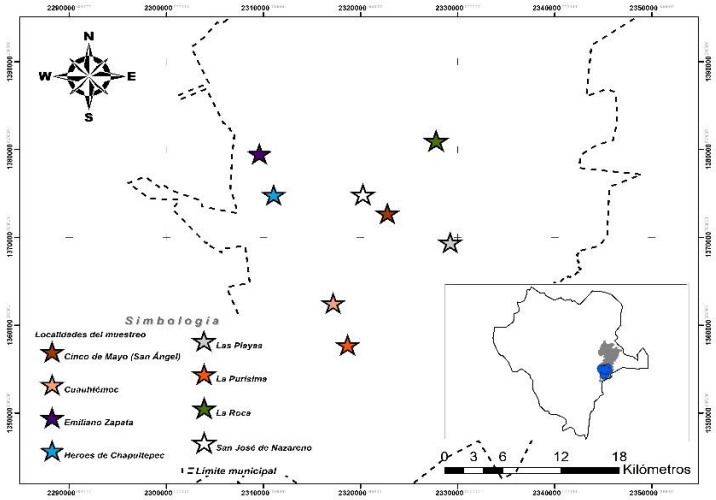


Figura 1. Área de estudio al sur de Cuencamé, Durango.

Durante el periodo 2022-2023 se realizaron recorridos de exploración y muestreo a través del tránsito de brechas y veredas abarcando un total de 75 km en áreas de pastizal y zonas de cultivos agrícolas. Se fotografiaron usando cámaras manuales (Nikon Coolpix B500 y P1000), se registraron e identificaron las especies de asteráceas presentes en el área de estudio, con el apoyo de la base de datos del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México (SNIB) (CONABIO, 2023) y la plataforma en línea EncicloVida (CONABIO, 2024).

Resultados y discusión

Se registraron 20 especies distribuidas en 17 géneros, de las cuales el 90% son nativas, el 5% son introducidas y el 5% restante son especies endémicas de México (Cuadro 1). Las especies registradas se agrupan en seis categorías de uso. La categoría medicinal agrupo el mayor número de registros con 6 especies, seguida del uso ornamental (3 especies), biorremediación de suelo (2 especies), industrial, culinario y control biológico con una especie cada categoría. Del total de registros ocho no presentaron algún uso o importancia cultural (Figura 2). Algunos autores señalan que la familia de asteráceas es relevante para la alimentación humana y animal, además de conformar grandes extensiones de vegetación natural, determinando la fisonomía de numerosos paisajes (Vitto y Petenatti, 2009). Las observaciones de la flora de compuestas resultan interesantes ya que de los 149 géneros y 602 especies estimados para Durango (Balleza y Villaseñor, 2002) el 11% de géneros y el 3% de especies se encontraron en esta región. Las especies se distribuyeron cercanas a áreas de cultivo, siendo especies ruderales o malezas, y por ello abundan en áreas disturbadas o en cultivos agrícolas (Vitto y Petenatti, 2009).

Cuadro 1. Listado florístico de las Asteráceas en la región sur de Cuencamé, Durango.

Nombre común	*Nombre científico*	Importancia cultural y usos	Distribución en México
Abrojo	*Xanthium strumarium*	--	Nativa
Acahual	*Simsia amplexicaulis*	--	Nativa
Aceitilla	*Bidens odorata*	Medicinal	Nativa
Alga cobriza	*Euphrosyne dealbata*	--	Nativa
Árnica Espinosa	*Xanthisma spinulosum*	--	Nativa
Árnica Rosa	*Xanthisma gymnocephalum*	Medicinal	Nativa
Cardo	*Cirsium ochrocentrum*	Medicinal	Nativa
Cardo de Texas	*Cirsium texanum*	--	Nativa
Contrahierba	*Thymophylla acerosa*	Industrial	Nativa
Diente de León	*Taraxacum officinale*	Culinario	Introducida
Gigantón	*Tithonia tubaeformis*	Biorremediación de suelos	Nativa
Girasol Alcalino	*Helianthus laciniatus*	--	Nativa
Hierba de San Nicolás	*Chrysactinia mexicana*	Ornamental	Nativa
Hierba del Burro	*Zinnia acerosa*	Ornamental	Nativa
Manzanilla Cimarrona	*Aphanostephus ramosissimus*	--	Nativa
Margarita Chocolate	*Berlandiera lyrata*	Medicinal/control biológico	Nativa
Mariola	*Parthenium incanum*	Medicinal	Nativa
Nube Cimarrón	*Parthenium bipinnatifidum*	--	Nativa
Ojo de Gallo	*Sanvitalia procumbens*	Ornamental / Medicinal	Nativa
Romerillo	*Aldama linearis*	Biorremediación de suelos	Endémica

Nota: La importancia cultural y usos se destacan en la plataforma del SNIB y EncicloVida (CONABIO, 2024).

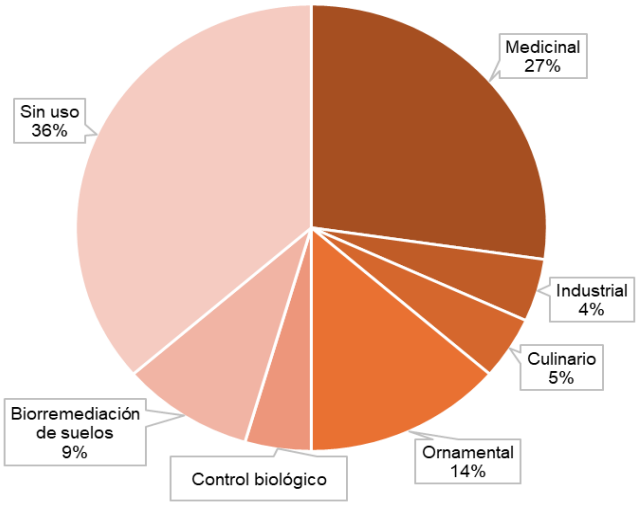


Figura 2. Importancia cultural y usos de las Asteráceas en la región sur de Cuencamé, Dgo.

Conclusiones

La diversidad de asteráceas registradas en este estudio indican la variedad florística de la región. Se registraron múltiples usos culturales de esta familia de plantas, destacado los fines medicinales y ornamentales. Se destaca la presencia de una especie endémica (*Aldama linearis*), con el potencial de que la región podría ser un área prioritaria para la conservación de flora.

Referencias

Balleza, J. de J., & Villaseñor, J. L. (2002). La familia Asteraceae en el estado de Zacatecas (México). *Acta Botánica Mexicana*, (59), 5-69.

CONABIO. (30 de julio de 2023). *Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad*. Registros de ejemplares. https://www.snib.mx/

CONABIO. (12 de agosto de 2024). *Plataforma web EncicloVida*. https://enciclovida.mx/

González E., M. S., González E., M. & Márquez L., M. A. (2006). Vegetación y ecorregiones de Durango. Durango, México: Plaza y Valdés. CIIDIR Unidad Durango.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática). (21 de mayo de 2018). Descarga de mapas digitales de la República Mexicana. https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/mg/

Katinas, L., Gutiérrez, D. G., Grossi, M. A., & Crisci, J. V. (2007). Panorama de la familia Asteraceae (= Compositae) en la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, *42*(1-2), 113-129.

Mandel, J. R., Dikow, R. B., Siniscalchi, C. M., Thapa, R., Watson L. E. y Funk V. A. (2019). A fully resolved backbone phylogeny reveals numerous dispersals and explosive diversifications throughout the history of Asteraceae. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), 16*(28): 14083-14088. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1903871116.

Núñez, L. M. V., Saucedo, J. C. R., Armendáriz, K. D. R. B., Pérez, G. M., Salas, J. S., & Contreras, E. A. B. (2015). Estructura y composición florística en dos comunidades de mezquite (Prosopis laevigata (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) MC Johnst.) en Durango, México. *Interciencia*, *40*(7), 465-472.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2010). Normales climatológicas, periodo 1981-2010. Información Climatológica del estado de Durango. Conagua. Méx.

Villaseñor, J. L. (2018). Diversidad y distribución de la familia Asteraceae en México. *Botanical Sciences*, *96*(2), 332-358. https://doi.org/10.17129/botsci.1872.

Vitto, L. A. Del., & Petenatti, E. M. (2009). Asteráceas de importancia económica y ambiental: Primera parte. Sinopsis morfológica y taxonómica, importancia ecológica y plantas de interés industrial. *Multequina*, *18*(2), 87-115.

ETNOBOTÁNICA DE PLANTAS MEDICINALES AL SUR DE CUENCAMÉ, DURANGO

Luis Gerardo Yáñez-Chávez[1*], Mayela Rodríguez-González[2]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Km. 40 Carretera 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

A lo largo de la historia es uso de las plantas y su conocimiento crece continuamente junto con la confianza de la población por la medicina tradicional como una alternativa viable para resolver problemas de salud de manera complementaria con la medicina moderna (De O Mesquita y Tavares-Martins, 2018).

A nivel mundial al menos 35,000 especies vegetales presentan potencial para uso medicinal y alrededor del 80% de la población las utiliza en remedios herbolarios al ser una alternativa eficaz para combatir enfermedades infecciosas con escasos efectos secundarios y evitar problemas de resistencia a los microorganismos (Velázquez-Vázquez et al., 2019).

Por su gran diversidad de flora y amplia riqueza cultural México es uno de los países con mayor tradición ancestral y riqueza en el uso de la herbolaria medicinal (Gómez, 2012). Aunque en la actualidad se han documentado estos recursos a escala nacional, aún existen áreas geográficas poco estudiadas (Narváez-Elizondo et al., 2020). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue registrar y documentar el conocimiento tradicional de las plantas medicinales existentes al sur de Cuencamé, Durango.

Materiales y métodos

El área de estudio se localiza en la parte sur del municipio de Cuencamé, del estado de Durango, México, a una altura promedio de 2100 msnm (Figura 1). El clima del área es semiárido, con régimen de lluvias en verano (INEGI, 2024). La precipitación promedio anual es de 503 mm y la temperatura media anual es de 16°C (SMN, 2010).



Figura 1. Localidades del área de estudio al sur de Cuencamé, Durango.

Durante el periodo 2020-2023, de realizaron recorridos de campo para la exploración y muestreo en áreas de matorral, pastizal y áreas de cultivo de las comunidades San Ángel, San José de Nazareno, Emiliano Zapata, Cuauhtémoc, La Purísima, Las Playas, La Roca y Héroes de Chapultepec, situadas en la parte sur del municipio de Cuencamé en el estado de Durango. Durante ellos, se registraron y fotografiaron plantas silvestres que presentaban tallos, hojas, flores y frutos para facilitar su identificación.

Las especies fueron identificadas con el apoyo de la base de datos del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México (SNIB) (CONABIO, 2023), las plataformas en línea iNaturalistMX y EncicloVida. Asimismo, se entrevistó a algunas personas de cada comunidad para conocer su percepción sobre las plantas medicinas registradas en la zona, además, de conocer el uso que le dan a cada una. La selección de los entrevistados fue hecha por muestreo no probabilístico, pero por selección racional, y solo se entrevistaron a personas que han utilizado plantas medicinales y que son reconocidas como tales por la comunidad (De O Mesquita y Tavares-Martins, 2018).

Resultados y discusión

Se registró un total de 27 plantas medicinales agrupadas en 13 géneros y 18 familias, entre las que sobresalen: Asteraceae representada por seis especies, Solanaceae con tres especies, Malvaceae y Convolvulaceae representadas por dos especies cada una (Cuadro 1). De acuerdo con las entrevistas, a las especies registradas se les atribuyen propiedades curativas para diversas afecciones y enfermedades.

El mayor número de especies medicinales se utilizan para aliviar dolores musculares y golpes, desinfectar heridas y desinflamar la hinchazón. Las hojas frescas de las plantas son las partes más utilizadas, ya que es más fácil su recolección, transporte y manejo. La razón principal por la que las plantas se usan en fresco es porque de esta manera se conservan la mayoría de los compuestos bioactivos de las plantas y así tienen un mejor efecto curativo (Siew et al., 2014).

El uso de plantas medicinales se convierte en un método habitual para que las personas logren tratar afecciones comunes y reducir los efectos secundarios de los medicamentos (Lara-Reimers et al., 2023).

Cuadro 1. Listado florístico de las Asteráceas en la región sur de Cuencamé, Durango.

Familia	Nombre común	*Nombre científico*	Importancia cultural y usos*	Indicación popular
Asparagaceae	Estrellita	*Milla biflora*	Medicinal / Ornamental	Aliviar la tos
Asteraceae	Aceitilla	*Bidens odorata*	Medicinal	Malestar estomacal
	Cardo	*Cirsium ochrocentrum*	Medicinal	Quemaduras y llagas en la piel
	Mariola	*Parthenium incanum*	Medicinal	Desinflamar
	Árnica rosa	*Xanthisma gymnocephalum*	Medicinal	Curar heridas o golpes
	Ojo de gallo	*Sanvitalia procumbens*	Ornamental / Medicinal	Reumas
	Margarita chocolate	*Berlandiera lyrata*	Medicinal / Control biológico	Aliviar dolores y relajar el cuerpo
Amaranthaceae	Amor seco	*Gomphrena serrata*	Medicinal	Dolor de estomago
Portulacaceae	Verdolaga	*Portulaca oleracea*	Medicinal / Culinario	Dolor de cabeza
Polygonaceae	Persicaria	*Persicaria pensylvanica*	Medicinal	Quemaduras y repelente de insectos
Cucurbitaceae	Calabacilla loca	*Cucurbita foetidissima*	Medicinal	Disminuir la hinchazón
Primulaceae	Jabonera Europea	*Lysimachia arvensis*	Medicinal	Antifúngico
Apocynaceae	Hierba doncella Mediterránea	*Vinca major*	Ornamental / Medicinal	Picaduras de insectos
Rubiaceae	Trompetilla colorada	*Bouvardia ternifolia*	Medicinal	Aliviar dolores por cansancio
Orobanchaceae	Garallona	*Castilleja glandulosa*	Medicinal	Aliviar la tos
Scrophulariaceae	Escobilla	*Buddleja scordioides*	Medicinal	Dolor de estomago
Euphorbiaceae	Hierba del cáncer	*Acalypha monostachya*	Medicinal	Lavar heridas
Malvaceae	Hierba de la viejita	*Sida abutilifolia*	Medicinal	Dolor de estomago
	Hierba del negro	*Sphaeralcea angustifolia*	Medicinal	Aliviar golpes y fortalecer el cabello
Saururaceae	Hierba mansa	*Anemopsis californica*	Medicinal	Antifúngico
Ranunculaceae	Barba de viejo	*Clematis drummondii*	Medicinal	Evitar la caída del cabello
Papaveraceae	Cardo santo	*Argemone ochroleuca*	Medicinal	Conciliar el sueño y quitar salpullido de la piel
Convolvulaceae	Hierba oreja de ratón	*Dichondra argentea*	Medicinal	Aliviar piquetes de hormiga
	Pico de pájaro	*Evolvulus alsinoides*	Medicinal	Curar la fiebre
Solanaceae	Toloache	*Datura innoxia*	Medicinal	Dolores musculares
	Tabaquillo sudamericano	*Nicotiana glauca*	Medicinal	Aliviar quemaduras
	Ayohuiztle	*Solanum rostratum*	Medicinal	Desinfectar heridas

*Referencia: Bye et al., 1995; CONABIO, 2022 CONABIO, 2024; Lara et al., 2023; Moreno et al. 2006; Nicholson & Arzeni, 1993; Singh, 2008.

Conclusiones

En la región del sur de Cuencamé se registraron 27 plantas con propiedades medicinales de acuerdo con referencias científicas y el *vox populi* de los pobladores de las comunidades de estudio. La investigación etnobotánica sobre plantas medicinales es de gran relevancia por la pérdida acelerada sobre el conocimiento tradicional y la reducción de la disponibilidad de muchas especies útiles como consecuencia de la degradación de hábitats naturales.

Referencias

Bye, R., Linares, E., & Estrada, E. (1995). Biological diversity of medicinal plants in Mexico. *Phytochemistry of medicinal plants*, 65-82.

De O Mesquita, U., & Tavares-Martins, A. C. C. (2018). Etnobotánica de plantas medicinales en la comunidad de Caruarú, Isla del Mosqueiro, Belém-PA, Brasil. *Boletín latinoamericano y del Caribe de plantas medicinales y aromáticas*, *17*(2), 130-159.

CONABIO. (10 de junio de 2023). *Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad*. Registros de ejemplares. https://www.snib.mx/

CONABIO. (12 de agosto de 2024). *Plataforma web EnciclоVida*. https://enciclovida.mx/

CONABIO. (18 de agosto de 2022). *Malezas de México*. http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm

Gómez A., R. (2012). Medicinal plants in a small village in the state of Tabasco México. Revista Fitotecnia Mexicana 35: 43-4.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática). (18 de mayo de 2024). Descarga de mapas digitales de la República Mexicana. https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/mg/

Lara-Reimers, E. A., Hernández-Robledo, C. O., Preciado-Rangel, P., & Sariñana-Aldaco, O. (2023). Estudio de plantas medicinales utilizadas en San José Iturbide, Guanajuato, México. *Polibotánica*, (56), 265-286.

Moreno, D. M., Flores, R. A., Cruz, M. M., & Peña, F. B. (2006). Plantas medicinales de cuatro mercados del estado de Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (79), 79-87.

Narváez-Elizondo, R. E., Gonzalez E., M. Gonzalez S., Tena F., J. A. y Castro C., A. (2020). Etnoflora comestible de los tepehuanos del sur de Durango, México. *POLIBOTÁNICA*, *1*(50).

Nicholson, M. S., & Arzeni, C. B. (1993). Las plantas medicinales de los mercados de Monterrey, Nuevo León, México. *Economic Botany*, *47*, 184-192.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2010). Normales climatológicas, periodo 1981-2010. Información Climatológica del estado de Durango. Conagua. Méx.

Siew, Y. Y., Zareisedehizadeh, S., Seetoh, W. G., Neo, S. Y., Tan, C. H., & Koh, H. L. (2014). Ethnobotanical survey of usage of fresh medicinal plants in Singapore. *Journal of Ethnopharmacology*, *155*(3), 1450-1466. doi: 10.1016/j.jep.2014.07.024.

Singh, A. (2008). Review of Ethnomedicinal Uses and Pharmacology of Evolvulus alsinoides Linn. *Ethnobotanical leaflets*, *2008*(1), 100.

Velázquez-Vázquez, G., Pérez-Armendáriz, B., Ortega-Martinez, L. D., & Nelly-Juarez, Z. (2019). Conocimiento etnobotánico sobre el uso de plantas medicinales en la Sierra Negra de Puebla, México. *Boletín Latinoamericano Y Del Caribe De Plantas Medicinales Y Aromáticas*, *18*(3), 265-276. https://doi.org/10.37360/blacpma.19.18.3.17

REGISTROS NOTABLES DE REPTILES EN EL MATORRAL DESÉRTICO MICRÓFILO AL SURESTE DE MAPIMÍ, DURANGO

Mayra Guadalupe Campos-Calzada[1], Mariela Bernal-Rentería[1], Mayela Rodríguez-González[2*], Luis Gerardo Yáñez-Chávez[1], Gonzalo Hernández-Ibarra[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Km. 40 Carretera Gómez Palacio - Chihuahua. CP 35230 Bermejillo, Durango. [2]Universidad Abierta y a Distancia de México – UnADM. CP 03330 CDMX. *Autor de correspondencia: mayelarg92@gmail.com

Introducción

Los reptiles han desempeñado durante mucho tiempo un papel importante en la vida de los pueblos nativos mexicanos, como fuente de alimentos, ropa, fabricación de artesanías, medicina tradicional y otros usos. La diversidad de la herpetofauna mexicana se encuentra entre las más altas de todas las ecorregiones desérticas, con más de 130 especies de reptiles conocidas en el Desierto Chihuahuense (Fitzgerald et al., 2004). En particular el estado de Durango cuenta con una gran biodiversidad de especies de anfibios y reptiles, consecuencia de la combinación de su ubicación geográfica y su compleja topografía (Lemos-Espinal, 2018).

Los reptiles son un grupo dominante ya que, al depender menos del mantenimiento de una temperatura corporal constante, pueden sobrevivir con sólo una parte del alimento que necesitan otras especies como aves y mamíferos. Siendo especies capaces de explotar entornos donde las provisiones de alimentos son escasas o esporádicas (Halliday y Adler, 2007). Sin embargo, las poblaciones de reptiles tienden a disminuir o desaparecer cuando se presentan cambios o impactos ambientales drásticos debido a fuerzas naturales o actividades humanas, además de otros factores como la introducción de especies exóticas, la cacería y el tráfico ilegal (Luna-Reyes et al., 2013). Por lo cual resulta relevante el estudio sobre constante sobre la riqueza y distribución geográfica de las especies de reptiles. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue reportar registros notables de reptiles presentes en el matorral desértico micrófilo al sureste de Mapimí, Durango.

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, 2010). Durante el periodo de enero 2022 a septiembre 2024 se efectuaron muestreos sistemáticos mediante la búsqueda por transectos (Corn & Bury, 1990) y encuentros incidentales (Heyer et al., 1994).

Los muestreos se realizaron con una frecuencia mensual, entre las 6:00 y 19:00 horas efectuando caminatas en los lugares potenciales donde se podrían encontrar estos organismos, tales como: sobre el suelo, en hojarasca, bajo rocas, bajo troncos y dentro de ellos, sobre ramas de árboles y entre ellas. Cada observación fue registrada, fotografiada (cámara Nikon Coolpix P950 y Nikon Coolpix P1000) y georreferenciada con un GPS Garmin Etrex 30. Posteriormente, los individuos fueron identificados con el apoyo de guías para la identificación de reptiles (Herbert-Howell, 2015) y la plataforma online iNaturalistMX. Los individuos fueron clasificados de acuerdo con su categoría de residencia y riesgo según la NOM-059-SEMARNAT 2010 (DOF, 2010).

Resultados y discusión

Durante el periodo de estudio se identificaron cinco especies de reptiles notables por su estatus de conservación en México (Cuadro 1). Los registros se describen a continuación. *Crotalus atrox* (Cascabel de Diamantes), *Crotalus molossus ssp. nigrescens* (Cascabel de Cola Negra Mexicana) y *Hypsiglena jani* (Culebra Nocturna del Noreste), especies sujetas a protección especial. Lagartija de Mancha Lateral Norteña (*Uta stansburiana*) y Chicotera (*Masticophis flagellum*), clasificadas como amenazadas de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Figura 1).

En el estado de Durango se han reportado 120 especies de reptiles de las cuales 48 están registradas como endémicas de México y 57 están incluidas en la NOM-059 en alguna categoría de riesgo (Valdez et al., 2013; Lemos et al., 2018). En el área de estudio la mayor amenaza para los reptiles es la recolección ilegal de especímenes para colecciones personales, el comercio de mascotas y la matanza intencional por parte de la población al considerar que son especies que representan alguna amenaza (Fitzgerald et al., 2004).

Cuadro 1. Registros notables de reptiles presentes en el matorral desértico micrófilo al sureste de Mapimí, Durango durante el periodo 2022-2024.

Nombre común	Nombre científico	Categoría de riesgo*
Lagartija de Mancha Lateral Norteña	*Uta stansburiana*	A
Chicotera	*Masticophis flagellum*	A
Cascabel de Diamantes	*Crotalus atrox*	Pr
Cascabel de Cola Negra Mexicana	*Crotalus molossus ssp. nigrescens*	Pr
Culebra Nocturna del Noreste	*Hypsiglena jani*	Pr

*Fuente: NOM-059-SEMARNAT-2010; Pr=Protección especial, A=Amenaza.



Figura 1. Reptiles notables al sureste de Mapimí, Durango. A=*Crotalus atrox;* B=*Uta stansburiana;* C=*Masticophis flagellum;* D=*Hypsiglena jani; y* E=*Crotalus molossus ssp. nigrescens.*

Conclusiones

Se reportaron cinco registros sobresalientes de reptiles para la parte sureste de Mapimí, Durango, destacando la importancia de la investigación sobre la herpetofauna del área para proporcionar información que permita establecer medidas de conservación a nivel estatal, regional y por hábitat.

Referencias

Corn, P.S.; Bury, B.R. 1990. *Sampling methods for terrestrial amphibians and reptiles*. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.

Diario Oficial de la Federación. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

Fitzgerald, L. A., Painter, C. W., Reuter, A., Hoover, C., & America, T. N. (2004). Collection, trade, and regulation of reptiles and amphibians of the Chihuahuan Desert Ecoregion. *TRAFFIC North America. Washington DC: World Wildlife Fund*.

Halliday T., y Adler K., (2007). La gran enciclopedia de los anfibios y reptiles. Editorial UBS.

Herbert-Howell, C. (2015). Reptiles & amphibians of North America. National Geographic.

Heyer, R., Donnelly, M. A., Foster, M., & Mcdiarmid, R. (Eds.). (1994). Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for amphibians. Smithsonian Institution.

Lemos-Espinal, J. A., Smith, G. R., Gadsden-Esparza, H., Valdez-Lares, R., & Woolrich-Piña, G. A. (2018). Amphibians and reptiles of the state of Durango, Mexico, with comparisons with adjoining states. *ZooKeys*, (748), 65.

Luna-Reyes, R., Canseco-Márquez, L., & Hernández-García, E. (2013). Los reptiles. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Ed.). La biodiversidad de Chiapas, Estudio de Estado: México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)/Gobierno del Estado de Chiapas*, 319-328.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2010). Normales climatológicas, periodo 1981-2010. Información Climatológica del estado de Durango. Conagua. Méx.

Posadas L., C., Chapa V., L., Arredondo M., J. T. y Huber S., E. (2011). Riqueza de especies de aves de pastizal evaluadas por dos métodos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *2* (3),101-111.

Valdez L., R., Muñiz M., R., Gadsden, H., Aguirre L., G., Castañeda G., G. y González T., R. (2013). Checklist of amphibians and reptiles of the state of Durango, México. *Check List*, *9*(4), 714-724.

RESPUESTA MORFOLOGICA DEL CULTIVO DE GIRASOL CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE EDTA CON POTENCIAL PARA FITO-EXTRACCION

Luis Fernando Montiel Silva[1], Karla Janeth Martínez Macias[1]*, Selenne Yuridia Márquez Guerrero[1], Vicente de Paul Álvarez Reyna[2], Cristo Omar Puente Valenzuela[3], José Antonio Cueto Wong[4]

[1]Instituto Tecnológico de Torreón. Antigua Carretera Torreón-San Pedro km 7.5. Torreón Coahuila, México. [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez. Torreón Coahuila, México. [3]INIFAP CENID RASPA. Km 6.5 margen derecha, Canal de Sacramento. Gómez Palacio, Durango, México. [4]INIFAP CIR. Av Cuauhtémoc, Centro, 27440. Matamoros, Coahuila, México. * Autor para correspondencia: kjmm_93@hotmail.com

Introducción

En la agricultura el uso de agroquímicos es común; la práctica constante de estos insumos promueve la contaminación del suelo con metales pesados causando efectos negativos en humanos y animales (Pérez López et al., 2017). El arsénico es un elemento metaloide que se origina por procesos geológicos y, emisiones volcánicas, su concentración puede aumentar por actividades antropogénicas como la minería, la fundición de metales y el abuso de pesticidas y herbicidas en la agricultura (Bundschuh et al., 2008). Se ha demostrado que el arsénico está relacionado con enfermedades crónicas en humanos como el cáncer de pulmón, piel hígado, vejiga y riñón (Medina-Pizzali et al., 2018).

En la Comarca Lagunera, las concentraciones totales de arsénico en el suelo no superan el límite máximo permisible para suelos agrícolas establecido por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Sin embargo, el uso indiscriminado de fertilizantes fosfatados, que a menudo contienen arsénico debido a la composición de la roca fosfórica, puede incrementar la concentración de este elemento en el sistema productivo en más de un 600 % (Hernández-Ordáz et al., 2013), esto debido a que, los iones fosfato desplazan a los iones arseniatos de los sitios de intercambio, haciendo disponible a este metaloide en presencia de agua en los poros del suelo (Martínez-Macias et al., 2020).

El girasol es una planta con el potencial de poder absorber metales pesados del suelo en cada uno de sus órganos (Anastopoulos et al., 2021). A pesar de ello, la fitorremediación implica ciertas limitantes, entre ellas se encuentra la lenta absorción de contaminantes, incluyendo el arsénico. La adición de agentes quelantes promueve la absorción de estos metales por las plantas gracias a que esto afecta su solubilización mejorando la capacidad de acumulación y mejorando la eficiencia de esta técnica (López, 2004). Por lo que, el objetivo de este estudio es evaluar las características morfológicas del girasol, con diferentes dosis de EDTA, para corroborar que su uso, no afecta el crecimiento del cultivo, mientras que en etapas posteriores, favorecerá la absorción y fito-extracción del arsénico, en una matriz de sustrato contaminado con metaloide; en ese sentido se estableció la hipótesis de que la adición de 800 mg.L-1 EDTA, no afecta el crecimiento del cultivo de girasol, en una matriz de sustrato contaminado con arsénico.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó durante, los meses de octubre del (2023) a marzo del año (2024) en condiciones de agricultura protegida en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, ubicada en Torreón, Coahuila, México.

Se prepararon 36 macetas, cada una con 10 kg de sustrato inerte homogenizado, en proporción de 50 % peat moss y 50 % arena (desinfectada con hipoclorito de sodio al 2 %). La nutrición del cultivo se llevó a cabo con solución Steiner a partir de la etapa de crecimiento vegetativo (56 dias). Como método de control de plagas y patógenos se utilizó jabón potásico (5 ml en 1 L de agua).

Cada unidad experimental se sometió a contaminación de arsénico con una dosis de 25 mg L^{-1} (basándose en la NOM 147 donde establece los límites máximos permisibles de arsénico en suelos agrícolas) a cada unidad experimental a los 56 días después de siembra (DDS), cuando el girasol inicia en su punto máximo en la curva de absorción de nutrientes.

El experimento se condujo como un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y nueve repeticiones, los cuales son: T1 0 EDTA, T2 400 mg L^{-1} de EDTA, T3 con 800 mg L^{-1}, y T4 1200 mg L^{-1} de EDTA.

Las unidades experimentales fueron aleatorizadas como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 3 Esquema del experimento

T1R9	T4R9	T2R4	T1R4
T2R1	T1R3	T3R1	T3R7
T2R9	T4R6	T2R3	T4R3
T4R7	T4R4	T3R3	T1R2
T4R5	T1R5	T3R2	T2R5
T1R7	T3R4	T1R8	T3R8
T3R9	T4R2	T4R8	T2R7
T2R8	T2R2	T1R1	T4R1
T3R5	T3R6	T1R6	T2R6

Al final del ciclo de crecimiento, se llevó a cabo la evaluación morfológica considerando las variables: altura de la planta en centímetros, diámetro del tallo en centímetros y área foliar en centímetros cuadrados. Las mediciones del área foliar se realizaron utilizando el software ImageJ, un procesador digital de imágenes de dominio público desarrollado en Java. Para el procesamiento de las imágenes, se convirtieron los píxeles a centímetros, lo que permitió obtener mediciones más precisas y detalladas. La altura de la planta se midió con un flexómetro de tres metros, mientras que el grosor del tallo se determinó utilizando un vernier analógico.

El análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó mediante un análisis de varianza utilizando el programa SAS versión 9.4 y una prueba de medias Tukey al 0.05.

Resultados y discusión

Los resultados del análisis de varianza ($p > 0.05$) no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos de EDTA para las variables de crecimiento evaluadas al final del ciclo del girasol, tal como se observan en la figura 1 las gráficas A, B y C.

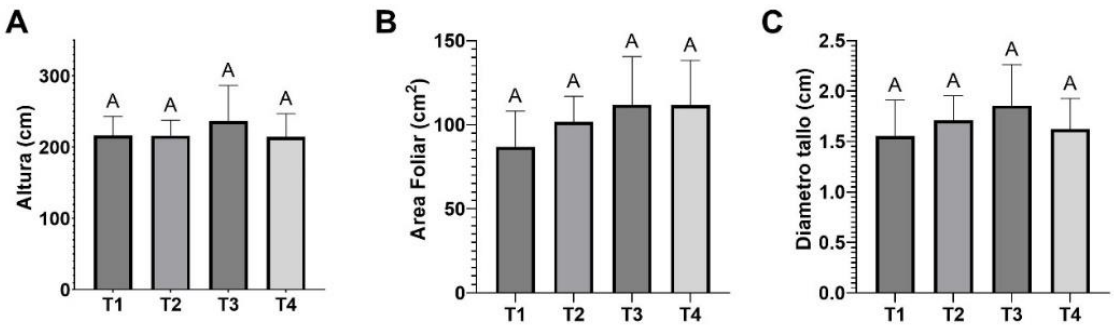


Figura 6. Comparación de medias obtenidas por efecto de EDTA en las variables altura de planta, diámetro de tallo y área foliar. Valores seguidos de la misma literal no son diferentes (Tukey P0.05)

Cuadro 1. Comparación de características morfológicas con desviación estándar en diferentes tratamientos

	T1	T2	T3	T4
Altura	216.4 ± 27	216.3 ± 21.58	236.3 ± 50.18	214.2 ± 32.62
	166 - 253	181 - 244	156 - 297	160 - 269
A. Foliar	86.9 ± 21.18	101.7 ± 15.22	111.7 ± 28.77	111.7 ± 26.63
	56.84 - 124.9	83.28 - 122.4	81.53 - 168.1	75.51 - 163.2
Tallo	1.55 ± 0.35	1.71 ± 0.24	1.85 ± 0.4	1.62 ± 0.3
	1 - 2	1.5 - 2.2	1.1 - 2.3	1.2 - 2

Los resultados obtenidos sugieren que el uso de EDTA en las dosis evaluadas es viable, sin perjudicar a la fenología plantas. Esto aporta información relevante para la optimización de estrategias de fitorremediación asistida con quelantes, que buscan mejorar la eficiencia de extracción de contaminantes sin comprometer el desempeño de las plantas. Estos hallazgos se complementan con los reportados en el estudio de Gluhar et al. (2020), quienes evaluaron el desempeño del EDTA y quelantes biodegradables en un proceso operativo de lavado de suelos a escala piloto.

Gluhar et al. (2020) Evaluaron la recalcitrancia de quelantes, encontrando que el EDTA no tuvo efectos perjudiciales significativos. Su uso es una alternativa viable para la remediación de suelos contaminados sin impactar el desarrollo de cultivos.

Los resultados de este estudio muestran similitudes con los reportados por Kalyvas et al. (2022), quienes evaluaron el efecto del EDTA y los lixiviados de aceite de oliva (OMW) en la fito-extracción de As, Pb y Zn por Helianthus annuus en un suelo altamente contaminado por actividades mineras. Sin embargo, mientras que Kalyvas et al. midieron únicamente la materia seca, sin encontrar diferencias significativas en este parámetro, en nuestro estudio se evaluaron variables fenológicas adicionales como la altura, el área foliar y el diámetro de tallo. Esto sugiere que las diferencias observadas en estas variables morfológicas podrían ser indicativas de la respuesta fenológica a la aplicación de EDTA en el contexto de la fito-extracción.". Los tratamientos utilizados fueron administrados con las siguientes dosis:

Los resultados preliminares de nuestro estudio concuerdan con lo observado por Kalyvas et al. (2022), quienes tampoco encontraron efectos significativos en el crecimiento de H. annuus.

Conclusiones

Los resultados preliminares indican que la aplicación de 800 mg. L^{-1} de EDTA, así como el resto de las dosis, no afectan el crecimiento y desarrollo morfológico de las plantas. Por tanto, estos resultados sugieren que el uso de EDTA en las dosis evaluadas puede ser agente promotor de fito-extracción de arsénico en suelos contaminados, sin afectar de manera adversa el desempeño del girasol.

Referencias

Anastopoulos, I., Ighalo, J. O., Igwegbe, C. A., Giannakoudakis, D. A., Triantafyllidis, K. S., Pashalidis, I., & Kalderis, D. (2021). Sunflower-biomass derived adsorbents for toxic/heavy metals removal from (waste) water. Journal of molecular liquids, 342, 117540.

Bundschuh, J., Pérez Carrera, A., & Litter, M. (2008). Distribución del arsénico en las regiones ibérica e iberoamericana. Editado por CYTED Impreso en Argentina.

Gluhar, S., Kaurin, A., & Lestan, D. (2020). Soil washing with biodegradable chelating agents and EDTA: Technological feasibility, remediation efficiency and environmental sustainability. Chemosphere, 257, 127226. doi: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127226

Hernández Ordáz, G., Segura-Castruita, M. A., Pico, L. C. Á. G., Nuncio, R. A. A., Hernández, M. F., & Cervantes, G. G. (2013). Comportamiento del arsénico en suelos de la región lagunera de Coahuila, México. Terra Latinoamericana, 31(4), 295-303.

Kalyvas, G., Bilias, F., Gasparatos, D., Zafeiriou, I., Eissa, R., Karamountzou, E., et al. (2022). Enhanced As, Pb and Zn Uptake by Helianthus annuus from a Heavily Contaminated Mining Soil Amended with EDTA and Olive Mill Wastewater Due to Increased Element Mobilization, as Verified by Sequential Extraction Schemes. Environments, 9(5). doi:10.3390/environments9050061

López, R. A. N., Vong Yunny, Meas Borges Raúl, Ortega Olguín, Eugenia, J (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. Revista Ciencia, 69-83.

Martínez-Macías, K. J.; Segura-Castruita, M. Á.; Orozco-Vidal, J. A.; Hernández-Ordaz, G.; Frías-Ramírez, J. E. 2020. Capacidad quelatante del quitosano sobre el arsénico soluble en dos fluvisoles de una zona árida de México. Terra Latinoamericana, 38(2), 267-273.

Medina-Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Arsenic intake: impact in human nutrition and health. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, 35(1), 93-102. doi:10.17843/rpmesp.2018.351.3604

Pérez López, E., & Barrantes Murillo, C. (2017). Evaluation of three methods for the recovery of heavy metals in fertilizers. UNED Research Journal, 9(2). doi:10.22458/urj.v9i2.166

ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN DE *Pinus teocote* Schiede A INCENDIOS FORESTALES EN ARTEAGA, COAHUILA

Adin H. Velázquez-Pérez[1], José Villanueva-Díaz*[2], José M. Iniguez[3], Julián Cerano-Paredes[2], Ricardo D. Valdez-Cepeda[1], Eglantina Canales-Gutiérrez[4], Leticia Jiménez-Hernández[5]

[1] Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Gómez Palacio-Ciudad Juárez, Bermejillo, 35230 km 40, Durango. México. [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, CP 35140, Gómez Palacio, Durango. México. [3] USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2500 S. Pine Knoll Drive, Flagstaff, AZ 86001, United States. [4] Protección de la Fauna Mexicana A.C., Emilio Castelar 956, Zona Centro, 25000 Saltillo, Coahuila, México. [5] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315 Saltillo, Coahuila. *Autor de correspondencia: villanueva.jose@inifap.gob.mx

Introducción

La historia evolutiva de las especies vegetales indica cambios fisiológicos y morfológicos como mecanismo de adaptación a perturbaciones naturales debido a la frecuencia y severidad con que ocurrían; los mecanismos de adaptación más documentados son: corteza gruesa, rápido crecimiento juvenil, conos serótinos, cespitosidad en estado de plántula, testa dura de las semillas, rebrote basal (Miller, 2000; Miller & Findley, 2001; Rodríguez & Fulé., 2003; Myers, 2006).

En matorrales y especies de boques de latifoliadas es común la recuperación de la vegetación a través del rebrote de yemas basales (Miller, 2000; Gómez-Mendoza & Rodríguez-Trejo, 2021); sin embargo, en bosques de coníferas no es común y no existe suficiente información de las especies del género *Pinus* sobre la recuperación del bosque con rebrotes después de incendios en diferentes severidades (Sánchez et al., 2014; Yerena-Yamallel et al., 2023).

Las especies documentadas son *Pinus leiophylla* Schiede & Cham var. *chihuahuana* Engelmann (Baumgartner y Fulé, 2007), *Pinus hartwegii* Lindl (Rodríguez & Fulé., 2003) *Pinus montezumae* Lamb, *Pinus pseudostrobus* Lindl*, Pinus teocote* Schiede*, Pinus patula* Schltdl (Gómez-Mendoza & Rodríguez-Trejo, 2021; Yerena-Yamallel et-al., 2023), y *Pinus oocarpa* Schiede (Sánchez et al., 2014); los estudios anteriores coinciden que los árboles rebrotaron de la base cuando son más pequeños en diámetro, altura, y con severidades de incendio baja y de moderada-alta.

El conocimiento de los mecanismos adaptación del bosque a los incendios contribuye al diseño de programas de conservación y restauración de bosques de *Pinus teocote*, en particular en actividades de reforestación después de incendios (Sánchez et al., 2014). En este contexto, el objetivo del estudio fue identificar las estrategias de adaptación de *Pinus teocote* Schiede a incendios forestales en Arteaga, Coahuila, y su relación con la severidad del incendio, dos años después.

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 2580m con orientación Norte y pendiente de 40%.

El rodal de estudio se incendió de forma superficial y de copa, por causas naturales en el año 2022; la evaluación se realizó dos años después del incendio. Se establecieron tres parcelas circulares de muestreo de 1000m^2; en cada parcela se midió el diámetro normal, diámetro de copa y se estimó la altura de cada árbol. Además, se registró el número de rebrotes por árbol, la clase diamétrica al que pertenecen y la altura de los rebrotes de *Pinus teocote* dentro y fuera de las parcelas de muestreo.

La temperatura máxima promedio anual es de 21.7 °C, la mínima 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, 2024). Los datos de campo se analizaron en Microsoft Excel con gráficas de barras y cálculo de densidad de árboles por hectárea, altura media de los rebrotes y las clases de diámetro de los árboles que rebrotaron.

Resultados y discusión

Se encontró una densidad de 170 árboles por hectárea de *Pinus teocote* y 130 árboles de *Pinus greggii*; la estructura vertical del bosque fue similar a una J invertida, el cual indica una condición estable con mayor número de árboles pequeños y menor en árboles grandes de diámetro (Figura 1) pero con copas grandes mayores a 5m; también, es un bosque heterogéneo en clases diamétricas; Sin embargo, las clases de diámetro 25-35 son similares en número de árboles por hectárea.

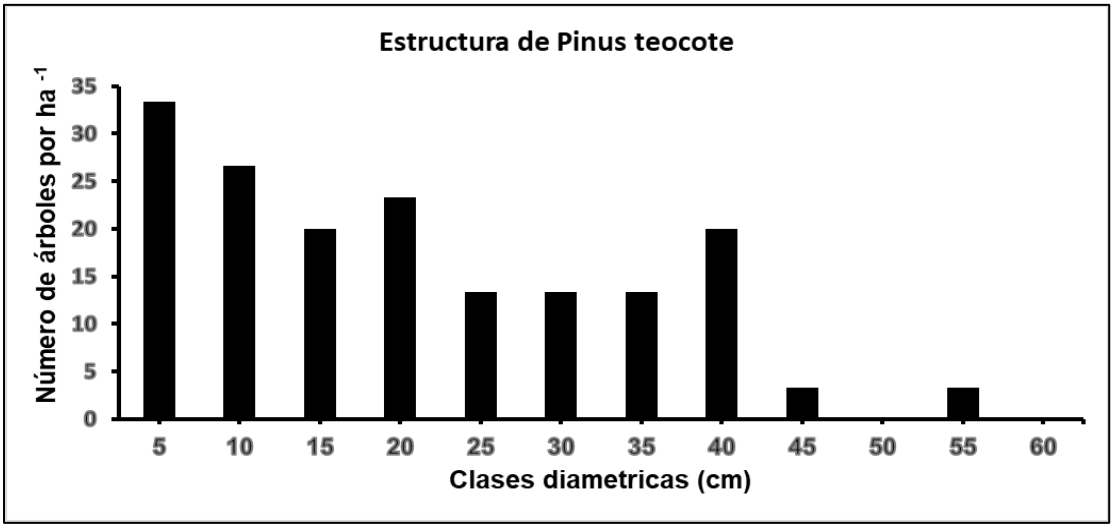


Figura 1. Estructura de clases diamétricas de *Pinus teocote*

Los árboles que rebrotaron de *Pinus teocote* fueron los que se quemaron con alta severidad, en una densidad de 20 árboles ha^{-1}, a dos años después del incendio; con un máximo de dos rebrotes por árbol quemado y una altura media del rebrote de 120 cm; rebrotes en la parte media y apical del árbol, y rebrotes en el fuste del árbol (Figura 2); los rebrotes se registraron en árboles menores a 20 cm de diámetro normal, y la mayor cantidad se presentaron en árboles de 5 y 10 cm de diámetro.

Lo anterior, coincide con lo registrado por Yerena-Yamallel et-al (2023) en bosques de *Pinus teocote* con 994 brotes ha^{-1} quemados en severidades de moderada-alta, en árboles pequeños en diámetro y altura, dos años después del incendio en Nuevo León; Baumgartner y Fulé (2007) encontraron resultados similares con *Pinus leiophylla* en la montaña Mogollón en Arizona, donde los rebrotes se presentaron en árboles pequeños en diámetros y alturas, con severidad de incendio baja; de igual forma se presentó en Puebla con *Pinus montezumae*, *Pinus teocote* y *Pinus patula* con una relación inversa entre la mortalidad y los rebrotes con severidades de incendio baja-moderada, donde el porcentaje de copa afectada está relacionado con la capacidad de rebrote (Gómez-Mendoza & Rodríguez-Trejo, 2021).

El número de árboles quemados que rebrotaron en nuestro estudio podría asociarse con que el rodal fue pequeño de 4 ha; aparte de los rebrotes basales se identificaron brotes en el fuste, en la parte media y apical del árbol (Figura 2), el cual no ha sido informado con claridad en otros estudios.

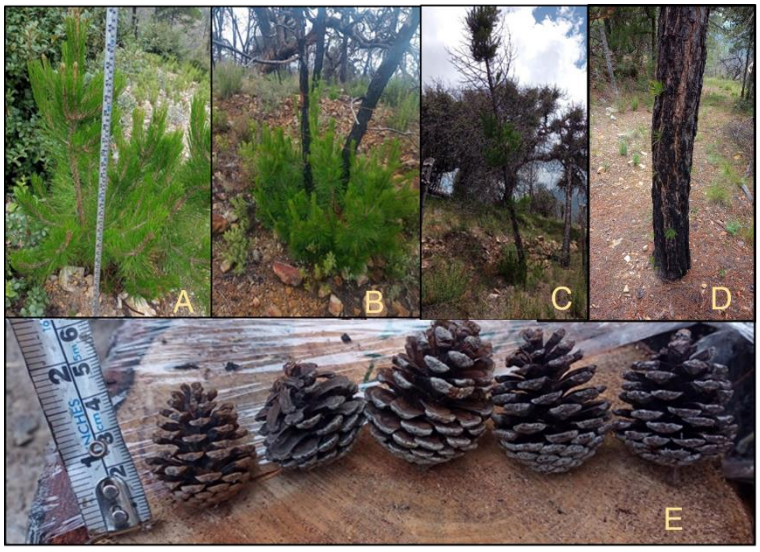


Figura 2. Imágenes A y B) indican rebrotes basales; C) rebrotes basales, a mitad y en el ápice del árbol; D) rebrotes en fuste de árbol, y E) conos de *Pinus teocote*.

Conclusiones

Los árboles quemados con alta severidad y menores a 20 cm de diámetro tuvieron mayor capacidad de rebrotar; a medida que incrementa el diámetro, la capacidad de rebrotar disminuye. Las estrategias de adaptación a incendios son rebrotes basales, rebrotes a mitad y en el ápice del árbol quemado; *Pinus greggii* no presentó rebrotes basales. Los futuros estudios podrían considerar rasgos de serotinidad en los conos de *Pinus teocote* y los procesos fisiológicos que influyen en el rebrote de los árboles después de incendios; además, ampliar los estudios de ecología de incendios en bosques de Pinos de México.

Referencias

Baumgartner, K. H. & P. Z. Fulé. (2007). Survival and sprouting responses of Chihuahua pine after the Rodeo-Chediski fire on the Mogollon Rim, Arizona. Western North American Naturalist 67(1):51–56.

SMN-CNA (Servicio Meteorológico Nacional-Comisión Nacional del Agua). 2024. Información estadística climatológica. Recuperado: 18 de septiembre de 2024. Disponible en: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica.

Gómez-Mendoza, F. F. & D. A. Rodríguez-Trejo. (2021). Fuego, mortalidad y rebrotación en especies forestales de la Sierra Norte de Puebla. Madera y Bosques. 27(3):1-15. Doi: 10.21829/myb.2021.2732148

Miller, M. (2000). Fire autecology. En J. K. Brown & J. Kapler Smith (Eds.), Wildland fire in ecosystems. Effects of fire on flora (pp. 9-34). General Technical Report RMRS-GTR.42, vol. 2. Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

Miller, M. & J. Findley. (2001). Fire Effects Guide. National Wildfire Coordinating Group. National interagency fire center great basin area cache. Boise, Idaho, USA. 313 p

Myers, L., R.2006. Convivir con el fuego. Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el manejo integral del fuego. Iniciativa global para el manejo del fuego. Tallahassee, USA. 36 p.

Rodríguez, T., D.A., P. Z. Fulé. 2003. Fire ecology of Mexican pines and fire management proposal. *International Journal of Wildland Fire* 12: 23-37

Sánchez D., M., A. Gallegos R., G. A. González C., J. C. Castañeda G. y R. G. Cabrera O. 2014. Efecto del fuego en la regeneración de *Pinus oocarpa* Schiede exSchltdl. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(24):126-143. Doi: 10.29298/rmcf.v5i24.325

Yerena-Yamallel, J.I., García-Ortuño, V. Del P., Cuéllar-Rodríguez, L.G & A.M. Reyna-González. (2023). Efecto de la severidad de incendio en brotes de Pinus en Santiago, Nuevo León. *Revista mexicana de ciencias forestales.* 14(79). 160-179.

PRODUCCIÓN Y VALOR NUTRITIVO DE CEREALES DE INVIERNO EN DOS FECHAS DE SIEMBRA EN LA COMARCA LAGUNERA

Juan I. Sánchez Duarte[1*], Arturo Reyes Gonzáles[1], Omar Iván Santana[2], Esmeralda Ochoa Martínez[1], David G. Reta Sánchez[3].

[1]INIFAP-Campo Experimental La Laguna. Matamoros. Coahuila C.P. 27440. [2]INIFAP-Campo Experimental Pabellón. Pabellón de Arteaga, Ags. C.P. 20660. [3]Inifap-Campo Experimental Delicias. Delicias, Chih. C.P. 33000. *Autor de correspondencia: sanchez.juan@inifap.gob.mx

Introducción

La alfalfa, el maíz forrajero, el sorgo forrajero y la avena y el triticale son los principales forrajes utilizados en los sistemas intensivos de producción de leche en la Región Lagunera. Respecto a los cereales de grano pequeño, estos se pueden sembrar en los ciclos de otoño-invierno. Tienen una producción regular de materia seca por hectárea y una calidad nutricional que puede ser de regular a alta. Además, su forraje se puede utilizar en las raciones de diferentes clases de ganado lechero (Núñez et al., 2010). Al igual que en los otros forrajes, la producción y calidad nutricional del forraje de cereales de invierno está directamente relacionada con el manejo agronómico.

Entre los factores más importantes a considerar en la producción de cereales de grano pequeño se incluye la especie y/o variedades y la fecha de siembra (Gunsaulis et al., 2008). En relación a especies de invierno, la avena es la especie de cereal de invierno más popular en las cuencas lecheras del Norte del país. El trigo es una especie alternativa más tolerante al frío, enfermedades y sequía. La cebada es menos utilizada como forraje, aunque se ha demostrado que su potencial productivo y calidad nutricional puede ser superior o igual a la avena, el trigo y el triticale (Colín et al., 2009).

El triticale es una especie con una producción de forraje similar a la avena, trigo y cebada, pero con mayor tolerancia a temperaturas bajas, sequía y suelos salinos o alcalinos (Zamora et al., 2002). En adición, las variedades de cebada y triticale sin aristas afectan menos al consumo en el ganado que las variedades convencionales con aristas (Barnett et al., 2018; Brown y Almoadares, 1976). En relación a la fecha de siembra, la producción de forraje de materiales genéticos de cereales de invierno varía según las condiciones climáticas que se presentan a través del ciclo de producción (Coblentz et al., 2011). Particularmente, estos últimos autores señalan que es necesario condiciones adecuadas de temperatura y disponibilidad de agua en etapas críticas como amacollamiento, crecimiento y desarrollo reproductivo.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la producción y el valor nutritivo del forraje de cinco especies de cereales de grano pequeño sembrados en octubre y noviembre en la Comarca Lagunera.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en el Campo Experimental La Laguna del INIFAP de Matamoros, Coahuila, México durante el ciclo de producción de otoño-invierno del 2012. El clima es cálido semiárido con una temperatura media anual de 20.6 ºC y precipitación pluvial promedio de 243 mm. Los suelos son de textura arcillo-arenosa, pH alcalino (7.8), sin problemas de sales (menos de 2 mmhos/cm) o sodio (RAS menor de 7).

Se evaluó el efecto de cinco diferentes cereales de grano pequeño; avena variedad Cuauhtémoc, trigo variedad Anáhuac, triticale variedad Rio Nazas, triticale variedad Eronga y cebada variedad San Marcos y dos fechas de siembra; 10 de octubre y 10 de noviembre. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones y un arreglo factorial 2 × 5. El factor A fueron las variedades de cereales de grano pequeño y el factor B las fechas de siembra.

La siembra se realizó en suelo seco utilizando una densidad de 120 kg de semilla por ha^{-1} para avena y de 150 kg de semilla por ha^{-1} para las otras especies. La fertilización consistió en aplicar una dosis de 120-40-00, de N-P-K, respectivamente. Se utilizó sulfato de amonio como fuente de nitrógeno y MAP como fuente de fosforo. Se aplicó un riego de siembra y cuatro riegos de auxilio aproximadamente a intervalos de cada 20 días.

La cosecha se realizó cuando el grano en los cereales alcanzó un estado lechoso-masoso. La parcela útil para cada cereal fue de 30 m^2. La cosecha se realizó descartando un metro de cada lado de la parcela para evitar el efecto orilla. El total de forraje de la superficie se pesó en fresco y se tomaron dos muestras por parcela de forraje de aproximadamente 600 g. Estas muestras se secaron en una estufa de aire forzado a 65 °C por 48 horas consecutivas.

Se evaluó la producción de materia seca por hectárea (MS) y los contenidos de proteína cruda (PC) y fibra detergente neutro (FDN). Adicionalmente, se determinó la digestibilidad *in vitro* de la MS en todos los cereales.

La producción de materia seca por hectárea se determinó con el producto del rendimiento del forraje verde de la parcela por el porcentaje de MS del forraje de cada parcela experimental. Las muestras secas de forraje de cada parcela se molieron en un molino Willey a un tamaño de partícula de 1 mm. La PC en el forraje se determinó por el método Kjeldhal y la concentración de la FDN y digestibilidad in vitro de la MS del forraje se realizó de acuerdo a lo descrito por Goering y Van Soest, 1970.

Toda la información se analizó mediante un análisis de varianza. Primeramente, se combinaron las dos fechas de siembra y las cinco especies de cereales. Como la interacción fecha de siembra × especie afectó significativamente ($P<0.05$) el rendimiento de MS y la concentración de PC, la información se analizó por separado para identificar el potencial forrajero de cada especie en diferente fecha de siembra. Se utilizó la prueba de Tukey para separar las medias. Se declaró una diferencia significativa entre especies en las variables evaluadas cunado $P\leq0.05$.

Resultados y discusión

Rendimiento de forraje. En la Figura 1 se observa el rendimiento de MS de las cinco diferentes especies de cereales pequeños evaluados en octubre. En esta fecha de siembra, la cebada San Marcos tuvo una producción menor de materia seca por hectárea (12.65 t) que los demás materiales genéticos, los cuales tuvieron producciones de materia seca de 17.11 a 19.55 t ha^{-1} ($P<0.05$). En contraste, en la fecha de siembra de noviembre (Figura 2), la producción de materia seca fue similar ($P>0.05$) en todos los materiales genéticos evaluados; con valores de 14.32 a 16.20 t ha^{-1}. Se han encontrado diferencias de 68 % en la producción de forraje de materiales genéticos de trigo entre dos fechas de siembra con 20 días de diferencia (Hossain et al., 2003). De igual manera, se han indicado diferencias significativas en producción de forraje entre materiales genéticos de avena (Coblentz et al., 2011).

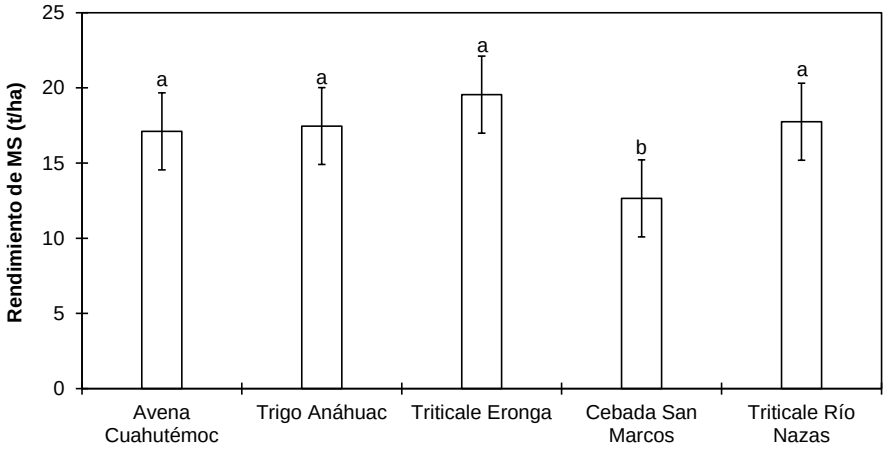


Figura 1. Rendimiento de MS de cereales de grano pequeño sembrados en octubre en la Comarca Lagunera. Barras con letra desigual, son estadísticamente diferente (P<0.05).

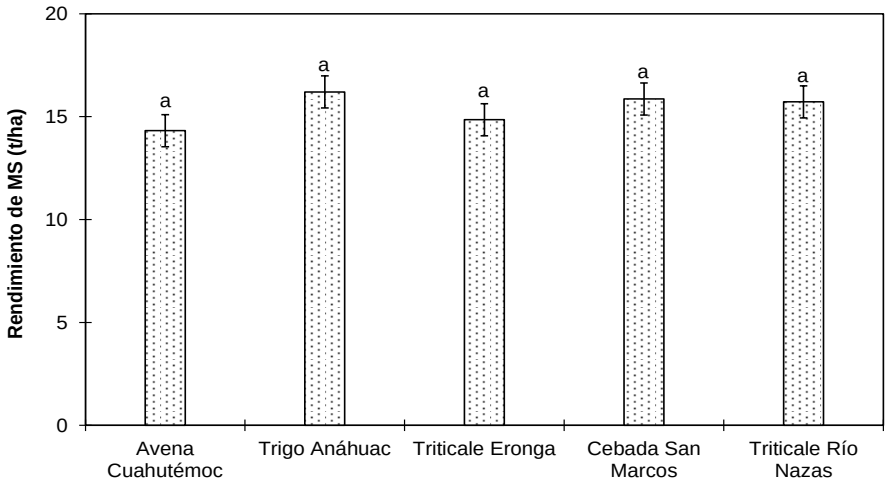


Figura 2. Rendimiento de MS de cereales de grano pequeño sembrados en noviembre en la Comarca Lagunera. Barras con letra igual, son estadísticamente iguales (P>0.05).

Valor nutritivo del forraje. La digestibilidad *in vitro* de la MS de las diferentes especies evaluadas con siembra de octubre fue similar (P>0.05; Cuadro 1). Sin embargo, los contenidos de PC y FDN fueron diferentes entre las diferentes especies de cereales sembradas en esta fecha (P<0.05).

La cebada San Marcos presentó los mayores contenidos de PC que el resto de los otros cereales sembrados en octubre. Esta fue seguida por la avena Cuauhtémoc, que fue superior a los otros tres restantes. Las mayores concentraciones de FDN se observaron en la avena Cuauhtémoc, el trigo Anáhuac y el triticale Eronga. La cebada San Marcos puede igualar la FDN de estas tres especias mencionadas sembradas en octubre o reducir su fibra como el triticale Río Nazas; el cual tuvo el contenido más bajo de FDN (P<0.05; Cuadro 1).

En la fecha de siembra de noviembre todas las variables del valor nutritivo de los cereales evaluados se comportaron diferente (P<0.05; Cuadro 2). La avena Cuauthémoc tuvo el mayor porcentaje de PC y esta solo fue igualado por la que tuvieron el triticale Eronga y la cebada San marcos.

La PC del trigo Anáhuac y el triticale Rio Nazas fueron los más bajos y pueden ser iguales a la que presento el trigo Anáhuac. La mayor FDN se observó en la cebada San Marcos y esta fue igual a la obtenida por el trigo Anáhuac y el triticale Eronga; los cuales tuvieron similar FDN que la avena Cuauhtémoc y el triticale Río Nazas.

La digestibilidad de la MS de los cereales evaluados en noviembre mostró diferencias significativas (P<0.05; Cuadro 2). La avena Cuauhtémoc tuvo la mayor digestibilidad de la MS y esta solo fue igualada por la que mostró el triticale Eronga y el triticale Río Nazas; los cuales pueden presentar digestibilidades bajas como las que mostró el trigo Anáhuac y la cebada San Marcos. Mayores contenidos de PC, FDN y digestibilidad se han encontrado en avena sembrada en el invierno tardío, respecto a aquella que se siembra a finales de primavera (Contreras-Govea y Albrecht, 2006). Dichas diferencias están fuertemente asociadas a la duración del día y al efecto de la temperatura en las diferentes fechas de siembra.

Cuadro 1. Variables de valor nutritivo de diferentes especies de cereales sembrados en octubre en la Comarca Lagunera.

Variedades	PC (%)	FDN (%)	Digestibilidad *in vitro* de MS (%)
Avena Cuauhtémoc	10.74^{b}	62.95^{a}	69.86^{a}
Trigo Anáhuac	9.01^{c}	63.71^{a}	68.85^{a}
Triticale Eronga	8.23^{c}	64.45^{a}	68.11^{a}
Cebada San Marcos	11.83^{a}	61.91^{ab}	70.46^{a}
Triticale Rio Nazas	9.14^{c}	58.83^{b}	70.07^{a}

MS= Materia seca; PC= Proteína cruda; FDN= Fibra detergente neutra.

Medias dentro de cada columna con diferente literal son estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$).

Cuadro 1. Variables de valor nutritivo de diferentes especies de cereales sembrados en noviembre en la Comarca Lagunera.

Variedades	PC (%)	FDN (%)	Digestibilidad *in vitro* de MS (%)
Avena Cuauhtémoc	11.20^{a}	60.59^{b}	72.35^{a}
Trigo Anáhuac	8.52^{b}	62.92^{ab}	67.45^{b}
Triticale Eronga	10.30^{ab}	62.21^{ab}	71.10^{ab}
Cebada San Marcos	10.33^{ab}	64.70^{a}	66.66^{b}
Triticale Rio Nazas	9.66^{b}	59.42^{b}	71.59^{ab}

MS= Materia seca; PC= Proteína cruda; FDN= Fibra detergente neutra.

Medias dentro de cada columna con diferente literal son estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$).

Conclusiones

Los resultados del estudio mostraron que noviembre es la mejor fecha de siembra para la avena Cuauhtémoc, el trigo Anáhuac, el triticale Rio Nazas, el triticale Eronga y la cebada San Marcos en la Comarca Lagunera. Sin embargo, la mejor calidad nutritiva se puede obtener con la avena Cuauhtémoc y los triticales Eronga y Río Nazas sembrados en noviembre porque se tiene la mejor PC y digestibilidad. Una mayor PC en octubre solo se puede obtener con la cebada San Marco.

Referencias

Barnett, R. D., R. L. Stanley, W. H. Chapman, and R. L. Stith. 2018. Triticale, new feed and forage crop for Florida. Sunshine State Agric. Res. (July-Sept.) p. 12-14

Brown, A. R. and A. Almodares. 1976. Quantity and quality of triticale forage compared to other small grains. Agron. J. 68(2): 264-266.

Coblentz, W. K., M. G. Bertram, and N. P. Martin. 2011. Planting date effects on fall forage production of oat cultivars in Wisconsin. Agron. J. 103(1):145-155.

Colín, R. M., V. V. M. Zamora, T. M. A. Torres y S. A. Jaramillo. 2009. Producción y valor nutritivo de materiales genéticos imberbes de cebada forrajera en la región lagunera de México. Téc Pec. Méx. 47(1):27-40.

Contreras-Govea, F. E., K. A. Albrecht. 2006. Forage production and nutritive value of oat in autumn and early summer. Crop Sci. 46(6):2382-2386.

Goering, H. K., P. J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures, and some applications). USDA-ARS Agric. Handbook No. 379.

Gunsaulis, J. L., W. K. Coblentz, R. K. Ogden, R. K. Bacon, K. P. Coffey, D. S. Hubbel III, J. V. Skinner Jr., M. S. Akins. J. D. Caldwell, K. S. Lusby, and S. A. Gunter. 2008. Fall growth potential of cereal grain forages in Northern Arkansas. Agron. J. 100(4): 1112-1123.

Hossain, I., F. M. Epplin, and E. G. Krenzer Jr. Wheat. 2003. Planting date influence on dual-purpose winter wheat forage yield, grain yield, and test weight. Agron. J. 95(5):1179-1188.

Núñez, H. G., G. J. A. Payán, R. A. Peña, C. F. González, B. O. Ruiz y A. C. Arzola. 2010. Caracterización agronómica y nutricional del forraje de variedades de especies anuales en la región norte de México. Rev. Mex. Cienc. Pec. 1(2):85-98.

Zamora, V. V. M., R. A. J. Lozano, B. A. López, V. M. H. Reyes, S. H. Díaz, R. J. M. Martínez y R. J. M. Fuentes. 2002. Clasificación de triticales forrajeros por rendimiento de material seca y calidad nutritiva en dos localidades de Coahuila. Tec. Pec. Méx. 40(3):229-242.

EVALUACIÓN DE LEGUMINOSAS FORRAJERAS DE OTOÑO-INVIERNO CON INOCULACIÓN Y FERTILIZACIÓN QUÍMICA EN LA COMARCA LAGUNERA

Juan I. Sánchez Duarte[1*], Esmeralda Ochoa Martínez[1], David G. Reta Sánchez[2], Yasmin I. Chew Madinaveitia[1], Karla Rodríguez Hernández[1].

[1]INIFAP-Campo Experimental La Laguna. Matamoros. Coahuila C.P. 27440. [2]Inifap-Campo Experimental Delicias. Delicias, Chih. C.P. 33000. *Autor de correspondencia: sanchez.juan@inifap.gob.mx

Introducción

Las leguminosas son muy importantes en los sistemas de producción de forrajes porque mejoran la fertilidad de los suelos agrícolas al agregar el nitrógeno (N) atmosférico al suelo mediante la fijación biológica del N (Drew et al., 2012) y porque su forraje contiene un buen nivel de proteína cruda (PC) y adecuada digestibilidad (Baumont et al., 2016). Sin embargo, para que una leguminosa sea exitosa en estos sistemas de producción necesita mostrar nodulación en el suelo para ahorrase en fertilización nitrogenada. Una opción para mejorar la nodulación de las leguminosas en el suelo es el uso de inoculantes bacterianos.

La presión por incrementar la producción agrícola sostenible hace que exista un mercado de inoculantes microbianos basados principalmente en bacterias (O´Callaghan et al., 2022). Estas bacterias están en simbiosis con las especies de leguminosas que suelen fijar hasta 300 kg ha^{-1} de N por año (Mendoza-Suárez et al., 2021). Los rizobios han sido los primeros biofertilizantes producidos que se aplican en 400 millones de hectáreas de tierras agrícolas por año ahorrando miles de millones de dólares como una alternativa a los fertilizantes nitrogenados (Youseif et al., 2020). El beneficio de la simbiosis es decisivo en los sistemas agrícolas ya que para tener un aumento en la producción es muy importante el uso de leguminosas en su máximo potencial genético e inocularlas con rizobios específicos (Kebede, 2021).

Un inoculo es una bacteria (rizobio) que se aplica sobre la semilla o al suelo donde el rizobio crecerá en forma de nódulo en la raíz del cultivo y tendrá una relación simbiótica con la planta. Sin embargo, la formación de nódulos puede ser afectada por el tipo de suelo y sus propiedades fisicoquímicas como la temperatura, el pH y la humedad (Rao et al., 2002; O´Callaghan et al., 2022). Así mismo, la capacidad de fijación biológica del N (FBN) también depende de la especie de leguminosa. Kebede (2021) menciona que la FBN del chícharo es de 37 a 125 k ha^{-1}, la del trébol es de 35 a 389 kg ha^{-1} y la del garbanzo de 21 a 104 kg ha^{-1}. La práctica agrícola más común para integrar las leguminosas y su sistema de fijación biológica de N asociada en los sistemas agrícolas puede ser la rotación de cultivos, el abono verde y el cultivo intercalado (Kebede, 2021). El objetivo del presente estudio fue evaluar el trébol, garbanzo y chícharo con inoculación bacteriana y fertilización química en la Comarca Lagunera.

Materiales y métodos

El estudio fue realizado en el Campo Experimental La Laguna del INIFAP. La textura del suelo es arcillosa en las profundidades de 0 a 30 y 30 a 60 cm. La preparación del terreno consistió en arado, rastreo, nivelación del suelo y surcado. Los tratamientos en evaluación fueron tres especies de leguminosas: chícharo (*Pisum sativum* L.), garbanzo (*Cicer arietinum* L.) y trébol Alejandrino (*Trifolium alexandrinum* L.) con inoculación de la semilla (sin fertilización nitrogenada) y con fertilización nitrogenada bajo un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones bajo un arreglo factorial 3 x 2. La semilla de chícharo se inoculó con *Rhizobium leguminosarum* biovar viceae.

La semilla de garbanzo se trató con un inoculante que contiene *Mesorhizobium ciceri* y la de trébol Alejandrino con *Sinorhizobium meliloti* y *Rhizobium leguminosarum* biovar trifolii (Clover). La dosis de fertilización fue de 150-80-00 kg de N y P_2O_5 kg ha^{-1}. La siembra se realizó en forma manual el 30 de octubre en suelo seco. La distancia entre surcos fue de 0.20 cm. con una densidad de siembra en trébol de 91 semillas/metro lineal y 28 semillas/metro lineal en chícharo y garbanzo. Todos los tratamientos se fertilizaron con 80 kg de P_2O_5 utilizando fosfato monoamónico; mientras que en los tratamientos con fertilización nitrogenada se aplicaron 150 kg ha^{-1} utilizando Novatec 45. Se aplicaron cuatro riegos de auxilio. La cosecha se realizó a los 120 días después de la siembra.

Resultados y discusión

La interacción especie × fertilización/inoculación afectó significativamente el rendimiento de forraje en las tres leguminosas evaluadas (Figura 1; P = 0.004). El trébol con fertilización química mostró el mayor rendimiento (7,357.57 kg/ha) y solo el garbanzo con fertilización química pudo igualar este rendimiento (6,073.85 kg/ha). Los rendimientos más bajos de forraje se observaron en el trébol (3,117.81 kg/ha) y el chícharo (3,699.36 kg/ha) cuando se inoculó la semilla. Solo el garbanzo inoculado pudo igualar el rendimiento de forraje (5,100.46 kg/ha) que presentaron el chícharo (5132.17 kg/ha) y el garbanzo (6073.85 kg/ha) con fertilización química.

La fijación del N ambiental por las leguminosas no ocurre de manera natural. Debe de haber rizobios compatibles y eficaces en el suelo para que ocurra la nodulación y la fijación del N por la leguminosa (Drew et al., 2012). Seguin et al. (2001) encontró un mejor efecto en parámetros productivos de trébol fertilizado con N que en trébol inoculado con rizobios. En garbanzo, se han obtenido los mejores resultados productivos con el uso de inóculos y una dosis inicial de fertilización nitrogenada de 20 kg ha^{-1} (Yeremko et al., 2024). En chícharo, los mejores resultados en producción se obtuvieron cuando la inoculación de la semilla estuvo soportada por una fertilización inicial con N que cuando se utilizó únicamente la inoculación. Pero una excesiva aplicación de N inicial también afecta negativamente a la nodulación (Huang et al., 2017).

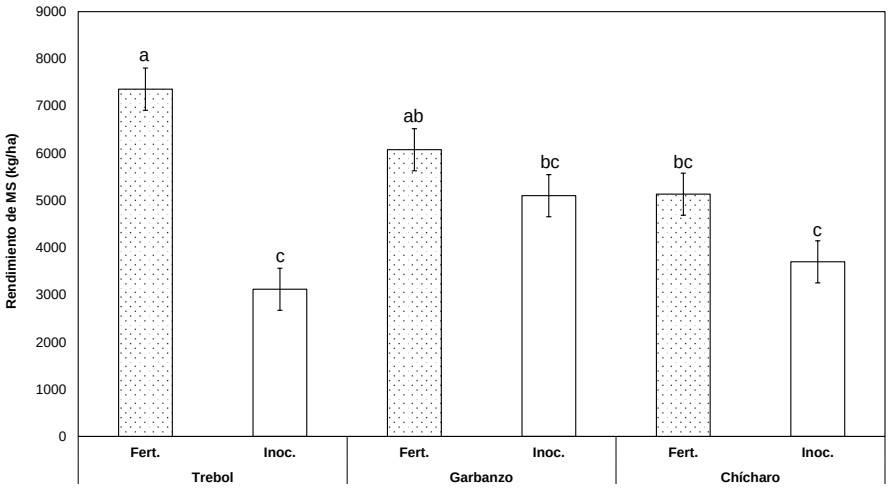


Figura 1. Efecto de la interacción especie × fertilización/inoculación sobre el rendimiento de forraje de leguminosas de otoño-invierno con fertilización química e inoculación. Barras con letra desigual difieren a un valor de P = 0.004 (EE = 446.86 kg/ha).

Hubo interacción especie × fertilización/inoculación para el contenido de PC (P = 0.001) y el rendimiento de PC en el forraje de leguminosas (P = 0.0002) (Figura 2). El trébol con fertilización química mostró el mayor contenido de PC (34%) que el resto de los tratamientos. Sin embargo, no hubo diferencias significativas (P>0.05) entre la PC del trébol inoculado, el garbanzo con fertilización química y el chícharo inoculado y con fertilización química. Tufail et al. (2018) encontró mayor contenido de PC en el forraje de trébol inoculado que en el forraje de trébol sin recibir inoculación. Un mayor contenido de PC en el forraje se ha asociado a un mayor aporte de N al suelo (Gimbalvo et al., 2011).

En contraste al contenido de PC en el forraje, el trébol inoculado presentó el menor rendimiento de PC (822.77 kg/ha), y solo fue igualado por el chícharo (1,045.53 kg/ha) y el garbanzo (1,200.93 kg/ha) con el tratamiento de inoculación. Claramente, este último efecto es debido a los menores rendimientos de MS que presentaron los tratamientos.

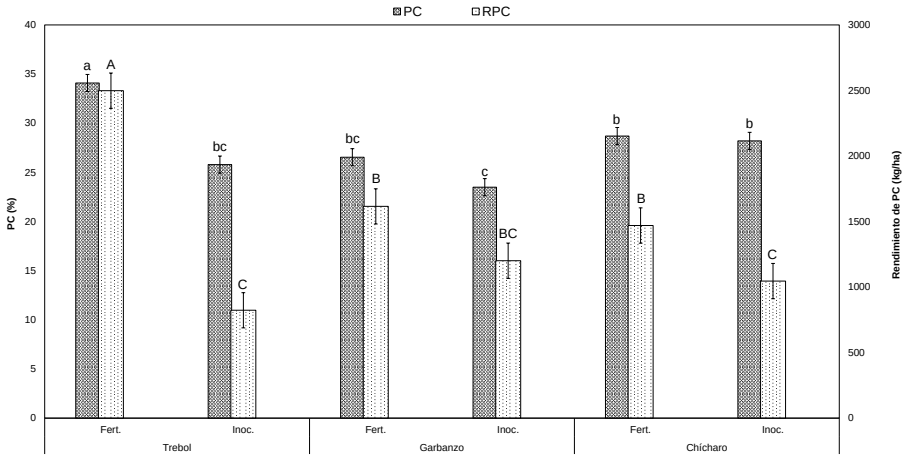


Figura 2. Efecto de la interacción especie × fertilización/inoculación sobre el contenido de PC y rendimiento de PC (RPC) de leguminosas de otoño-invierno con fertilización química e inoculación. Barras con letras minúsculas desigual marcan la diferencia estadística para el contenido de PC a un nivel de P = 0.001 (EE = 0.87%). Barras con letras mayúsculas desigual marcan la diferencia estadística para el rendimiento de PC a un nivel de P = 0.0002 (EE = 134.46 kg/ha)

En el Cuadro 1 se muestra la altura de planta y la distribución de la MS en la planta de las diferentes leguminosas evaluadas con fertilización química e inoculación. La interacción especie × fertilización/inoculación afectó (P<.0001) la altura de planta. La mayor altura de planta la presentó el chícharo (74.4 cm) con fertilización química y la más baja el trébol con el tratamiento de inoculación (20.08 cm). La distribución de la MS considerando los tallos, hojas y flores fue afectada por la especie (Cuadro 1; P<0.05).

El garbanzo presentó la mayor proporción de tallo (59.06%), seguido por el chícharo (49.18%) y finalmente, por el trébol (40.31%). Sin embargo, el trébol mostró la mayor proporción de hojas (59.7%) que el garbanzo (40.66%) y el chícharo (48.51%). Por lo tanto, esta mayor proporción de hojas en trébol podría explicar la mayor concentración de PC en el trébol fertilizado químicamente.

Cuadro 1. Altura y distribución de la MS de leguminosas de otoño-invierno con fertilización química e inoculación.

	Trébol		Garbanzo		Chícharo			Efectos (P>F)		
Para metro	Fert.	Inoc.	Fert.	Inoc.	Fert.	Inoc.	EE	E	FI	E × FI
Altura (cm)	38.39^{d}	20.80^{e}	62.45^{c}	63.70^{bc}	74.40^{a}	70.65^{ab}	1.72	<.0001	0.0002	<.0001
MS (%)	12.45	17.02	16.75	16.25	11.76	13.1	0.99	0.002	0.04	0.06
Distribución de MS										
Tallos (%)	44.41	36.2	56.97	61.16	48.49	49.86	2.90	<.0001	0.71	0.11
Hojas (%)	55.6	63.8	42.83	38.49	50.64	46.38	2.92	<.0001	0.96	0.07
Flor (%)	0	0	0.18	0.23	0.43	0.67	0.12	0.0008	0.33	0.59
Vaina (%)	0^{b}	0^{b}	0.02^{b}	0.12^{b}	0.43^{b}	3.09	0.21	<.0001	<.0001	<.0001

MS = materia seca; EE = error estándar, Fert. = fertilización química, Inoc. = inoculación de la semilla.
Efectos: E = especie, FI = fertilización/inoculación, E × IF = interacción especie × fertilización/inoculación (P≤0.05).

Conclusiones

La inoculación de la semilla en trébol y chícharo no tuvo efectos positivos sobre el rendimiento de MS como se tuvo en garbanzo inoculado o con la fertilización química. Sin embargo, la inoculación de la semilla parece soportar mayormente los contenidos de PC en el forraje de las leguminosas; ya que esto les permite tener la proporción adecuada de hojas de acuerdo a la morfología de la especie.

Referencias

Baumont, R., D. Bastien, A. Férard, and V. Niderkorn. 2016. The multiple advantages of using forage legumes to feed ruminants. Fourrages. 227:171-180.

Drew, E., D. Herridge, R. Ballard, G. O´Hara, R. Deaker, M. Denton, R. Yates, G. Gemell, E. Hartley, L. Phillips, N. Seymour, J. Howieson, and N. Ballard. 2012. Inoculation legumes: A practical guide. Grain Research and Development Corporation. ISBN 978-921779-45-9. Kingston Act. 2604. p. 71.

Huang, J., R. K. Afshar, A. Tao, and C. Chen. 2017. Efficacy of starter N fertilizer and rhizobia inoculant in dry pea (*Pisum Sativum* Linn.) production in a semi-arid temperate environment. Soil Sci. Plant Nutr. 63(2):248-253.

Mendoza, S. M., S. U Andersen, P. S. Poole, C. C. Sánchez. 2021. Competition, nodule occupancy, and persistence of Inoculant strains: key factors in the Rhizobium-Legume Simbioses. Front. Sci. 12:690567.

O´Callaghan, M., R. A. Ballard, and D. Wright. 2022. Soil microbila inoculants for sustainable agricultura: Limitations. Soil Use Manag. 38:1340-1369.

Kebede, E. 2021. Contribution, Utilization, and Improvement of Legumes-Driven Biological Nitrogen Fixation in Agricultural Systems. Front. Sustain. Food Syst. 5:767998.

Rao, D. L. N., K. E. Giller, A. R. Yeo, and T. J. Flowers. 2002. The effects of salinity and sodicity upon nodulation and nitrogen fixation in chickpea (Cicer arietinum). Ann. Bot. 89:563-570.

Seguin, P., C. C. Sheaffer, N. J. Ehlke, M. P. Russelle, and P. H. Graham. 2001. Nitrogen fertilización and rhizobial inoculation effects on cura klover growht. Agron. J. 93:1262-1268.

Tufail, M. S., G. L. Krebs, J. Ahmad, A. Southwell, J. W. Piltz, and P. C. Wynn. 2018. The effect of rhizobium seed inoculation on yields and quality of forage and seed of berseem clover (*Trifolium alexandrinum* L.) and its impact on soil fertility and smallholder farmer´s income. J. Anim. Plant Sci. 28(5):1493-1500.

Yeremko, L., V. Hanhur, and M. Staniak. 2024. Effect of fertilization and microbial preparations on productivity of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Acta Agrobot. Vol. 77. Article 182829.

Youseif, S. H., F. H. Abd El-Megeed, A. H. Mohamed, A. Ageez, E. Veliz, E. Martínez-Romero E, 2020. Diverse Rhizobium strains isolated from root nodules of *Trifolium alexandrinum* in Egypt and symbiovars. Syst. Appl. Microbiol. 44(1):126156.

APLICACIÓN DE UN MODELO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN

Bonifacio Gaona-Ponce*, Gilberto de Jesús López-Canteñs, Francisco Muñoz-Gómez, Carlos Enrique Álvarez-Moreno, Gamaliel López-Hernández

Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. CP 56230. *Autor de correspondencia: bgaonap@chapingo.mx

Introducción

La eficiencia energética consiste en la reducción de cualquier tipo de energía sin menoscabo de la calidad en su funcionamiento (Zavalía Lagos & Gil, 2020), en muchos países esta estrategia se ha propuesto para disminuir hasta una cuarta parte de las emisiones contaminantes causadas por la generación de electricidad (Fragoso Altamirano, 2020). En el presente se aplicó una metodología con el objetivo de mejorar las condiciones energéticas y de iluminación del edificio que alberga a la Dirección General de Investigación y Posgrado (DGIP) en la Universidad Autónoma Chapingo.

Materiales y métodos

Se comenzó por hacer un diagnóstico del consumo eléctrico durante seis semanas para obtener el gasto energético promedio por cada día, para ello se utilizó un equipo analizador de calidad eléctrica marca Fluke, modelo 435. Paralelamente, con un luxómetro marca STEREN modelo HER-10 se midió el nivel de iluminación siguiendo las recomendaciones de la norma oficial mexicana NOM-025-STPS-2008, que establece los requerimientos de iluminación en cada centro de trabajo (Ruiz-García & Masera, 2021).

Resultados y discusión

Después de aplicar la metodología de la norma, se encontró que sólo el 19% de los espacios cumplían con la iluminación recomendada. Para corregir esta situación, se identificó el nivel de iluminancia ideal en cada una de las áreas en correspondencia con las actividades que se llevaban a cabo, posteriormente se analizaron las luminarias existentes en el mercado y se determinó que las luminarias con tecnología LED podrían suministrar la capacidad necesaria. Realizado el cambio de iluminación se llevó a cabo una nueva medición para corroborar que la nueva iluminación cumpliera con los parámetros establecidos.

Posteriormente se midió el consumo energético durante 6 semanas para monitorear el comportamiento de la corriente en cada una de las líneas y la potencia aparente. Finalmente se compararon los datos obtenidos con el estudio realizado por Flores-Espejel et al., (2019).

En la Figura 1 se muestra la disminución del consumo energético durante un día hábil (línea continua) en comparación con el consumo energético que se tenía antes del cambio de iluminación (línea en puntos). De las 21:00 a 7:00 horas; se observa un consumo constante de 1,2 kW/h que corresponden a los equipos que siempre se mantienen en funcionamiento (reguladores, sistema de redes de internet, equipos de computación que se dejan encendidos e iluminación nocturna), después de las 7:00 horas se identifica un incremento gradual hasta alcanzar un máximo de 3,6 kW/h que corresponden a todos los equipos que se usan durante el horario laboral. Posteriormente después de las 18:00 horas el consumo vuelve a ser de 1,2 kW/h. Se observan unos pequeños picos de 2,0 kW/h que corresponden al consumo de los equipos utilizados por el personal que regresa después del horario laboral.

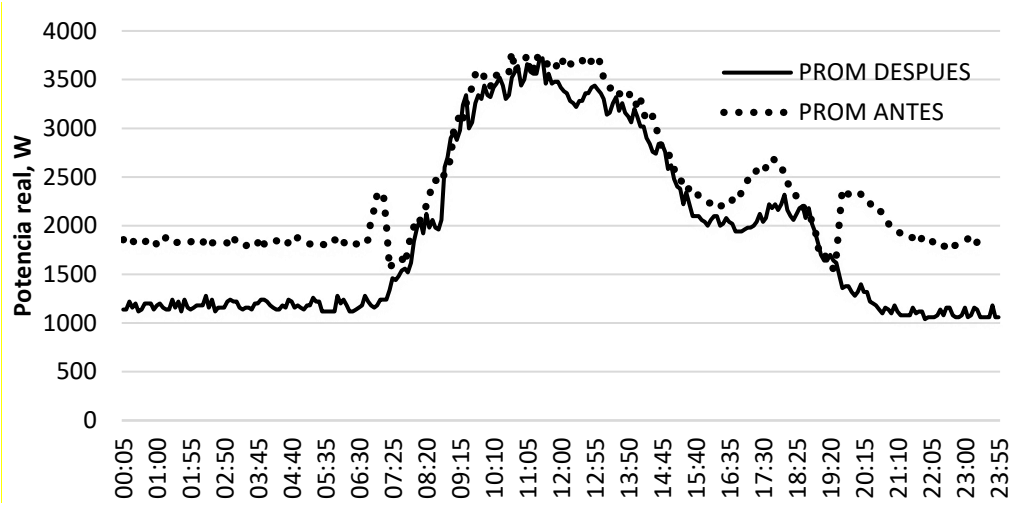


Figura 1. Potencia Eléctrica consumida en un día hábil de la DGIP antes y después del cambio de iluminación.

El consumo energético promedio para un día hábil antes del cambio de iluminación era de 2,380 kW/h (potencia real); con el cambio de iluminación, se redujo a 1,914 kW/h es decir, un 20% menos, además de que se mejoraron las condiciones de iluminación cumpliendo con los requisitos establecidos en la norma mexicana para centros de trabajo y áreas comunes.

Conclusiones

Se aplicó la metodología propuesta por la NOM-025-STPS-2008, para lograr la iluminación adecuada de acuerdo con las actividades realizadas en cada centro de trabajo. De acuerdo con las mediciones, se logró que con el cambio de las luminarias por tecnología LED todas las áreas cumplieran con la iluminancia ideal, lo que ayuda a que los empleados tengan una mejor visualización de las tareas encomendadas. Por otro lado, el monitoreo del consumo energético durante seis semanas posteriores al cambio, indicó que se redujo en un 20%, lo que, de acuerdo con estimaciones de la SEMARNAT, podría significar una reducción de 5.84 toneladas de CO2 anuales.

Referencias

Flores-Espejel, M. A., & López-Delgado, J. M. (2019). *Cálculo de un sistema fotovoltaico para la Dirección General de Investigación y Posgrado de la UACh*. Universidad Autónoma Chapingo.

Fragoso Altamirano, A. Y. (2020). México y su transición energética: un cambio en pro de la energía Renovable. *LADEE*, *1*(1), 26–42. https://doi.org/10.17981/ladee.01.01.2020.3

Ruiz-García, V. M., & Masera, O. R. (2021). Energías renovables en el sector residencial rural en México: estado del arte y oportunidades de colaboración interinstitucional. *Rinderesu*, *5*(1), 238–245.

Zavalía Lagos, R., & Gil, S. (2020). Eficiencia energética, una herramienta para mitigar la pobreza y las emisiones. In *Petrotecnia* (Vol. 4).

MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE TEMPERATURA, RUIDO Y VIBRACIÓN EN EL COMPARTIMIENTO DEL OPERADOR DE UN TRACTOR AGRÍCOLA

Bonifacio Gaona-Ponce*, Gilberto de Jesús López-Canteñs, Francisco Muñoz-Gómez, Carlos Enrique Álvarez-Moreno, Gamaliel López-Hernández, Julio Cesar Chi-Can

Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. CP 56230. *Autor de correspondencia: bgaonap@chapingo.mx

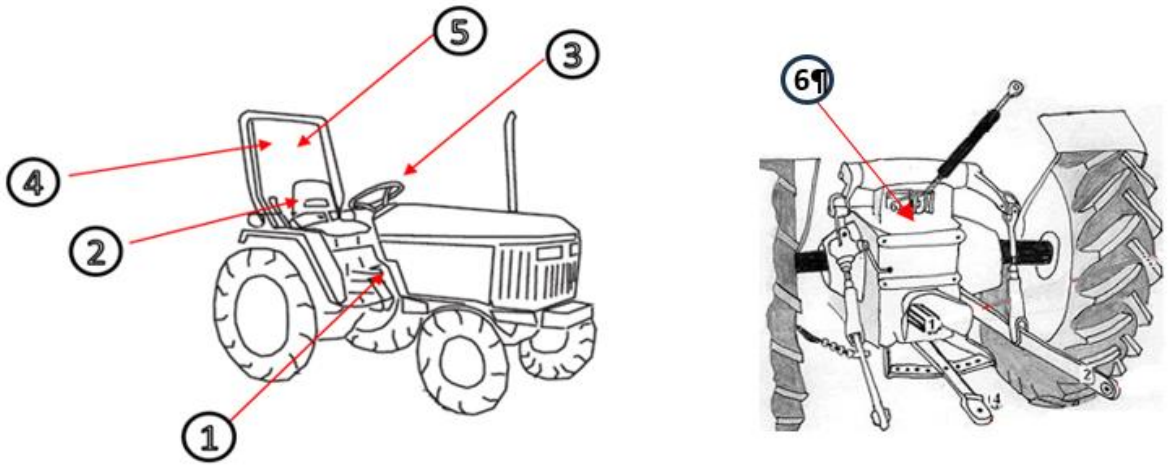
Introducción

A menudo se dice que las actividades agrícolas se realizan bajo condiciones extremas de temperatura (Sagúes Sarasa & Oscariz Ortabe, 2022), ruido (González, 2022) y vibración (Guamán Olivarez, 2020), tal es el caso de las actividades que realiza el operador del tractor agrícola (Rosas Prieto, 2023). Es por ello que el presente trabajo se desarrolló un sistema de adquisición de las variables de temperatura, ruido y vibración con el objetivo de compararlas con las condiciones que establecen las normas correspondientes.

Materiales y métodos

Se utilizó un chasis con dos módulos de la marca National Instruments, cuatro termopares tipo j, un sonómetro y un acelerómetro, instalados en el compartimiento del operador, como se indica en la Figura 1. Se desarrolló un ambiente de programación para que los datos adquiridos se grabaran en una memoria USB.

El sistema se utilizó en un tractor agrícola con una potencia en el motor de 105 HP y con un sistema de tracción 2WD. También se hizo uso de tres implementos: un arado de subsuelo integral de 5 puntas de la marca Maschio, un arado de vertederas integral de 3 cuerpos de la marca John Deere y una rastra de tiro excéntrica de 28 discos marca International.



1. Termopar en pies, 2. Termopar en cintura, 3. Termopar en volante, 4. Termopar en cabeza, 5. Sonómetro, 6. Acelerómetro

Figura 1. Ubicación de sensores en el compartimiento del operador

Resultados y discusión

Las condiciones de temperatura a las que se expone un operador de tractor agrícola dependen de las condiciones climáticas en las que se desarrolla el trabajo, además del calor generado por el motor del tractor. Existe marcada diferencia de las temperaturas entre cada prueba realizada, debido a la temperatura de inicio de estas.

Los niveles de ruido a los que se somete el operador varían dependiendo de la fuerza que se necesite aplicar para realizar el trabajo deseado, ya que el motor necesita revolucionar más para suministrar dicha fuerza. Los niveles de ruido registrados para los implementos 1 y 2 se mantuvo más o menos estable en 96 dB, mientras que para el tercer implemento se registra un aumento en el nivel de ruido de aproximadamente dos unidades; reportando 97.8 dB.

Los niveles de vibración se ven afectados debido a la irregularidad del terreno, además de la densidad del suelo cuando se inicia la labor correspondiente. Los niveles de vibración en el eje z (perpendicular al plano del terreno) disminuyen cuando se realiza el cambio de implemento. En los niveles de vibración del eje x (perpendicular al avance del tractor) existe correlación directa entre la velocidad de avance y la aceleración y frecuencia de vibración, también influye la topografía del terreno. Los niveles de vibración en el eje z para los tres implementos se encuentran dentro de los valores establecidos por la NOM-024. Los niveles de vibración en el eje x, en ningún caso cumplen los valores establecidos por la NOM-24.

Conclusiones

Un ambiente laboral seguro y cómodo es esencial para mantener a los empleados saludables y productivos. Al implementar las medidas adecuadas para controlar las condiciones térmicas, se asegura que los trabajadores puedan realizar sus tareas sin el riesgo de sufrir estrés térmico u otras afecciones relacionadas con la temperatura.

Todos los trabajadores expuestos a niveles de ruido igual o superiores a 85 dB deben contar con equipo de protección personal auditiva y ser parte de un programa de conservación de la audición, según lo establecido en la NOM-017-STPS-1993.

A pesar de no existir sanciones para cuando se incumpla la norma correspondiente a vibración, se recomienda mantener el tiempo de exposición cuando se rebasan los niveles permitidos, a fin de no caer en condiciones que puedan afectar la salud del operador.

Referencias

González, A. E. (2022). Sobre ruido, sonido y contaminación sonora. *In-Genium*, *3*, 93–105. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/136075

Guamán Olivarez, C. J. (2020). *Sistema de medida de parámetros acústicos mecánicos y eléctricos de fuentes de infrasonido y baja frecuencia*. Universidad de las Américas.

Rosas Prieto, E. del C. (2023). Sistema de gestión para el cumplimiento normativo de acuerdo a la Secretaría del Trabajo y Prevención Social (STPS). In SEDECO (Ed.), *Innovación, industrialización sostenible y complejidad productiva en las organizaciones* (75 ANIV, Issue October, pp. 188–201). Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango.

Sagúes Sarasa, N., & Oscariz Ortabe, A. (2022). *Orientaciones para la vigilancia de la salud de la población trabajadora expuesta a altas temperaturas* (Primera Ed). Instituto de Salud Pública y Laboral de Navarra.

PRODUCCIÓN DE SEMILLA CERTIFICADA DE FRIJOL NEGRO JAMAPA EN AGUASCALIENTES

Sergio Arellano-Arciniega[1]*, Mercedes Borja-Bravo[1], Juan Samuel Guadalupe Jesús Alcalá-Rico[2], Omar Castor Ponce-Garcia[3]

[1]INIFAP – Campo Experimental Pabellón, carretera Aguascalientes-Zacatecas km 32.5. Pabellón de Arteaga, Ags. C. P. 20660. [2]INIFAP – Campo Experimental Las Huastecas carretera Tampico-Mante Km. 55, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas. C. P. 79095. [3]INIFAP – Campo Experimental La Campana, carretera Chihuahua-Ojinaga, Km 33.5. Cd. Aldama, Chihuahua, C.P. 32910. *Autor de correspondencia: arellano.sergio@inifap.gob.mx

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.*)* en México es uno de los principales granos cultivados y el segundo con mayor superficie sembrada a nivel nacional, sin embargo, existe un déficit para satisfacer la demanda de consumo de las clases comerciales negro y pinto, por lo anterior se importa grano de Estados Unidos (89.4%), Canadá (8.5%) y Argentina (2.1%) (SIAP, 2023). Para atender la demanda de grano básico, principalmente del tipo negro, es necesario tecnificar los sistemas de producción como una alternativa viable para mejorar los ingresos de los productores.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ha contribuido en la generación de variedades de frijol adaptadas a las diferentes regiones agroecológicas del país, con características deseadas por productores, la agroindustria y consumidores. En el centro y sureste del país por el consumo de la población y mercado amplio de la clase comercial de frijol negro, los productores solicitan variedades de rendimiento alto, de fácil comercialización y vida de anaquel prolongada (Rosales et al., 2011). La tecnología generada en INIFAP es apropiada para mejorar la producción y la calidad del grano, con la finalidad de diversificar la producción y abastecer el mercado.

El incremento de la productividad del cultivo depende de la semilla utilizada, este insumo es determinante para obtener alto rendimiento y calidad; de ahí la importancia de que el productor elija la variedad de frijol, que posea buena adaptación al clima y suelo. La semilla certificada, permite la obtención de altos rendimientos con buena presentación física, pureza genética y alto poder germinativo, lo cual son requerimientos de los integrantes de la cadena producción-consumo de frijol (SADER, 2020).

Con base en la alta demanda de frijol Negro Jamapa, el INIFAP puso en marcha un programa para la producción de semilla certificada de esta variedad, a fin de ponerla a disposición de los clientes y usuarios de las regiones del Sur-Sureste de México, que les permita mejorar su producción. El objetivo de este trabajo fue producir semilla en la categoría certificada de la variedad de frijol Negro Jamapa en Aguascalientes para contribuir a satisfacer la demanda de productores e instituciones del sector de este tipo de frijol que se produce en el Sur-Sureste del país.

Materiales y métodos

En el Campo Experimental Pabellón de Aguascalientes se estableció un programa para la producción de semilla certificada de frijol Negro Jamapa, durante el ciclo primavera-verano de 2023. Se inscribieron ante el Servicio Nacional de Inspección de Semillas (SNICS), 12 hectáreas y la siembra se realizó entre el 12 y 22 de mayo en cinco lotes.

Descripción del área de producción. La semilla fue producida en terrenos del Campo Experimental Pabellón, que se ubica en el Valle de Aguascalientes- Chicalote, a 22° 09´ 43´´ N y 102° 17´ 48´´ W a 1923 msnm, km 32.5 de la carretera Ags. –Zac., Pabellón de Arteaga, Ags. el clima es semidesértico (Bs); temperatura media anual de 16.7 °C, media anual máxima de 20.2 °C y media anual mínima de 13.2 °C; máxima registrada 44 °C y mínima -10 °C. El periodo libre de heladas, a 60% de probabilidad, oscila entre 250 a 310 días, entre marzo a noviembre. Los suelos son de textura media (migajón arenoso), con tepetate entre los 50 y 100 cm de profundidad.

Semilla. Se adquirió semilla de la categoría registrada, con origen de producción en Nayarit durante el ciclo productivo otoño-invierno 2021. Para la producción se utilizó el paquete tecnológico generado en INIFAP-Pabellón, que incluye el manejo agronómico del cultivo como (preparación del suelo, densidad de siembra (230,000 plantas por hectárea), fertilización, riego con cintilla, control de maleza, plagas y enfermedades, cosecha, desgrane y beneficiado de la producción.

Variables evaluadas. Se evaluó al final del ciclo de cultivo el rendimiento y peso de 100 semillas, en cada muestra tomada se cosecharon todas las vainas de las plantas, y después, se limpió el grano para determinar el rendimiento en kilogramos por hectárea (kg ha^{-1}) y peso de 100 semillas (g), con una humedad del 14% en grano, se tomaron seis muestras por lote (5 lotes) de dos surcos de 5 m de longitud. Los resultados para ambas variables se analizaron mediante estadística descriptiva de acuerdo a los promedios obtenidos por cada lote de producción.

Resultados y discusión

En la Figura 1 se muestran los rendimientos obtenidos en cada lote. Los valores de rendimiento fluctuaron entre los 2500 y 3250 kg ha^{-1}, con un promedio de 2960 kg ha^{-1}. En todos los lotes se corroboró un buen comportamiento productivo de la variedad Negro Jamapa.

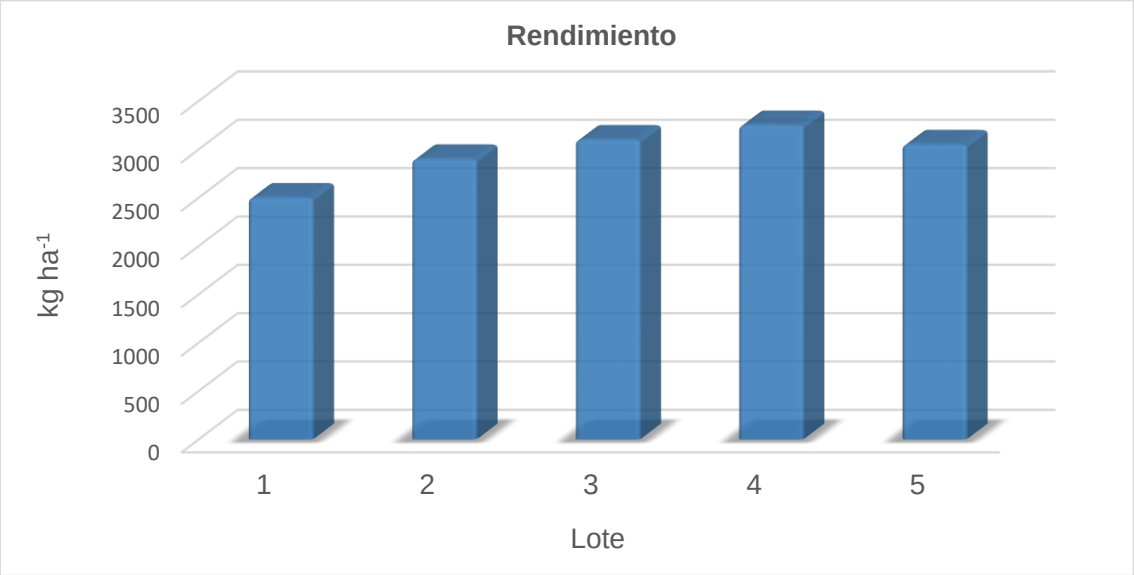


Figura 1. Rendimiento de la variedad de frijol Negro Jamapa cultivado en CEPAB. 2023.

En promedio el peso de 100 semillas fue de 20.1 g, los datos obtenidos en los lotes oscilaron entre los (19.4 y 21.2 g/100 semillas) como se muestra en la Figura 2.

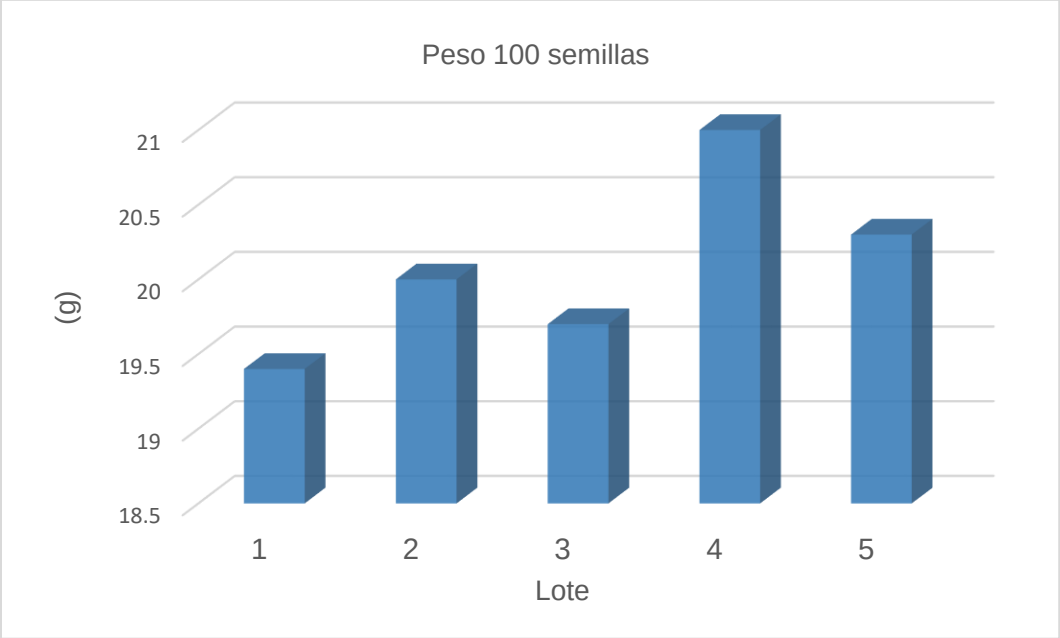


Figura 2. Peso de 100 semillas de la variedad Negro Jamapa cultivado en CEPAB. 2023.

Los valores promedio de rendimiento y tamaño de la semilla fueron similares a los registrados en otros estudios (Ibarra et al. 2022; Tosquy et al. 2017). Las condiciones climáticas presentadas durante el ciclo de desarrollo del cultivo favorecieron la producción obtenida con la variedad Negro Jamapa en Aguascalientes, aunque al inicio del ciclo del cultivo se presentaron temperaturas altas. Es importante mencionar que los días a floración y madurez fisiológica fue similar a lo mencionado en los descriptores varietales de Negro Jamapa, el rendimiento obtenido tuvo relación con el ambiente favorable durante el ciclo del cultivo y el riego aplicado de forma oportuna, lo anterior debe corroborarse en siembras comerciales en diferentes ambientes donde se pueda mantener o incrementar el rendimiento y calidad del grano (Rosales et al., 2019).

La semilla fue beneficiada y etiquetada para su venta, el costo total de producción por hectárea fue de $47,130 y el precio de venta en $40.00 kg lo cual con el rendimiento promedio obtenido de 2960 kg ha^{-1} se logró obtener una rentabilidad 150 %, es decir por cada peso invertido, se obtiene una ganancia de $1.5, en la producción de semilla certificada.

Conclusiones

La variedad de frijol Negro Jamapa muestra valores aceptables de productividad de grano en Aguascalientes bajo condiciones de riego. En el INIFAP, se tienen avances considerables en el mejoramiento genético del frijol en la generación y evaluación de líneas mejoradas dentro de las clases comerciales de mayor importancia en México, con la finalidad de diversificar la producción y abastecer el déficit de grano observado en frijol negro. Con lo anterior, se espera que los productores tengan acceso a semilla de calidad que les facilite la comercialización del grano producido y mejoren sus ingresos.

Es recomendable continuar con la evaluación agronómica de las variedades del Instituto, con lo cual se pueda ofrecer información completa sobre el comportamiento del cultivo en diversos ambientes y buscando satisfacer la demanda de los consumidores.

Agradecimientos:

Agradecemos Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por otorgar el financiamiento del proyecto Producción de semilla certificada de frijol Negro Jamapa.

Referencias

Ibarra, P. F. J., Tosquy, V. O. H., Rodríguez, R. J. R., Villar, S. B., López, S. E., y Anaya, L. J. L. 2022. Rubí: nueva variedad mejorada de frijol negro para las áreas tropicales de Veracruz y Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *13*(3), 577-585. https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2227

Rosales, S. R., Flores, G. H., Nava, B. C. A. y Ortiz, S. I. A. 2019. Rendimiento y calidad de grano en líneas mejoradas de frijol cultivadas bajo riego en Durango, México. *Revista fitotecnia mexicana*, *42*(1), 39-46. https://doi.org/10.35196/rfm.2019.1.39

Rosales, S. R., González, R. H., Nava, B. C. A., Herrera, M. D., Ramírez, C. N. Y. Z. y Jiménez, G. J. C. 2011. Rendimiento y preferencia de variedades mejoradas de frijol pinto desarrolladas en Durango. Memoria de la XXIII Semana Internacional de la Agronomía FAZ-UJED. p. 856-861.

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). Servicio de información agroalimentaria y pesquera 2023. Panorama agroalimentario 2023. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1FWHntHMgjw_uOse_MsOF9jZQDAm_FOD9/view

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas 2020. Programa Nacional de Semillas 2020-2024. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5608920&fecha=28/12/2020#gsc.tab=0

Tosquy V. O. H., López S. E., Zetina L. R., Villar S. B., y Rodríguez R. J. R. 2017. Producción de genotipos de frijol negro en condiciones de humedad residual y sequía terminal. *Terra Latinoamericana*, *35*(1), 29-39. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57349581004

EVALUACIÓN DE TRES LEGUMINOSAS DE PRIMAVERA-VERANO PARA FORRAJE O ABONO VERDE CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA E INOCULADAS CON BACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO

David Guadalupe Reta Sánchez[1*], Esmeralda Ochoa Martínez[2], Yasmin Ileana Chew Madinaveitia[2], Juan Isidro Sánchez Duarte[2], Arturo Reyes González[2]

[1]Campo Experimental Delicias. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 2 Carretera Delicias-Rosales C.P. 33000, Centro, Cd. Delicias, Chihuahua. [2]Campo Experimental La Laguna. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Blvd. José Santos Valdez 1200 Pte. Col. Centro. C.P. 27440, Matamoros, Coahuila. *Autor de correspondencia: reta.david@inifap.gob.mx

Introducción

En la región centro-sur de Chihuahua la producción agrícola es de gran importancia socioeconómica. En 2023 se cosecharon alrededor de 34,600 hectáreas de cultivos anuales bajo irrigación durante los ciclos de primavera y verano. En cultivos perennes se cosecharon 41,414 hectáreas de alfalfa y 34,260 hectáreas de nogal. Los principales cultivos anuales fueron maíz forrajero, chile verde, algodón y cebolla, los cuales ocuparon el 93% de la superficie total (SIAP, 2023), lo cual indica muy poca diversidad de especies en un sistema de producción intensivo con cortos periodos de descanso del suelo, y la utilización masiva de agroquímicos y maquinaria para aumentar rendimientos.

Esta situación indica que es importante aumentar la sustentabilidad de la agricultura a través de una mayor diversidad de cultivos en la región, con la introducción de especies leguminosas anuales. La importancia de estas especies es su capacidad de fijar N atmosférico (Palmero et al., 2022), el cual puede ser utilizado para reemplazar parte del N requerido por el siguiente cultivo (Lötjonen y Ollikainen, 2018). Las leguminosas pueden introducirse en los sistemas de producción agrícola para la producción de semilla, forraje y como abonos verdes.

En el norte-centro de México, la soya y el lablab han mostrado buena adaptación como cultivos forrajeros en evaluaciones realizadas en la Comarca Lagunera, con rendimientos de materia seca (MS) en soya de 7,873 a 11,654 kg ha^{-1}, con contenidos de proteína cruda (PC) de 19.7 a 24.6%, fibra detergente neutro (FDN) de 31.9 a 45.1% y energía neta para lactancia (EN_L) de 1.17 a 1.55 Mcal kg^{-1} de MS; mientras que lablab produjo forraje con contenidos de PC de 17%, FDN de 50.9% y EN_L de 1.03 Mcal kg^{-1} de MS, con rendimientos de 6,132 a 15,578 kg ha^{-1} de MS (Reta et al., 2008). Otra leguminosa con potencial de adaptación para la región es la *Crotalaria juncea*, especie que ha sido usado principalmente como abono verde debido a su rápido crecimiento (Schomberg et al., 2007). Esta especie produce rendimientos de MS de 2020 a 3360 kg ha^{-1} en 60 días, además de tener una alta habilidad para fijar nitrógeno atmosférico (Garzon et al., 2022), y contribuir en el control biológico de nemátodos (Thaha, 2016). El objetivo del presente estudio fue evaluar el potencial de tres leguminosas de primavera-verano como cultivos forrajeros y como abono verde con fertilización nitrogenada e inoculadas con bacterias fijadoras de nitrógeno en Delicias, Chihuahua.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Campo Experimental Delicias del INIFAP, localizado en Delicias, Chihuahua a 28° 11’ latitud norte y 105° 30’ longitud oeste, con una altitud de 1178 m. La textura del suelo es franco arenoso en el estrato 0-30 cm y franco arcilloso arenoso en 30-60 cm. La preparación del terreno consistió en subsoleo, arado, rastreo, nivelación y surcado a 0.65 m, la cual se realizó entre el 21 de abril y 15 de mayo de 2023.

El riego de presiembra se aplicó el 21 de mayo de 2023. Los tratamientos en evaluación fueron tres especies de leguminosas, cada una con un tratamiento de fertilización nitrogenada y otro sin nitrógeno, pero con la semilla tratada con inoculantes bacterianos específicos para cada especie. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con una distribución de tratamientos en factorial 3 x 2, donde el factor A fueron las especies y el factor B, los tratamientos de fertilización/inoculación. Las especies fueron soya (*Glycine max* L.), crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) y Lablab (*Lablab purpureus* L.). La semilla de soya se inoculó con *Bradyrhizobium japonicum* en dosis de 141.8 g de inoculante para 22.7 kg de semilla. Las semillas de lablab y crotalaria se trataron con un inoculante que contiene *Rhizobium leguminosarum* biovar viceae, *Bradyrhizobium* sp y *Rhizobium leguminosarum* biovar phaseoli, con dosis de 340 g para 22.68 kg de semilla.

La siembra se realizó en suelo húmedo el 1º de junio de 2023 en surcos a 0.65 m, con una densidad de siembra en crotalaria de 100 semillas m^{-2} y 64 semillas m^{-2} en lablab y soya. Las variedades fueron soya “Nainari”, lablab “cv. Sustain LS” y crotalaria “cv común”. Durante la siembra, en todos los tratamientos se fertilizó con 80 kg de P_2O_5 utilizando ácido fosfórico; mientras que en los tratamientos con fertilización nitrogenada se aplicaron 250 kg N ha^{-1} con Novatec 45. Para evitar deficiencias de Fe se aplicó quelato “Ultraferro 6%” en dosis de 10 kg ha^{-1} en todas las parcelas experimentales.

Se aplicaron cuatro riegos de auxilio a los 17, 32, 54 y 71 días después de la siembra (dds). Para el control de plagas se realizaron tres aplicaciones de insecticidas. La primera se realizó a los 23 dds con “Muralla max 300 (Imidacloprid + Betacyflutrin)” en dosis de 0.3 L ha^{-1} para el control de pulgón y trips; la segunda aplicación fue de insecticida granulado “Controla 5G (Clorpirifos)” para el control de gusano trozador a los 41 dds; y la tercera aplicación se realizó con “Confidor (Imidacloprid)” a los 67 dds, en dosis de 1 L/ha para el control de mosquita blanca.

Para verificar la nodulación en las especies se realizaron tres muestreos de raíces para el conteo de nódulos a los 31, 61 y 106 dds. La crotalaria se cosechó a los 69 dds, mientras que la soya y el lablab se cosecharon a los 102 y 104 dds, respectivamente. En la cosecha de cada cultivo se obtuvo el rendimiento fresco y el rendimiento de MS. El contenido de MS y el rendimiento fresco se determinó con una muestra de 0.97 m^2 tomada al azar en la parte central de cada parcela experimental. Las muestras de plantas fueron secadas a 60 °C en una estufa de aire forzado hasta alcanzar peso constante. El rendimiento de MS se determinó multiplicando la producción de forraje fresco por el contenido de MS de cada parcela.

Las plantas muestreadas para la determinación del contenido de MS también se usaron para analizar el valor nutritivo del forraje. Las muestras secas se molieron en un molino Wiley® (Thomas Scientific, Swedesboro, NJ, USA) con una malla de 1 mm. El contenido de N y C en cada muestra se determinó mediante el método de combustión Dumas número 990.03 de AOAC en el cual se utilizó el equipo Thermo Scientific Flash 2000, y el resultado se multiplicó por 6.5 para obtener el porcentaje de PC (AOAC, 2005). La FDN y la fibra detergente ácido FDA se obtuvieron de acuerdo con Goering y Van Soest (1970). El contenido de EN_L se estimó siguiendo la metodología propuesta por Weiss et al. (1992). Los rendimientos de PC y EN_L por hectárea se determinaron multiplicando los contenidos de PC y EN_L por el rendimiento de MS por hectárea estimado para cada parcela experimental. La extracción de N y C del suelo de cada cultivo se estimó multiplicando su contenido en las especies evaluadas en cada parcela experimental por el rendimiento de MS correspondiente de los cultivos.

Se realizaron análisis de varianza (P ≤ 0.05) para las siguientes variables: contenidos de PC, FDA, FDN, EN_L, N, y C, relación C/N; así como rendimientos de MS, PC, EN_L, N y C acumulados. Para comparar las medias se utilizó la prueba de tukey (P ≤ 0.05). El análisis de la información se efectuó con el programa estadístico SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2011).

Resultados y Discusión

Producción de forraje. No se encontró diferencia estadística significativa para la interacción especie-fertilización/inoculación para ninguno de los parámetros de composición nutricional y rendimientos de MS y nutrientes evaluados. Sólo se encontró diferencia significativa para los factores principales, especies y tratamientos de fertilización/inoculación. En soya y crotalaria, con capacidad de nodulación y fijación simbiótica de N atmosférico, los resultados muestran que el N fijado contribuyó en forma importante en los tratamientos inoculados para lograr rendimientos de MS y nutrientes similares a los tratamientos fertilizados (Cuadro 1). Esto se observa si se considera que el análisis del suelo en los estratos 0-30 cm y 30-60 cm mostró una disponibilidad de N de 37 kg ha^{-1}, mientras que la extracción de N del suelo en soya en tratamientos inoculados fue de 204.1 kg ha^{-1} y de 97.4 kg N ha^{-1} en crotalaria (Cuadro 2).

Cuadro 1. Composición nutricional y rendimientos de materia seca (MS) y nutrientes de tres especies leguminosas con tratamientos (Trat) de fertilización nitrogenada (Fert) e inoculación (Inoc) con bacterias fijadoras de N.

Especie	Trat	PC %	FDA	FDN	EN_L Mcal kg^{-1} MS	Rendimientos MS kg ha^{-1}	PC	EN_L Mcal ha^{-1}
Soya	Fert	17.4	34.8	51.0	1.39	8306	1449	11558
	Inoc	16.8	31.8	46.8	1.47	7557	1276	11063
	Media	17.1 A	33.2 B	48.9 A	1.43 A	7932 A	1362 A	11310 A
Crotalaria	Fert	18.3	42.0	48.5	1.20	3874	709	4618
	Inoc	16.4	38.0	49.0	1.30	3717	609	4834
	Media	17.4 A	40.0 A	48.8 A	1.25 B	3796 B	659 B	4726 B
Lablab	Fert	17.4	34.2	56.0	1.40	2210	377	3078
	Inoc	16.5	33.8	47.8	1.42	1646	269	2317
	Media	17.0 A	34.0 B	51.9 A	1.41 A	1928 C	323 C	2698 C
Medias	Fert	17.7 a	37.0 a	51.8 a	1.33 a	4797 a	845 a	6418 a
	Inoc	16.6 a	34.5 a	47.8 a	1.40 a	4306 b	718 b	6071 a

Medias seguidas con distinta letra son significativamente diferentes (Tukey ≤ 0.05); letras minúsculas en cada columna, son para comparación entre tratamientos de fertilización-inoculación en cada especie y para el promedio de especies, y las mayúsculas para comparación del promedio de cada especie. PC = proteína cruda; FDA = fibra detergente ácido; FDN = fibra detergente neutro; EN_L = energía neta para lactancia.

El mayor potencial forrajero se encontró en soya debido a su menor contenido de FDA y mayor concentración de EN_L que los valores observados en crotalaria, así como a mayores rendimientos de MS, PC y EN_L en comparación con crotalaria y lablab. El mayor rendimiento de PC en soya se asoció a su rendimiento superior de MS; mientras que el de EN_L se relacionó a sus valores más altos en el contenido de EN_L y el rendimiento de MS. Los parámetros de la composición química del forraje de lablab fueron similares a los de la soya, pero sus rendimientos de MS, PC y EN_L fueron muy bajos (Cuadro 1), debido a un crecimiento lento durante todo su ciclo de producción.

El potencial forrajero de soya en el estudio fue similar al observado por Reta et al. (2008), que obtuvieron rendimientos de 7,873 a 9,280 kg MS ha^{-1} con contenidos de PC de 19.7%, FDA de 36.0%, FDN de 45% y EN_L de 1.17 a 1.55 Mcal kg^{-1} MS. También la composición nutricional del lablab en este trabajo fue similar al observado por Reta et al. (2008), que obtuvieron contenidos de PC de 17.0%, FDA de 46.7%, FDN de 50.9% y EN_L de 1.03 Mcal kg^{-1} MS; sin embargo, los rendimientos de MS (6,132 a 15,578 kg ha^{-1}) observados fueron muy superiores al del presente estudio, probablemente debido a diferencias de adaptación del genotipo utilizado.

Cultivos como abono verde. La composición química en la MS de las especies evaluadas indicó una mayor concentración de C en soya respecto a crotalaria y lablab; mientras que los valores del contenido de N y la relación C/N fueron similares en las tres especies. La mayor capacidad de aportación potencial de C y N al suelo como abono verde se observó en soya, con valores de N superiores a crotalaria y lablab de 106.8% y 321.9% respectivamente; mientras que los de carbono fueron mayores a crotalaria en 117.7% y 361.8% a los de lablab (Cuadro 2). Sin embargo, la crotalaria presentó ventajas de precocidad, con un ciclo de 69 días, en comparación con soya con 102 días. Las diferencias en potencial de aportación de C y N entre especies fueron debidas principalmente a sus diferencias en rendimiento de MS (Cuadro 1).

La calidad de la biomasa de las tres especies como abono verde fue similar, considerando los contenidos de N y la relación C/N (Cuadro 2), y en las tres se puede considerar buena al compararlos con los observados en otros estudios con leguminosas como trébol Alejandrino (11.2 a 15.0); garbanzo (15.1 a 15.7), y otras especies con valores de C/N bajos como canola (15.7 a 17.0) y remolacha (17.7 a 20) (González-Cifuentes et al., 2022). Estas especies como abono verde se caracterizan por la rápida descomposición de su biomasa cuando es incorporada en el suelo, por lo que el N es mineralizado y liberado en el suelo para estar disponible para subsecuentes cultivos en la secuencia de cultivos (Marshall et al., 2002).

Cuadro 2. Contenidos de nitrógeno (N), carbono (C), relación C/N, y acumulación de N y C de tres leguminosas con tratamientos (Trat) de fertilización nitrogenada (fert) e inoculación (inoc) con bacterias fijadoras de N.

Especie	Trat	N (%)	C (%)	C/N	N (kg ha^{-1})	C (kg ha^{-1})
Soya	Fert	2.8	41.0	14.7	231.9	3404.2
	Inoc	2.7	40.9	15.2	204.1	3089.1
	Media	2.7 A	40.9 A	15.0 A	218.0 A	3246.7 A
Crotalaria	Fert	2.9	39.9	13.6	113.4	1546.5
	Inoc	2.6	38.6	14.8	97.4	1436.5
	Media	2.8 A	39.3 B	14.2 A	105.4 B	1491.5 B
Lablab	Fert	2.8	36.7	13.4	60.3	808.7
	Inoc	2.6	36.2	13.8	43.1	597.5
	Media	2.7 A	36.5 C	13.6 A	51.7 C	703.1 C
Medias	Fert	2.8 a	39.2 a	13.9 a	135.2 a	1919.8 a
	Inoc	2.6 a	38.6 a	14.6 a	114.9 b	1707.7 b

Medias seguidas con distinta letra son significativamente diferentes (Tukey ≤ 0.05); letras minúsculas en cada columna, son para comparación entre tratamientos de fertilización-inoculación en cada especie y para el promedio de especies, y las mayúsculas para comparación del promedio de cada especie.

Conclusiones

La soya presentó un mayor potencial forrajero que crotalaria y lablab, debido a una mejor composición nutricional y mayores rendimientos de MS, PC y EN_L. En cuanto a su potencial como abono verde, soya y crotalaria presentaron características favorables para este uso como la capacidad para fijar nitrógeno, alto contenido de N y baja relación C/N. La soya mostró el mayor potencial de incorporación de N al suelo; sin embargo, la crotalaria presentó ventajas de precocidad, con un ciclo de 69 días, en comparación con soya con 102 días.

Referencias

AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). Official methods of analysis. Dumas method (99003). 15th edition Washington DC, USA. 771 p; 2005.

Garzon, J., J.M.B. Vendramini, M.L. Silveira, P. Moriel, H.M.S. da Silva, J.C.B. Dubeux Jr., M. Kaneko, C.C. Carnelos, P.A. Mamede. 2021. Harvest management and genotype effects on sunn hemp forage characteristics. Agronomy Journal. 113:298-307. DOI:10.1002/agj2.20465

Goering HK, Van Soest PJ. Forage fiber analysis Apparatus, reagents, procedure and some applications Agric Handbook 379 ARS. Washington, DC, USDA; 1970.

González-Cifuentes, A.I., D.G. Reta-Sánchez, J.A. Cueto-Wong, J.I. Sánchez-Duarte, E. Ochoa-Martínez, A. Reyes-González (2022). Aporte de carbono y nitrógeno al suelo por residuos de cultivos forrajeros alternativos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 13(5):773-784.

Lötjönen, S., Ollikainen M. 2018. Does crop rotation with legumes provide an efficient means to reduce nutrient loads and GHG emissions? Review of Agricultural, Food and Environmental Studies. 98:283-312. https://doi.org/10.1007/s41130-018-0063-z

Marshall, A., Gallaher, R., Wang, K., & McSorley, R. (2002). Partitioning of dry matter and minerals in Sunn Hemp. In 25th Annual Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture (pp. 310–313). Auburn, AL, United States: Auburn University.

Palmero, F., Fernandez J.A., Garcia F.O., Haro R.J., Vara Prasad P.V., Salvagiotti F., Ciampitti I.A. 2022. A quantitative review into the contributions of biological nitrogen fixation to agricultural systems by grain legumes. European Journal of Agronomy. 136(2022):126514. https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126514

Reta S.D.G., J.S. Serrato C., R. Figueroa V., J.A. Cueto W., S. Berúmen P., J. Santamaría C. 2008. Cultivos alternativos con potencial de uso forrajero en la Comarca Lagunera. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP-CIRNOC-CELALA. 268 p.

SAS Institute (2011). The SAS system for windows, release 9.3. Statistical Analysis Systems Inst, Cary, NC.

Schomberg, H. H., Martini, N. L., Diaz-Perez, J. C., Phatak, S. C., Balkcom, K. S., & Bhardwaj, H. L. (2007). Potential for Using Sunn Hemp as a Source of Biomass and Nitrogen for the Piedmont and Coastal Plain Regions of the Southeastern USA. Agronomy Journal, 99, 1448–1457. https://doi.org/10.2134/agronj2006.0294

SIAP (Información Agroalimentaria y Pesquera) (2023). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Acciones y Programas. Cierre de la producción agrícola. Gobierno de México.

Thaha, E.H. 2016. Nematicidal effect of sunn hemp amendment on infectivity and reproductivity of soil nematodes in vegetable plants. Journal of Plant Protection and Pathology. Mansoura Univ. 7(5):327-332

Weiss WP, Conrad HR, St-Pierre NR. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. Animal Feed Science and Technology 1992;39(1-2):95-110. https://doi.org/10.1016/0377-8401(92)90034-4

LEGUMINOSAS DE OTOÑO-INVIERNO PARA FORRAJE O ABONO VERDE CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA E INOCULADAS CON BACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO

David Guadalupe Reta Sánchez[1*], Esmeralda Ochoa Martínez[2], Yasmin Ileana Chew Madinaveitia[2], Juan Isidro Sánchez Duarte[2], Arturo Reyes González[2]

[1]Campo Experimental Delicias. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 2 Carretera Delicias-Rosales C.P. 33000, Centro, Cd. Delicias, Chihuahua. [2]Campo Experimental La Laguna. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Blvd. José Santos Valdez 1200 Pte. Col. Centro. C.P. 27440, Matamoros, Coahuila. *Autor de correspondencia: reta.david@inifap.gob.mx

Introducción

En la región centro-sur de Chihuahua, se cosecharon en 2023 alrededor de 39,000 hectáreas de cultivos anuales. Los principales cultivos fueron maíz forrajero, chile verde, algodón, cebolla y avena forrajera, los cuales ocuparon el 88% de la superficie total (SIAP, 2023). Esta situación indica que existe muy poca diversidad de especies en un sistema de producción intensivo, por lo que es importante estudiar la introducción de métodos de producción sostenibles que maximicen la utilización de fertilizantes y procesos naturales. Una alternativa es incrementar la diversidad de cultivos con la introducción de especies leguminosas anuales en la rotación de cultivos forrajeros o como abonos verdes.

El beneficio más importante del cultivo de leguminosas es el enriquecimiento del suelo con nitrógeno del proceso de fijación de nitrógeno atmosférico, que también es utilizado por los cultivos sucesivos (Stagnari et al., 2017). Debido a las características de sus residuos, la siembra continua de estos cultivos puede contribuir a conservar o a mejorar la concentración de materia orgánica de los suelos (González-Cifuentes et al., 2022), lo cual coincide con lo observado por Zhou et al. (2019), en cuanto a que ocurre un decremento de la relación C/N y un incremento de la calidad de residuos de plantas con una mayor diversidad de plantas. Además, la rotación con leguminosas también es favorable debido a un menor uso de agroquímicos para la protección de cultivos, ya que, al diversificar las secuencias de cultivos, se reduce la incidencia de patógenos, plagas y un mayor control de maleza (Negash et al., 2018).

Las leguminosas chícharo y garbanzo han mostrado buen potencial de producción de forraje en evaluaciones realizadas en la Comarca Lagunera, México. Los resultados indican que se obtuvieron rendimientos de materia seca (MS) de 4,678 a 8,683 kg ha^{-1} en chícharo con un contenido de proteína cruda (PC) de 21.7%; y de 2,795 a 9,671 kg ha^{-1} de MS en garbanzo porquero, con concentraciones de 23.8% a 27.6% de PC (Reta et al., 2008; González-Cifuentes et al., 2022). Debido a su alto contenido de N, estas leguminosas pueden contribuir en la conservación del suelo con residuos de cosecha con baja relación C/N (González-Cifuentes et al., 2022) y como abono verde (Blomme et al., 2022). El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial de uso forrajero y como abono verde de dos leguminosas de otoño-invierno con fertilización nitrogenada e inoculadas con bacterias fijadoras de N en Delicias, Chihuahua.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Campo Experimental Delicias del INIFAP, localizado en Delicias, Chihuahua a 28° 11’ latitud norte y 105° 30’ longitud oeste, con una altitud de 1178 m. La textura del suelo es franco arenoso en el estrato 0-30 cm y franco arcilloso arenoso en 30-60 cm. La preparación del terreno consistió en subsoleo, arado, rastreo y nivelación.

Los tratamientos en evaluación fueron dos especies de leguminosas, cada una con un tratamiento de fertilización nitrogenada y otro sin nitrógeno, pero con la semilla tratada con inoculantes bacterianos específicos para cada especie. Las especies son chícharo (*Pisum sativum* L.) y garbanzo (*Cicer arietinum* L.). La semilla de chícharo se inoculó con *Rhizobium leguminosarum biovar viceae*. Las semillas de garbanzo se trataron con un inoculante que contiene *Mesorhizobium ciceri*.

La siembra se realizó el 29 de septiembre de 2023 en suelo seco con una densidad de 28 semillas/metro lineal en chícharo y garbanzo. Después de la siembra, en todos los tratamientos se fertilizó con 80 kg de P_2O_5 utilizando fosfato monopotásico; mientras que en los tratamientos con fertilización nitrogenada se aplicaron 250 kg/ha de N con Novatec 45. Se aplicaron dos riegos de auxilio a los 31, y 66 días después de la siembra (dds). Para el control de plagas se realizó una aplicación de insecticida para el control de mosquita blanca (Confidor) a los 25 dds en dosis de 1 L ha^{-1}.

Para verificar la capacidad de nodulación, se realizaron dos muestreos de raíces para el conteo de nódulos a los 60 y 104 dds. La cosecha del chícharo y el garbanzo se realizó a los 101 dds. En la cosecha de cada cultivo se obtuvo el rendimiento fresco y el rendimiento de MS con una muestra de 6.84 m^2. El contenido de MS se determinó con una muestra de 0.38 m^2 tomada al azar en la parte central de cada parcela experimental. La distribución de MS en los órganos de la parte aérea se obtuvo de una muestra se 0.19 m^2 tomada al azar dentro de la parcela útil. Las muestras de plantas fueron secadas a 60 °C en una estufa de aire forzado hasta alcanzar peso constante. El rendimiento de MS se determinó multiplicando la producción de forraje fresco por el contenido de MS de cada parcela. Los contenidos de C y N total se determinaron con el método de Dumas mediante combustión en seco (Leco FP-528, St. Joseph, MO) y el porcentaje de PC se calculó como N total × 6.25. El índice de C/N se calculó dividiendo el contenido de C entre el contenido de N. Los rendimientos de C y N acumulados en los cultivos se determinaron multiplicando el rendimiento de MS de cada parcela por sus contenidos de N y C.

Se realizaron análisis de varianza ($P \leq 0.05$) para las siguientes variables: PC, rendimientos de MS, PC, tallo y hoja, contenidos de N y C, índice de C/N, N y C acumulados. Para comparar las medias se utilizó la prueba de tukey ($P \leq 0.05$). El análisis de la información se efectuó con el programa estadístico SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2011).

Resultados y discusión

El chícharo y el garbanzo presentaron nodulación y fijaron nitrógeno atmosférico durante el ciclo en los tratamientos inoculados con bacterias fijadoras de nitrógeno. Considerando la cantidad de nitrógeno extraída del suelo por los cultivos (164.3 a 187.1 kg ha^{-1}) y la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo en el estrado 0-60 cm en el inicio del ciclo (12.14 kg ha^{-1}), una parte importante del nitrógeno acumulado en las plantas (152 a 175 kg ha^{-1}) provino del nitrógeno atmosférico fijado, además del nitrógeno mineralizado y el nitrógeno aportado en el agua de riego.

El análisis estadístico indicó que sólo se encontró diferencia significativa en la interacción especie-fertilización/inoculación en el contenido de nitrógeno; mientras que sí hubo diferencias significativas para los efectos principales, especies y tratamientos de fertilización, en todos los parámetros evaluados. La comparación entre especies considerando las medias de tratamientos fertilizados e inoculados, muestra que chícharo y garbanzo presentaron rendimientos de MS similares (4,053 a 4,255 kg ha^{-1}), con un mayor rendimiento de PC en chícharo (1,169 kg ha^{-1}), debido a su mayor contenido de PC (27.6%), y con una más grande producción de hoja en garbanzo (271 g m^{-2}) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido de proteína cruda (PC) y rendimientos de materia seca (MS), proteína cruda, tallo y hoja en dos leguminosas con fertilización nitrogenada e inoculadas con bacterias fijadoras de N.

Especie	Tratamiento	PC%	Rendimiento (kg ha^{-1})		Rendimiento (g m^{-2})	
			MS	PC	Tallo	Hoja
Chícharo	Fertilización	26.9 a	4942 a	1329 a	230.9 a	263.4 a
	Inoculación	28.3 a	3568 a	1009 a	156.8 a	199.9 a
	Media	27.6 A	4255 A	1169 A	193.9 A	231.6 B
Garbanzo	Fertilización	26.9 a	4333 a	1166 a	147.0 a	286.3 a
	Inoculación	23.6 b	3774 a	888 a	120.1 a	257.3 a
	Media	25.2 B	4053 A	1027 B	133.5 B	271.8 A
Media	Fertilización	26.9 a	4638 a	1248 a	189.0 a	274.8 a
	Inoculación	25.9 a	3671 b	948 b	138.5 b	228.6 b

Medias seguidas con distinta letra son significativamente diferentes (Tukey ≤ 0.05); letras minúsculas en cada columna, son para comparación entre tratamientos de fertilización-inoculación en cada especie y para el promedio de especies, y las mayúsculas para comparación del promedio de cada especie.

Los valores observados del contenido de C, relación C/N y la cantidad de N y C acumulados en las plantas de chícharo y garbanzo indican que no hubo diferencias significativas entre tratamientos fertilizados e inoculados en cada cultivo. De hecho, en esta comparación sólo se observó una disminución del contenido de nitrógeno (12.5%) en el tratamiento inoculado de garbanzo (Cuadro 2); sin embargo, no fueron afectados los rendimientos de MS y PC (Cuadro 1), así como la acumulación de N y C en las plantas de los dos cultivos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Contenidos de N y C, relación C/N, y cantidad de N y C acumulados en los cultivos de chícharo y garbanzo con fertilización nitrogenada e inoculados con bacterias fijadoras de N atmosférico.

Especie	Tratamiento	N (%)	C (%)	C/N	N acumulado (kg ha^{-1})	C acumulado (kg ha^{-1})
Chícharo	Fertilización	4.31 a	41.25 a	9.59 a	212.7 a	2038.4 a
	Inoculación	4.52 a	41.27 a	9.12 a	161.5 a	1476.6 a
	Media	4.42 A	41.26 A	9.35 B	187.1 A	1757.5 A
Garbanzo	Fertilización	4.31 a	41.42 a	9.63 a	186.6 a	1794.6 a
	Inoculación	3.77 b	40.26 b	10.73 a	142.0 a	1519.1 a
	Media	4.04 B	40.84 A	10.18 A	164.3 B	1656.8 A
Media	Fertilización	4.31 a	41.34 a	9.61 a	199.6 a	1916.0 a
	Inoculación	4.15 a	40.76 a	9.92 a	151.8 b	1497.8 b

Medias seguidas con distinta letra son significativamente diferentes (Tukey ≤ 0.05); letras minúsculas en cada columna, son para comparación entre tratamientos de fertilización-inoculación en cada especie y para el promedio de especies, y las mayúsculas para comparación del promedio de cada especie.

En la utilización del cultivo como forraje, chícharo y garbanzo produjeron rendimientos de MS similares; sin embargo, el chícharo presentó una ventaja de 13.8% en el rendimiento de PC. El nivel de rendimiento de MS y PC de chícharo observado en este estudio se encuentra en el intervalo obtenido por Reta et al., (2008) en la Comarca Lagunera, con 4,678 a 6,917 kg ha^{-1} de MS, y de 1,356 kg ha^{-1} de PC. También en garbanzo, los rendimientos de MS y PC fueron similares a los reportados por Reta et al. (2008), con 2,795 a 4,234 kg ha^{-1} de MS y de 936 kg ha^{-1} en PC.

En el uso de los cultivos como abono verde, tanto el chícharo como el garbanzo presentan un potencial de aportación de C al suelo similar (1657 a 1758 kg ha^{-1}); sin embargo, el chícharo puede aportar una mayor cantidad de N al suelo (13.8%), así como una menor relación C/N (9.35) que el garbanzo (10.18) (Cuadro 2). Estos valores de C/N fueron similares a los observados en otros estudios realizados con veza vellosa (9.99) (Finney et al., 2016) y chícharo (9) (Pereira et al., 2017).

En comparación a los observados en avena y triticale (25.9 a 28.6) (González-Cifuentes et al., 2022), cultivos usados en la rotación de cultivos en la región, los valores de chícharo y garbanzo son bajos, por lo que su incorporación al suelo permite que ocurra una rápida e intensa descomposición y liberación de N (Singh et al., 2021; Alghamdi et al., 2022). De esta manera el N liberado puede ser aprovechado por el cultivo de primavera en un periodo de 60 a 78 días después de la incorporación del cultivo al suelo (Murungu et al., 2011).

Conclusiones

El chícharo y el garbanzo presentan buen potencial de uso forrajero debido a su producción de forraje con alto contenido de PC. Además, sus características de nodulación y fijación de N atmosférico, rendimiento de MS aceptable, alto contenido de N, baja relación C/N y alta acumulación de N y C en su biomasa los hace cultivos prometedores para su uso como abono verde en la región centro-sur de Chihuahua.

Referencias

Alghamdi, R.S., L. Cihacek, A.L.M. Daigh, S. Rahman (2022). Post-harvest crop residue contribution to soil N availability or unavailability in north dakota. Agrosyst. Geosci. Environ. 5(1):1-10. https://doi.org//10.1002/agg2.20233.

Blomme, G., J. Ntamwira, W. Ocimati (2022). Mucuna pruriens, Crotalaria juncea, and chickpea (Cicer arietinum) have the potential for improving productivity of banana-based systems in Eastern Democratic Republic of Congo. Legume Science. 2022; 4: e145. https://doi.org/10.1002/leg3.145

Finney, D.M., C.M. White, J.P. Kaye (2016). Biomass production and carbón/nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures. Agronomy Journal. 108(1):39-52. Doi: 10.2134/agronj15.0182.

González-Cifuentes, A.I., D.G. Reta-Sánchez, J.A. Cueto-Wong, J.I. Sánchez-Duarte, E. Ochoa-Martínez, A. Reyes-González (2022). Aporte de carbono y nitrógeno al suelo por residuos de cultivos forrajeros alternativos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 13(5):773-784.

Murungu, F.S. C. Chiduza, P. Muchaonyerwa, P.N.S. Mnkeni (2011). Decomposition, nitrogen and phosphorus mineralization from winter grown cover crop residues and suitability for a smallholder farming system in South Africa. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 89(1):115-123. https://doi.org/10.1080/00103624.2011.609255.

Negash, F., T. Mulualem, K. Fikirie (2018). Effect of cropping sequence on agricultural crops: implications for productivity and utilization of natural resources. Advances in Crop Science and Technology. 6(1):1000326. DOI:10.4172/2329-8863.1000326

Pereira, E.S., M.E. Duval, J.A. Galantini (2017). Decomposition from legume and non-legume crop residues: Effects on soil organic carbon fractions under controlled conditions. Spanish Journal of Soil Science. 7(2):86-96. https://doi.org/10.3232/SJSS.2017.V7.N2.06.

Reta, S.D.G., J.S. Serrato C., R. Figueroa V., J.A. Cueto W., S. Berúmen P., & J. Santamaría C. (2008). Cultivos alternativos con potencial de uso forrajero en la Comarca Lagunera. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP-CIRNOC-SAGARPA. 268 p.

SAS Institute (2011). The SAS system for windows, release 9.3. Statistical Analysis Systems Inst, Cary, NC.

SIAP (Información Agroalimentaria y Pesquera) (2023). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Acciones y Programas. Cierre de la producción agrícola. Gobierno de México.

Singh, S., P.K. Sharma, S. Singh, A. Kumar (2021). Addition of crop residues with different C: N ratios on the release pattern of available nitrogen and sulfur in different soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 52(22):2912-2920. https://doi.org/10.1080/00103624.2021. 1971692.

Stagnari, F., A. Maggio, A. Galieni, M. Pisante (2017). Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: An overview. Chemical and Biological Technologies in Agriculture. DOI 10.1186/s40538-016-0085-1

Zhou, G. S. Xu, P. Ciais, S. Manzoni, J. Fang, G. Yu, X. Tang, P. Zhou, W. Wang, J. Yan, G. Wang, K. Ma, S. Li, S. Du, S. Han, Y. Ma, D. Zhang, J. Liu, S. Liu, G. Chu, Q. Zhang, Y. Li, W. Huang, H. Ren, X. Lu,

OBTENCIÓN DE IMÁGENES PARA EL ENTRENAMIENTO DE IA PARA LA DETECCIÓN DE PLAGAS Y/O ENFERMEDADES EN FRIJOL

José Israel Casas-Flores[1,2], Ma. del R. Martínez-Blanco[1], Luis Octavio Solis-Sanchez[1], Alfonso Serna-Pérez[2], Carlos Alberto Martínez Hernandez[3], Teodoro Ibarra-Pérez[4].

[1]Universidad Autónoma de Zacatecas, Programa de Posgrado en Ingeniería y Tecnología Aplicada, , Zac., [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Calera, Zac.,[3] Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro Occidente, Periférico Paseo de la República No. 1000, Colonia Lomas del Valle, C.P. 58170, Morelia, Michoacán, Méx.,[4]Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas (UPIIZ), Instituto Politécnico Nacional, Zac. *Autor para correspondencia: joiscafo@gmail.com

Introducción

Las imágenes son fundamentales para el entrenamiento de la Inteligencia Artificial (IA), especialmente en el campo de la visión por computadora (Krizhevsky et al., 2012). A través de ellas, los modelos de IA aprenden a reconocer y clasificar la variable que se está estudiando por lo que es un paso crucial para desarrollar modelos efectivos (Simonyan & Zisserman, 2014).

En la actualidad existen diferentes conjuntos de imágenes publicas disponibles que se pueden utilizar para entrenar diferentes modelos de aprendizaje, pero se tiene la desventaja de tener poca calidad o carecer de contexto de las variables en estudio, generando un entrenamiento poco preciso, con sesgo y resultados inexactos (Luca et al., 2022).

Por eso al tener una metodología para la obtención de imágenes de calidad, será posible generar modelos de aprendizaje robustos, confiables y eficientes para el entrenamiento de la IA (Shorten & Khoshgoftaar, 2019).

El objetivo de este trabajo fue generar una metodología para obtener imágenes de alta calidad del cultivo de Frijol, donde se puedan identificar plagas y/o enfermedades, tanto de individuos como el daño generado, para entrenar diferentes modelos de aprendizaje y derivar recomendaciones más eficientes de control de plagas .

Materiales y métodos

Se estableció un cultivo de Frijol, variedad Pinto Saltillo en un área aproximada de 0.10 ha, dentro del Campo Experimental Zacatecas (CEZAC), Latitud 22.906744°, Longitud -102.658362°).

La siembra fue el 3 de Julio de 2024, con una lámina de 94.6 mm de lluvia acumulada en 12 días previos a la fecha de siembra (dato obtenido en la estación del Cezac, Red de Monitore Agroclimático del INIFAP Zacatecas, http://zacatecas.inifap.gob.mx/).

Los tratamientos, tres en total (T1, T2 y T3), constaron de 8 surcos de frijol limitados por 2 surcos de maíz (Figura 1).



Figura 1. Establecimiento de Cultivo de Frijol.

Los tratamientos fueron establecidos al mismo tiempo, en las mismas condiciones de suelo y clima, además de que se instalaron líneas regantes para riego por goteo.

En T1 el cultivo de frijol se mantiene en condiciones óptimas de humedad del suelo aplicando riego para recuperar la humedad edáfica hasta el límite de capacidad de campo, en caso de ser necesario en los periodos con ausencia de precipitación pluvial. Además se llevará el control biológico de plagas y enfermedades.

En T2 el control de la humedad del suelo se llevará de la misma forma que en T1, pero sin control biológico de plagas y enfermedades. En T3, no hay ningún tipo de control biológico y solo se aplicará un tercio de la lámina ofrecida en T1 y T2 para los períodos con ausencia de precipitación pluvial.

Los sitios de muestreo o de toma de imágenes de alta calidad en los tratamientos, se marcaron en plantas con daño mediante objetivos (targets). Para T2 y T3 con targets de color naranja fosforescente (Figura 2 B), y para T1 con targets de color amarillo fosforescente (Figura 2ª).

Los targets son de 2x2 cm, colocados en pequeñas estacas de madera dentro del área individual de la planta de frijol. La idea de estos objetivos (targets), aparte de marcar el sitio del daño y monitorearlo, tiene la función de servir de referencia como área de medición (4 cm^2) en caso de ser necesaria durante el entrenamiento como referencia.

Las fotografías están siendo tomadas con una cámara Nikon D7200 que tiene un sensor 24.2 megapíxeles, las imágenes obtenidas tienen una resolución de 300pp y una dimensión de 4496x3000 pixeles (Figura 2).



A) B)

Figura 2. Imágenes obtenidas, A) target amarillo, B) target naranja.

Resultados

Hasta ahora, 55 días después de la fecha de siembre, y teniendo en cuenta que esta variedad de frijol es 95 días hasta su madures fisiológica, debido a la sequía ocurrida en agosto se ha tenido la necesidad de aplicar dos riegos (16 y 23 de agosto) de 4 horas en T1 y T2 y 80 minutos en T3.

Se han obtenido imágenes de diferentes daños por insectos.Tambien, hasta el momento solo se ha detectado la enfermedad del Tizon (*Pseudomonas syringae pv. phaseolicola*), cuyos síntomas son la aparición de pequeñas manchas aguanosas en las hojas (Figura 3 A y B).



Figura 3. Imagen con daño por Tizon.

Se han detectado insectos que podrían ser visitantes estacionales que no necesariamente podrían ser una plaga del cultivo, registrandose Chinches, Chapulines y Cochinilla de la Humedad, que pueden hacer un daño a la planta, pero no afectarla significativamente (Figura 4 A,B.C y D).

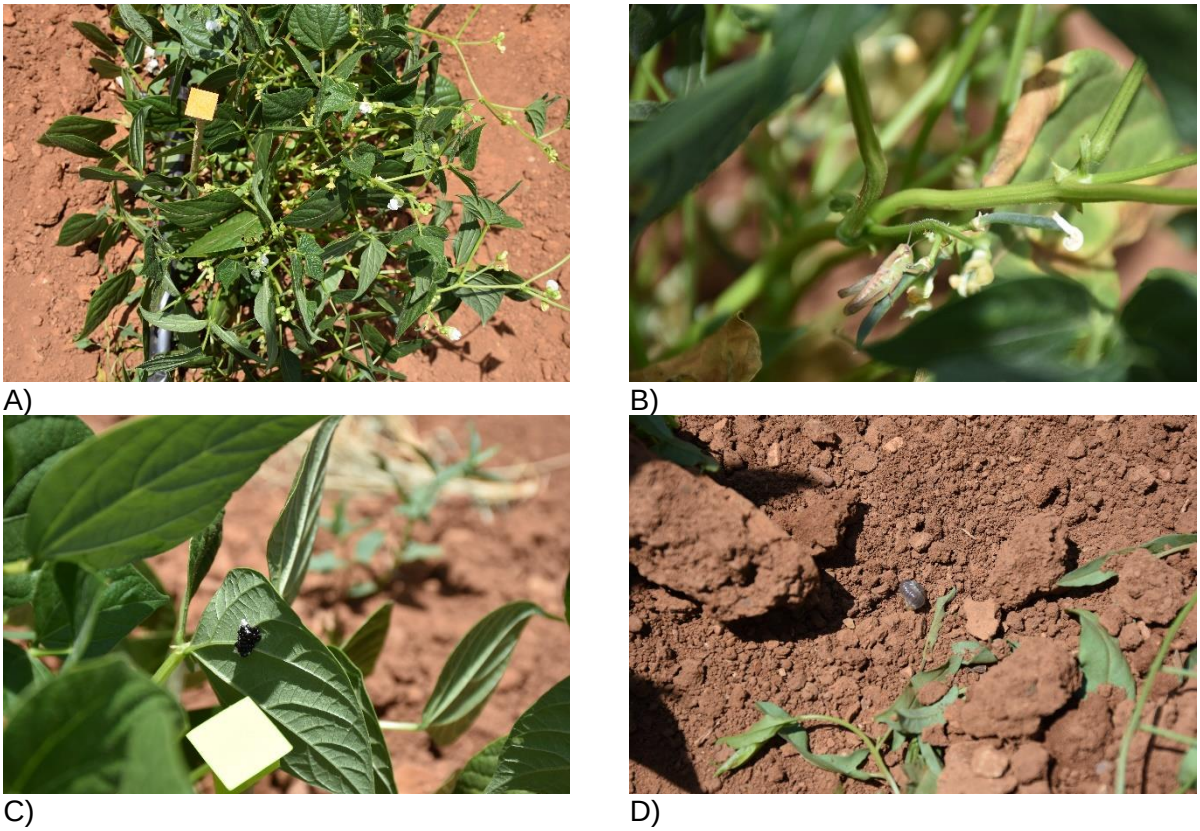


Figura 4. A) Daño por insecto en hoja de planta de Frijol, B) Chapulin que no es plaga de frijol, C) Huevecillos de Chinche, D) Cochinilla de la Humedad

La obtención de este tipo de imágenes ayuda en la detección de insectos o daños, permitiendo entrenar modelos de IA, que pueden informarnos que el insecto o el daño en cuestión no afectan al cultivo de frijol, por ejemplo. Durante el presente año se continuará con el experimento, así como la toma de imágenes. En caso de ser necesario se podría extender el presente trabajo por uno u dos años más dependiendo de la información recabada.

Conclusiones

Esta metodología ayuda a la creación de una base de datos de imágenes de información del cultivo de frijol. Hasta la fecha no se ha obtenido imágenes de insectos plaga y apenas se registró una enfermedad del cultivo. Se continua con el registro de imágenes para conformar una base de datos de imágenes para el entrenamiento de modelos de IA que permitan la identificación de plagas y enfermedades.

Agradecimientos

Al técnico del INIFAP, C.E. Zacatecas, Antonio Torres Gutiérrez, por su colaboración en el establecimiento del cultivo de frijol y su conocimiento para lograr este trabajo.

Referencias

Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. Advances in Neural Information Processing Systems, 25. http://code.google.com/p/cuda-convnet/

Luca, A. R., Ursuleanu, T. F., Gheorghe, L., Grigorovici, R., Iancu, S., Hlusneac, M., & Grigorovici, A. (2022). Impact of quality, type and volume of data used by deep learning models in the analysis of medical images. Informatics in Medicine Unlocked, 29, 100911. https://doi.org/10.1016/J.IMU.2022.100911

Shorten, C., & Khoshgoftaar, T. M. (2019). A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning. Journal of Big Data, 6(1). https://doi.org/10.1186/S40537-019-0197-0

Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. 3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015 - Conference Track Proceedings. https://arxiv.org/abs/1409.1556v6

TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN LA EMERGENCIA Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DEL BARRIL DE ORO *(Echinocactus grusonii Hildm)* (Fam.: Cactaceae)

E. Edith Villavicencio-Gutiérrez[1*], Luis M. Toribio-Ferrer[2], Antonio Cano-Pineda[1], Francisco Sánchez-Barra[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. [2]Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, [3]Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México. *Autor de correspondencia: villavicencio.edith@inifap.gob.mx

Introducción

La biznaga barril de oro (*Echinocactus grusonii* Hildm.) es una cactácea nativa de gran valor ecológico, económico y cultural, clasificada en peligro de extinción (P) según la norma NOM-059-ECOL-2010 (SEMARNAT, 2019). Es una especie muy valorada por su atractivo morfológico, con espinas doradas que contrastan con el verde intenso de su tallo, lo que la hace popular en jardinería ornamental y entre coleccionistas de cactus (Jiménez-Sierra y Eguiarte, 2010; Villavicencio-Gutiérrez et al., 2020). La biznaga barril de oro produce semillas ortodoxas, de 1.51-1.74 mm de largo, 1.13-1.29 mm de ancho y 0.71-0.78 mm de espesor. Son ovadas, con textura reticulada y color marrón oscuro (RHS 187A) (Villavicencio-Gutiérrez et al., 2022), y se reproducen principalmente de forma sexual.

Los estudios sobre germinación en cactáceas se han enfocado al; fotoblasticismo (275 taxones) (Rojas-Aréchiga et al., 2013); temperatura (205 taxones) (Seal et al., 2017); latencia (Delgado-Sánchez et al. 2013); longevidad de las semillas (142 taxones) (Trujillo et al., 2014); fitohormonas (González-Cortés et al., 2018), escarificación mecánica o química (Potter, 1984); germinación *in vitro* (Ramírez-González et al., 2019); ciclos de hidratación/deshidratación de la semilla (Contreras-Quiroz et al., 2016) y almacenamiento en frío (Dos Santos et al., 2018; Barrios et al.,2020). Dado que la semilla es clave para la reproducción sexual y la conservación de especies, es esencial implementar estrategias efectivas de conservación *ex situ* para la biznaga barril de oro (*Echinocactus grusonii*). Esto incluye prácticas agrícolas y de manejo específicas que aseguren una propagación sostenible y responsable, sin agotar el recurso ni comprometer su diversidad genética. Con el propósito de entender el proceso que promueve la germinación, en este estudio se planteó como objetivo evaluar el efecto de la concentración de ácido giberélico (AG_3) y la inoculación de micorriza (*Glomus intraradices*) en la germinación y crecimiento de de plántulas de biznaga barril de oro.

Materiales y métodos

El experimento se estableció en el invernadero del Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP.

Material vegetal. Se utilizaron semillas de biznaga barril de oro (*Echinocactus grusonii*) recolectadas en el Desierto Chihuahuense, en Cadereyta de Montes, Querétaro (20° 47' 47" N, 99° 55' 37" O), a 1934 msnm (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2010). La región tiene un clima semiárido semicálido (BS1hw) con una temperatura media anual de 19.5 °C, precipitación promedio de 394.6 mm, y un suelo tipo Litosol (INEGI, 2018) (Figura 1). Para el estudio se usaron 31.27 g de semilla pura, obtenidas con un soplador South Dakota, modelo CFY-II, con abertura de 3 cm/minuto.

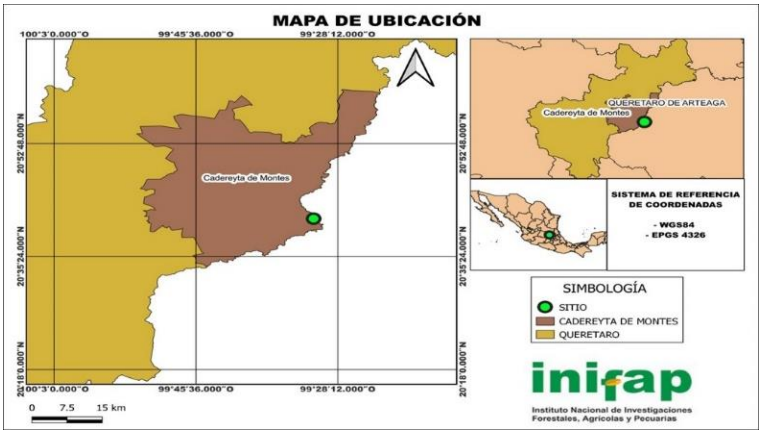


Figura 1. Localización del área de recolecta de la biznaga barril de oro (*Echinocactus grusonii* Hildm.) del mpio. de Cadereyta de Montes, Querétaro.

Diseño Experimental. Se empleó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 2x2 de efectos fijos para evaluar cinco tratamientos: T1: 250 ppm de ácido giberélico (AG_3); T2: 500 ppm de AG_3 (solución de 100 mg en 100 mL de agua destilada); T3: 50 % de inoculación de micorriza (*Glomus intraradices*, 23 esporas/g); T4: 100 % de micorriza (*Glomus intraradices* 46 esporas/g), (solución de 1 g en 100 mL de agua destilada), recubrimiento según Fernández, 2003; y T5: Agua destilada (control). Bajo la hipótesis $H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6$ vs H_1: tipo de tratamiento influye en la variable respuesta.

Las semillas se remojaron durante 24 horas en cada tratamiento y luego se plantaron en macetas de 2" con una mezcla estéril de sustrato 3:2:1 (peat moss: agrolita: vermiculita). Se utilizaron 150 semillas por repetición, con cuatro repeticiones por tratamiento, totalizando 600 semillas por tratamiento y 3000 semillas en total. La germinación (G, %) se evaluó cada siete días después de la siembra (dds), considerando la emergencia del hipocótilo y cotiledones. A los 63 días se midieron: altura de la plántula (*Ap*, mm), diámetro del tallo (*Dt*, mm) y longitud de radícula (*Lr*, mm).

Análisis estadístico. Se realizó un análisis paramétrico verificando normalidad (Shapiro-Wilk, $p > 0.05$), homogeneidad de varianza (Bartlett y Levene), independencia de errores (Durbin-Watson) y aditividad del modelo (Tukey). Se calcularon el Coeficiente de Variación (CV, %) y el Coeficiente de Determinación (R^2). Para datos en porcentajes, se aplicó la transformación arco seno; cuando los supuestos no se cumplieron, se usó la transformación de Box-Cox. Las diferencias estadísticas se analizaron con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Con el programa estadístico R® versión 3.5.3 (R Core Team, 2020).

Resultados y discusión

Cumplimiento de los supuestos del análisis de varianza. El análisis estadístico de la germinación, con un 95% de confianza, mostró que los datos tienen una distribución normal a los 7dds (Tukey, $p = 0.4702$), 14 dds (Tukey, $p = 0.2253$), 21dds (Tukey, $p = 0.9991$) y 28 dds (Tukey, $p = 0.6356$). La prueba de homogeneidad de varianzas (Bartlett) no rechazó la hipótesis nula, indicando que las varianzas de los días de emergencia no son significativamente diferentes. El coeficiente de variación (CV) fue menor al 21%, demostrando la confiabilidad de los datos, y el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó hasta 0.96, lo que sugiere un buen ajuste del modelo y una distribución normal de los residuales (Cuadro 1).

La prueba de aditividad de Tukey mostró que el modelo es aditivo para las variables *Ap* (p = 0.3064), *Dt* (p = 0.7517) y *Lr* (p = 0.4295). Los datos tienen una distribución normal al 95 % de confianza, y la prueba de homogeneidad de varianzas (Bartlett) no rechazó la hipótesis nula. El coeficiente de variación (CV) fue menor al 18.74% y el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó hasta 0.97, indicando un buen ajuste del modelo y una distribución normal de los residuales (Cuadro 1). Se aplicó la prueba LSD (α = 0.05) para las variables *Ap* (p= $1.94e^{-08}$) y *Dt* (p= $6.83e^{-06}$), y la prueba de Tukey (α = 0.05) para *Lr* (p = $1.42e^{-05}$) (Cuadro 1). De este análisis se concluye que existen diferencias entre los cinco tratamientos evaluados.

Cuadro 1. Análisis paramétrico de la germinación y variables de crecimiento de la biznaga barril de oro (Echinocactus grusonii Hildm).

Variable	Prueba de Normalidad		Homogeneidad de varianza	Independencia de errores			ANOVA
	W	Valor-p	Valor-p	Valor-p	CV	R^2	Valor-p
D7	0.9487	0.4702	0.5917	0.4328	20.94	0.91	1.22E-03
D14	0.9278	0.2253	0.1136	0.5178	21.31	0.83	1.60E-02
D21	0.9898	0.9991	0.1319	0.9999	16.8	0.92	6.77E-04
D28	0.9585	0.6356	0.2523	0.9988	14.39	0.96	2.13E-05
Ap	0.9806	0.3064	0.0336	0.00355	18.74	0.96	2.07E-12
Dt	0.9887	0.7517	0.2586	0.0058	12.17	0.93	8.20E-08
Lr	0.9662	0.4295	0.1089	0.1843	17.97	0.97	1.42E-15

D7= 7 días después de la siembra (dds); D14= 14 dds; D21= 21 dds; D28= 28 dds; Ap= Altura de plántula; Dt= Diámetro del tallo; Lr= Longitud de radícula; CV= Coeficiente de variación; R^2= Coeficiente de determinación.

Efecto de los tratamientos en la germinación. A los 7 días (p = $1.22e^{-03}$), la prueba de Tukey (p ≤ 0.05) mostró que todos los tratamientos pregerminativos, con una germinación del 18% al 24%, fueron estadísticamente iguales, mientras que el testigo (T5: agua destilada) presentó una menor germinación (Figura 2a). A los 14 días (p = $1.60e^{-02}$), los tratamientos con ácido giberélico superaron a los demás, siendo el T2 (500 ppm de AG_3) el que tuvo la mayor emergencia (G = 48.5%) (Figura 2b). A los 21 días (p = 6.77E-04), los tratamientos T1 (250 ppm de AG_3) y T2 (500 ppm de AG_3) mostraron germinaciones del 53.8% y 62% respectivamente, con ambos alcanzando el 50% de emergencia de plántulas. En contraste, el T4 (100% de micorriza) registró una germinación menor (G = 24.3%) en comparación con el testigo (Figura 2c). A los 28 días (p = $2.13e^{-05}$), el tratamiento T2 (500 ppm de AG_3) con una germinación del 83.33% superó a los demás, destacando su uso para la propagación, con una diferencia del 55% respecto al testigo (T5) (Figura 2d). El T3 (50% de inoculación de micorriza) logró una germinación del 54%, mientras que una dosis mayor de micorriza resultó con una germinación similar al testigo (27%) (Figura 2d). A partir de los 28 dds esta tasa de germinación se mantuvo constante hasta los 63 días.

La germinación de las semillas inicia con la imbibición y concluye con la emergencia de la radícula. En este estudio, se consideró la formación de la radícula de *E. grusonii* la emergencia del hipocótilo y cotiledones como indicadores visibles. Se observó que la germinación es rápida en las primeras cuatro semanas cuando se aplica un tratamiento pregerminativo como el ácido giberélico (GA_3). El ácido giberélico (AG_3) ha demostrado mejorar la germinación en diversas especies (Kaya y Kulan, 2020). En este estudio, AG_3 moduló el metabolismo celular de la semilla, facilitando la conversión de reservas nutritivas para completar la germinación. En cactus, una alta y rápida germinación suele estar asociada con una testa delgada y semillas pequeñas (Maiti et al., 1994), lo que contribuye a su carácter fotoblástico positivo, como indican Barrios et al. (2020) y Rojas-Aréchiga et al. (2013) donde algunas especies requieren reguladores de crecimiento para estimular su germinación.

El fotoblastismo es común en cactáceas nativas como; *Ariocarpus kotschoubeyanus* (Lem.) K. Schum, *Ferocactus haematacanthus* (Salm-Dyck) Bravo y *Mammillaria longimamma* DC. Estas especies producen semillas pequeñas, adaptación que está fuertemente influenciada por su filogenia y el ecosistema desértico (Rojas-Aréchiga y Batis, 2001).

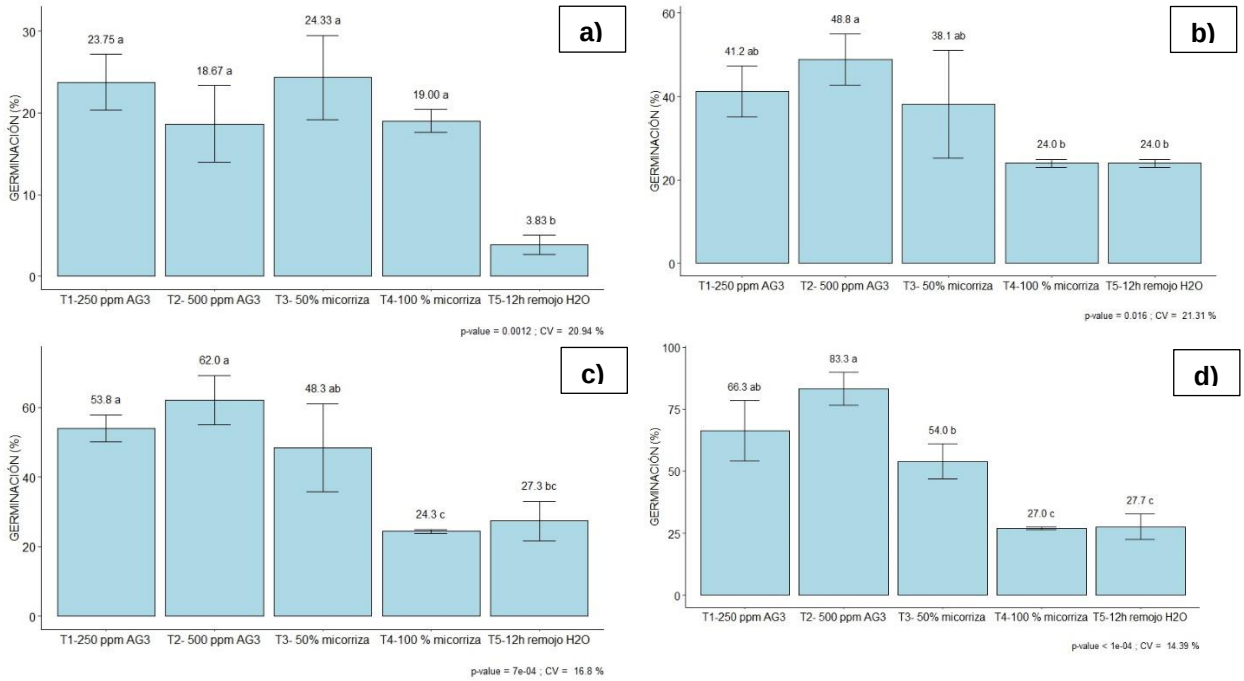


Figura 2. Prueba de medias de Tukey (*P ≤ 0.05*), en la germinación de la biznaga barril de oro (*Echinocactus grusonii* Hildm). a) 7 días después de la siembra (dds); b) 14 dds; c) 21 dds; d) 28 dds.

En el caso de *Echinocactus grusonii*, esta característica, junto con la aplicación del tratamiento pregerminativo T2: de 500 ppm de AG_3, permitió modular el estímulo ambiental (luz y temperatura) como lo refieren Ho et al., (2003) para influir en la división y elongación celular, así como en la síntesis de α-amilasas y enzimas hidrolíticas en la capa de aleurona de la semilla de esta especie. En cactáceas, el ácido giberélico (AG_3) se ha evaluado en dosis de 125 a 1000 ppm con resultados variados. Dehgan y Pérez (2005) reportaron una germinación del 68% en *Harrisia fragans* con 1000 ppm de AG_3; Amador-Alférez et al. (2013) refieren una germinación del 36.8% en *Ferocactus histrix* con 250 ppm y del 47.8% en *Ferocactus latispinus* con 125 ppm de AG_3. Estos resultados sugieren que la respuesta al AG_3 depende de la especie, época de recolección, manejo del germoplasma, calidad física y fisiológica de la semilla, y la dosis de regulador. El testigo con agua destilada confirma que las semillas son viables, dormantes o quiescentes, bloqueadas por factores ambientales o físicos (Baskin & Baskin, 2014).

Aunque los hongos micorrízicos arbusculares (HMa) pueden ablandar la testa y promover la producción de fitohormonas (Reyes-Tena et al., 2016; Alcántara-Cortes et al., 2019), en este estudio solo la dosis T3 (50% de inoculación) mostró un efecto positivo, alcanzando una germinación del 54%. En cambio, la dosis T4 (100% de inoculación) provocó una colonización excesiva que perjudicó el ambiente de la semilla, resultando en una germinación igual al testigo. Esta evaluación permitió conocer la rapidez de la germinación y determinar la uniformidad de la emergencia; ambas consideraciones se deben de tomar en cuenta para establecer el rendimiento potencial que tiene la semilla en el ciclo de producción.

Altura de plántula (Ap). El ANOVA y la prueba de medias de LSD ($P \leq 0.05$) mostraron diferencias significativas en *Ap* (p.chisq = 1.94e^{-08}). El tratamiento T2 (500 ppm de AG_3) destacó con una *Ap* de 18 mm, el doble que el testigo T5 (agua destilada). Un mayor incremento en altura puede mejorar el crecimiento vertical y la producción de las plantas. Los tratamientos con micorriza mostraron menor eficacia, con T4 (100% de micorriza) solo se alcanzó una *Ap* de 12.6 mm y con el testigo T5 se obtuvo la menor altura (*Ap*=9.7 mm) (Figura 3a).

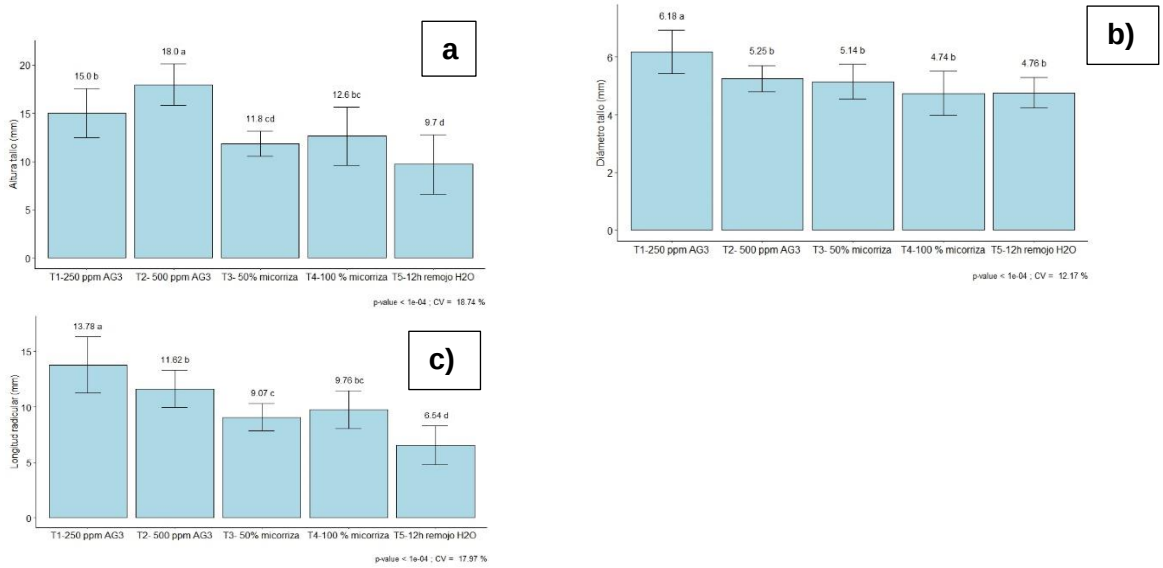


Figura 3. Prueba de Tukey y LSD para crecimiento vegetativo de la biznaga barril de oro (Echinocactus grusonii Hildm). a) Altura planta (Ap); b) Diámetro tallo (Dt); c) Longitud radicular (Lr).

Diámetro del Tallo (Dt). El ANOVA y la prueba de medias de LSD ($P \leq 0.05$) mostraron diferencias significativas en *Dt* (p.chisq = 6.83e-^{06}). El tratamiento T1 (250 ppm de AG_3) presentó el mayor *Dt*, con 6.18 mm, superando a los demás tratamientos, que fueron estadísticamente iguales. El menor *Dt* se registró con el testigo T5 (agua destilada), (*Dt*=4.76 mm) (Figura 3b).
Longitud radicular (*Lr*). El ANOVA y medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) indicaron diferencias significativas en *Lr* (p = 1.42e^{-15}). El tratamiento T1 (250 ppm de AG_3) mostró la mayor longitud de radícula (Lr = 13.78 mm), superando a los demás tratamientos pregerminativos. A dosis mayores de AG_3, la *Lr* disminuye. Los tratamientos con micorriza tuvieron *Lr* menores, siendo T4 (100% micorriza) el más bajo con 9.76 mm, la menor respuesta se registró con el testigo T5 (agua destilada) (Lr= 6.54 mm) (Figura 3c).

Las giberelinas son fitohormonas esenciales para el desarrollo de las plantas, influyendo en la división celular y elongación de tallos, raíz y hojas, lo que resulta en un crecimiento más rápido de estos órganos. Con el tratamiento T2: 500 ppm de AG_3, se registró un aumento en la altura de las plantas de *E. grusonii* y para especies de crecimiento lento como este cactus, se recomienda este tratamiento para mejorar la propagación y acelerar el desarrollo. El alargamiento de tallo y raíz facilita el crecimiento vegetativo primario, promoviendo una producción más uniforme de plantas como lo refieren Pimienta-Barrios et al. (2006).

Aunque las micorrizas se concentran directamente en la raíz y las plántulas presentan una asociación simbiótica, al comparar el efecto de los tratamientos T3 y T4 con micorriza vs. los tratamientos donde se aplicó ácido giberélico se determinó un menor efecto en la *Ap, Dt y Lr* de las plantas.

Conclusiones

Los tratamientos pregerminativos aplicados a las semillas de biznaga barril de oro (*E. grusonii*) mostraron un impacto significativo en la emergencia y el crecimiento de las plántulas. Para una propagación rápida y uniforme, se recomienda el uso de promotores de germinación. En particular, el tratamiento con 500 ppm de ácido giberélico (AG_3) que alcanza una germinación del 83 % a los 28 dds. A los 63 días, las plántulas son uniformes con una altura promedio de 18 mm, diámetro de tallo de 5.25 mm y longitud de raíz de 11.62 mm.

Referencias

Alcántara, J. S., Acero-Godoy, J., Alcántara-Cortés, J. D. & Sánchez-Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. Nova, 17(32), 09-129.

Amador-Alférez, K. A., Díaz-González, J., Loza-Cornejo, S. & Bivián-Castro, E. Y. (2013). Efecto de diferentes reguladores de crecimiento vegetal sobre la germinación de semillas y desarrollo de plántulas de dos especies de *Ferocactus* (Cactaceae). *Polibotánica*, (35),109-131

Barrios, D., Sánchez, A. J., Flores, J. & Jurado, E. (2020). Características de las semillas y germinación en la familia Cactaceae: una revisión en las Américas. Botanical Sciences 98(3), 417-440. DOI: https://doi.org/10.17129/botsci.2501

Baskin, C. C. & Baskin, J. M. (2014). S*emillas: ecología, biogeografía y evolución de la latencia y la germinación*. San Diego: Elsevier Sciences. ISBN 13: 978-0-12-416677-6

Calderón de Rzedowski, G. & Rzedowski. J. (2010). Flora fanerógamica del Valle de México. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Xalapa, Ver., México, 975 p. https://doi.org/10.21829/fb.138.1993.11

Contreras-Quiroz, M., Pando-Moreno, M., Jurado, E., Flores, J., Bauk, K. & Gurvich, D. E. (2016). ¿La memoria de hidratación de las semillas depende del clima? Probando esta hipótesis con especies de cactus mexicanas y argentinas. *Journal of Arid Environments* (130), 94-97. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.03.001.

Delgado-Sánchez, P., Jiménez-Bremont, J. F., Guerrero-González, M. L. & Flores, J. (2013). Efecto de hongos y luz en la germinación de semillas de tres especies de Opuntia de tierras semiáridas del centro de México. *Journal of Plant Research (126),* 643-664. DOI: https://doi.org/10.1007/s10265-013-0558-2

Dos Santos, A. P., Hassemer, G. & Meiado, M. V. (2018). Almacenamiento de semillas de especies de cactus brasileñas en diferentes categorías de amenaza. *Plant Species Biology* (33), 203-211. DOI: https://doi.org/10.1111/1442-1984.12208

González-Cortés, A., Reyes-Valdés, M. H., Robledo-Torres, V., Villarreal-Quintanilla, J. A. & Ramírez-Godína, F. (2018). Tratamientos pregerminativos en cuatro especies de nopal (*Opuntia* sp.) del noreste de México. *Australian Journal of Crop Science (12*),1676-1684. DOI: https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.10.pne1430

Ho, T. H. D., Gómez-Cadenas, A., Zentella, R. & Casaretto, J. A. (2003). Crosstalk between gibberellin and abscisic acid in cereal aleurone. Journal of Plant Growth Regulation, (22), 185-194. https://doi.org/10.1007/s00344-003-0026-7.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Conjunto Nacional. https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842781. Fecha de consulta (agosto de 2024).

Jiménez-Sierra, C. L. & Eguiarte, L. E. (2010). Candy Barrel Cactus (*Echinocactus platyacanthus* Link & Otto): A traditional Plant Resource in Mexico Subject to Uncontrolled Extraction and Browsing. Economic Botany, 64(2),99-108. DOI: 10.1007/s12231-010-9119.

Kaya, M. D. & Kulan, E. G. (2020). Effective seed priming methods improving germination and emergence of sugar beet under low-temperature stress. Sugar Tech (22),1086–1091 https://doi.org/10.1007/s12355-020-00848-5.

Maiti, R. K., Hernández-Piñero, J. L. & Valdez-Marroquín, M. (1994). Ultraestructura y germinación de semillas de algunas especies de Cactaceae. *Phyton, International Journal of Experimental Botany (*55), 97-105.

Pimienta-Barrios, E., Muñoz-Urías, A., Ramírez-Hernández B. C. & Méndez-Moran, L. (2006). Desarrollo vegetal. Universidad de Guadalajara. ISBN 970-27-0923-7.

Potter, R. L., Petersen, J. L. & Ueckert, D. N. (1984). Respuestas de germinación de *Opuntia* spp. a la temperatura, la escarificación y otros tratamientos de semillas. *Weed Science Society of America* (32): 106-110. DOI: https://doi.org/10.1017/S0043174500058598,

R Core Team. (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/.

Ramírez-González, G, Rodríguez-De la O, J. L., Martínez-Solís, J. & Colinas-León, M. T. (2019). Germinación y crecimiento *ex vitro* e *in vitro* de cinco especies de cactáceas del género *Mammillaria*. *Polibotánica (48*), 99-110. DOI: https://doi.org/10.18387/polibotanica.48.8.

Reyes-Tena, A., Quiñones-Aguilar, E. E., Rincón-Enríquez, G. & López-Pérez, L. (2016). Micorrización en *Capsicum annuum* L. para promoción de crecimiento y bioprotección contra *Phytophthora capsici* L. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7(4), 857-870.

Rojas-Aréchiga, M. and A. Batis. 2001. Las semillas de cactáceas ¿Forman bancos en el suelo? Cactáceas y Suculentas Mexicanas. Tomo XLVI (46), 76-82.

Rojas-Aréchiga, M., Mandujano, M. C. & Golubov, J. K. (2013). Tamaño de semilla y fotoblastismo en especies pertenecientes a la tribu Cacteae (Cactaceae). *Journal of Plant Research (1*26), 373-386. DOI: https://doi.org/10.1007/s10265-012-0526-2.

Seal, C. E., Daws, M. I., Joel, F., Ortega-Baes, P., Galíndez, G., León-Lobos, P., Sandoval, A, Stuva A. C., Ramírez, N., Dávila-Aranda, P., Ordoñez-Salanueva, C. A., Yáñez-Espinosa L., Ulian, T., Amosso, C., Zubani, L., Torres, A. & Pritchard, H. W. (2017). Capacidad de amortiguación térmica del fenotipo de germinación en la envoltura ambiental de las Cactaceae. *Biología del cambio global (*23), 5309-5317. DOI: https://doi.org/10.1111/gcb.13796.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2019). 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 14 de noviembre. 130 p. https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091. Fecha de consulta (agosto de 2024).

Trujillo, A. G., Espinoza, J. L., Ortega, R, Ávila, N. Y., Espinosa A. P. (2014). Efecto del tiempo de almacenamiento de la semilla en la germinación y sobrevivencia de *Ferocactus townsendianus* Britt & Rose. *Interciencia (*39), 732-735.

Villavicencio-Gutiérrez, E. E., Carranza-Pérez, M. A. & Zamora-Martínez, B. E. (2020). Propagación y cultivo de cactus de ornato del Desierto Chihuahuense. Folleto Técnico Núm. 65. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. 65 p. https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?/=12301.

Villavicencio-Gutiérrez, E. E., Quintana-Camargo, M., Torres-Tapia, A. & Gómez-Veloz, A. (2022). Calidad de semillas del banco de Germoplasma de cactáceas (TRIBU: Cacteae). Folleto Técnico 66. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. CIR Noreste. 51 p. https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?B=serch&ID=14533

DESARROLLO VEGETATIVO EN PLÁNTULAS DE ORÉGANO (*Lippia graveolens* Kunth) CON FERTIRRIEGO

E. Edith Villavicencio-Gutiérrez[1*], Jesús A. Gutiérrez-Argüello[2], Jorge Méndez González[2], Antonio Cano-Pineda[1], Luis M. Toribio-Ferrer[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. [2]Depto. Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.[3]Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. *Autor de correspondencia: villavicencio.edith@inifap.gob.mx

Introducción

El orégano (*Lippia graveolens* Kunth), (orégano mexicano), es una planta con valor social, ecológico y comercial. Es un recurso forestal no maderable de las zonas áridas y semiáridas del norte de México, utilizado para obtener hoja seca y aceites esenciales. Se considera como planta aromática, especia, hierba culinaria y condimento, al ser un potenciador del sabor y conservador natural (González-Trujano et al., 2017). Su aceite se utiliza como conservador (antioxidante) en alimentos, saborizante en bebidas, antimicrobiano en farmacología (Machado et al., 2010), fijador en cosmética (Pascual et al., 2001) y para controlar fitopatógenos en agricultura gracias a sus propiedades antifúngicas (Quiroz-Velásquez et al., 2022).

A pesar de que existe una regulación para su aprovechamiento (Granados-Sánchez et al., 2013), las poblaciones naturales de orégano han disminuido debido al efecto del cambio climático (altas temperaturas, sequía y reducción de la precipitación) y a que el follaje se corta antes de la floración, interrumpiendo el proceso de reproducción sexual, lo que limita la producción de semillas, su propagación y regeneración *in situ*, por lo que se requiere implementar programas de reforestación y plantaciones comerciales que garanticen tanto la permanencia del orégano en su hábitat natural, como el volumen de materia prima requerido a nivel nacional e internacional, aspectos que juegan un papel preponderante en la solución de los problemas de deforestación y de baja producción forestal que actualmente enfrenta el país.

Aunque el orégano se puede propagar por semilla (González-Nieves et al., 2010), estacas (Méndez-Mayboca, 2021) o por clonación *in vitro* (Rojas-García et al., 2021), cada método tiene sus propias limitaciones. La semilla al ser la fuente de propagación más efectiva en plantas vasculares, se utiliza en invernadero o vivero para producir plantas con calidad para el trasplante (Martínez-Hernández et al., 2016). Para promover un desarrollo sustentable, es necesario generar un esquema de producción que asegure la calidad de las plantas antes de su trasplante a campo. En este esquema, es crucial atender las necesidades nutricionales durante la etapa de crecimiento vegetativo y considerando que la fertilización se ha evaluado en otras plantas aromáticas como; albahaca (*Ocimum basilicum* L.), cilantro (*Coriandrum sativum*), perejil (*Petroselinum sativum*) (González-García et al., 2009), epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.), (Aguilar-Carpio et al., 2021), tomillo (*Thymus vulgaris* L.) (Guerrero-Lagunes, 2011) y orégano (*Origanum vulgare* spp. Hirtum) (Juárez-Rosete et al., 2019) demostrando que su aplicación mejora el crecimiento y eleva el rendimiento de la biomasa, se planteó como objetivo evaluar la fertilización inorgánica con la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984) en el crecimiento de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) durante la etapa 1 de crecimiento vegetativo en invernadero.

Materiales y métodos

El experimento se estableció en el invernadero del Campo Experimental Saltillo CIRNE-INIFAP.

Material vegetativo. Se utilizaron semillas de *L. graveolens* recolectadas en 2022 de una población natural con vegetación de matorral rosetófilo (INEGI, 2018), del municipio de Mapimí, Durango, México (25° 50′ 1″ N, 103° 50′ 56″ O), a 1304 msnm (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2010) (Figura 1). La región tiene un clima árido, semiárido BWhw con una temperatura media anual de 19.5 °C, temperatura máxima de 41 ºC y una mínima de 10.5 ºC (Vélez, 2021), precipitación promedio de 313.4 mm, y un suelo tipo Xerosol háplico (INEGI, 2018) (Figura 1).

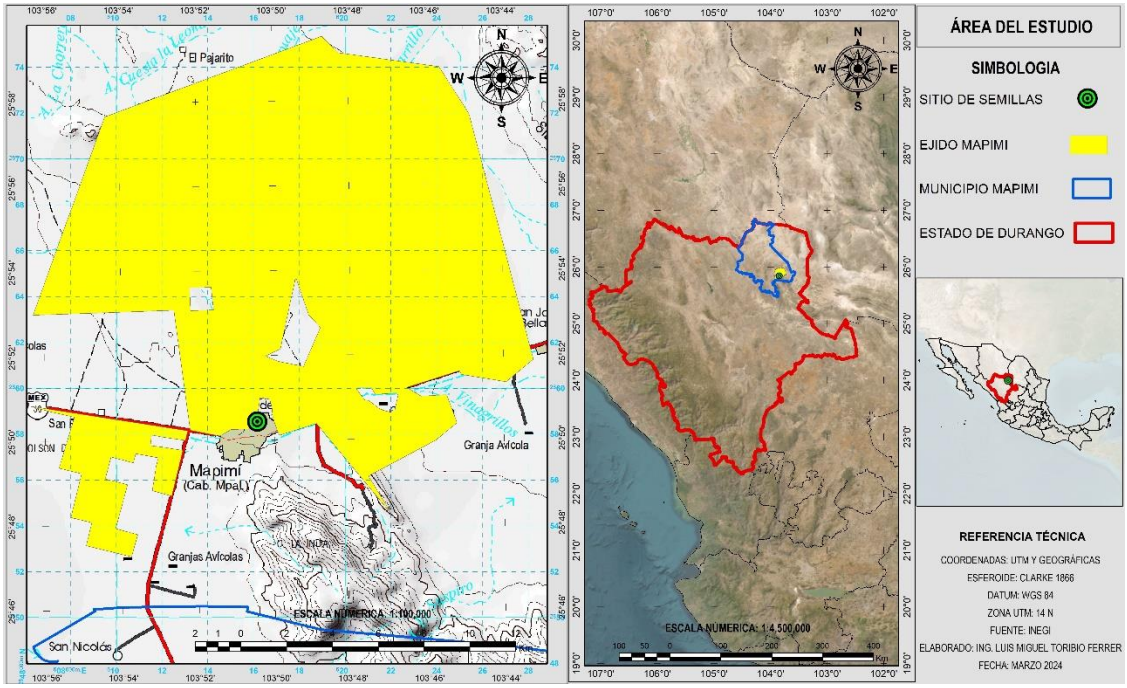


Figura 7. Localización del área de recolecta de orégano ((*Lippia graveolens* Kunth) del Mpio. de Mapimí, Durango, México.

Se hizo el beneficio de semillas para separar el material inerte (polvo y restos de la cubierta) utilizando un agitador mecánico SEA STAR HSA00315 a 250 rpm y tamices FIIC no. 24. El estudio se hizo con semilla pura limpia (88.3 g), obtenida con un soplador South Dakota CFY-II, con abertura de 3 cm/minuto. Se utilizaron plantas producidas en invernadero en charolas de polipropileno de 200 cavidades, con una mezcla de sustrato proporción 3:2:1 (peat moss: agrolita: vermiculita), estéril en autoclave SM-360-A a 120 ºC y 1.5 kg/cm². A los 45 días se trasplantaron a contenedores de polipropileno de 112 cavidades.

Diseño Experimental. Se empleó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos: T1: 25 %; T2: 50 %; T3: 75 % y T4: 100 % de solución Nutritiva Steiner (Steiner, 1984) aplicados en el fertirriego; más un testigo T5 (agua destilada) (Cuadro 1). Bajo la hipótesis $H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5$ vs H_1: tipo de tratamiento influye en la variable respuesta. Se establecieron 45 plantas con tres repeticiones por tratamiento (135 plantas/tratamiento) Para esta evaluación se utilizó un total de 675 plántulas de orégano.

Cuadro 1. Composición química de las cuatro concentraciones (tratamientos) de la solución nutritiva Steiner.

Concentración de la solución nutritiva (%)	Ca^{2+}	K^{+}	Mg^{2+}	NO^{-3}	$H_2PO^{-}_4$	SO^{2-}_4
	mEq L^{-1}					
T1 25	2.25	1.75	1.0	3.0	0.25	1.75
T2 50	4.5	3.50	2.0	6.0	0.50	3.50
T3 75	6.25	5.25	3.0	9.0	0.75	5.25
T4 100	9.00	7.00	4.0	12.0	1.00	7.00

Los fertilizantes que se ocuparon para preparar la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984) fueron: nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de potasio y fosfato monopotásico. El pH se ajustó 5.5 y 6.0 con ácido sulfúrico y la conductividad eléctrica fue de 1.0 a 2.5 dS m^{-1}. El fertirriego se realizó cada 5 días con la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984) y aplicó con una bomba de agua modelo BS-133 y un nebulizador fino.

A los 168 ddt (días después del trasplante) se evaluaron las variables: Altura foliar (*Af*, cm), Diámetro de cobertura (*Dc*, cm), con un vernier digital marca Carbon Fiber Composites (0.01 mm); Número de entrenudos (*Ne*), Número de hojas (*Nh*) y Longitud radicular (*Lr*, cm).

Análisis estadístico. Se realizó un análisis paramétrico verificando normalidad (Shapiro-Wilk, $p > 0.05$), homogeneidad de varianza (Bartlett y Levene), independencia de errores (Durbin-Watson) y aditividad del modelo (Tukey). Se calcularon el Coeficiente de Variación (CV, %) y el Coeficiente de Determinación (R^2). Cuando los supuestos no se cumplieron, se usó la transformación de Box-Cox. Las diferencias estadísticas se analizaron con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Cuando alguno de los supuestos no se cumplió se hizo un análisis no paramétrico y una comparación de medias LSD ($\alpha = 0.05$). Con el programa estadístico R® versión 3.5.3 (R Core Team, 2020).

Resultados y discusión

Cumplimiento de los supuestos del análisis de varianza. El análisis estadístico del desarrollo vegetativo de las plantas de orégano indicó que a un 95% de confianza, los datos tienen una distribución normal con las variables en *Af* (Tukey, $p = 0.3555$), Ne (Tukey, $p = 0.8516$), Nh (Tukey, $p = 0.3144$) y son independientes. Acorde a la prueba de no aditividad de Tukey, el modelo es aditivo. La prueba de homogeneidad de varianzas (Bartlett) no rechazó la hipótesis nula, indicando que las varianzas de estas variables no son significativamente diferentes.

El coeficiente de variación (CV) fue menor al 15%, demostrando la confiabilidad de los datos, y el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó hasta 0.98, lo que sugiere un buen ajuste del modelo y una distribución normal de los residuales (Cuadro 2). Con las variables *Lr* y *Dc* se hizo un análisis no paramétrico, una transformación Box-Cox y prueba de Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$). Con el análisis del cumplimiento de los supuestos se rechaza la hipótesis nula (H_0) de que no hay diferencias entre las concentraciones de la solución nutritiva Steiner, y revela diferencias significativas entre los cinco tratamientos evaluados.

Cuadro 2. Análisis paramétrico del desarrollo vegetativo de las plántulas de orégano (*Lippia graveolens* Kunth)

Variable	Prueba de Normalidad		Homogeneidad de varianza	Independencia de errores	CV	R^2	ANOVA
	W	Valor-p	Valor-p	Valor-p			Valor-p
Af	0.9378	0.3555	0.4621	0.6704	4.27	0.98	$6.78e^{-07}$
Lr	0.8830	0.0527	0.7716	0.288	15.46	0.94	p.chisq= $4.31\ e^{-05}$
Dc	0.8529	0.0191	0.0012	0.0826	7.53	0.95	p.chisq= $1.41\ e^{-04}$
Ne	0.9695	0.8516	0.5608	0.239	6.72	0.98	$1.54e^{-06}$
Nh	0.9341	0.3144	0.5158	0.0883	7.86	0.97	$1.35e^{-05}$

At= Altura foliar; *Lr*= Longitud radicular; *Dc*= Diámetro de cobertura; *Ne*= número de entrenudos; *Nh*= número de hojas; CV= Coeficiente de Variación; R^2= Coeficiente de determinación.

Efecto de tratamientos. A los 168 ddt el ANOVA registró diferencias altamente significativas en *Af* (p= $6.78e^{-07}$), *Ne* (p= $1.54e^{-06}$) y *Nh* (p= $1.35e^{-05}$). El Análisis de Kruskal-Wallis (α=0.05) registró diferencias altamente significativas con las variables *Dc* (p.chisq= 1.41 e^{-04}) y *Lr* (p.chisq= 4.31 e^{-05}) lo que indica que uno o varios tratamientos influyen en los atributos morfológicos de las plántulas de orégano (*L. graveolens*) (Cuadro 2).

Altura foliar (Af). En la comparación de medias de Tukey (α=0.05) el T1 (25 % de solución Nutritiva Steiner), superó al resto de los tratamientos evaluados con una *Af* de 11.81 cm y una diferencia con respecto al testigo T5 (agua destilada) de 4.82 cm (Figura 2a). Efecto que coincide con Magdaleno-Villar et al., (2006), donde con la misma concentración, en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.), se registró una *Af* de 7.3 cm y al aumentar la concentración no se obtuvo un efecto en el crecimiento de la planta.

Diámetro de cobertura (Dc). En la comparación de medias LSD (α = 0.05) los tratamientos T4 (100 % de solución Nutritiva Steiner) y T3 (75 % de solución Nutritiva Steiner) fueron estadísticamente iguales con un *Dc* de 5.73 cm y 5.13 cm respectivamente, con una diferencia con respecto al testigo T5 (agua destilada) de 2.32 cm (Figura 2b). Ambos tratamientos superan al resto de los tratamientos evaluados generando plantas de orégano con hojas más grandes y largas, lo que aumentó su *Dc*. Un resultado similar se obtuvo en plántulas de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.), donde la solución nutritiva Steiner al 100 %, generó plántulas con mayor *Dc* (2.55 cm) (Mejía Pérez et al., 2023). En tomate (*Solanum lycopersicum* L) también se obtuvo la misma respuesta y el *Dc* se incrementó a partir de las concentraciones de 75 % y 100 % de la misma solución nutritiva (Díaz-Vázquez et al., 2023).

Número de entrenudos (Ne). En la comparación de medias de Tukey (α=0.05) el T4 (100 % de solución Nutritiva Steiner), superó al resto de los tratamientos evaluados con una *Ne* de 8.90 entrenudos/planta, cantidad que duplica al testigo T5 (agua destilada) con una *Ne* de 4.53 (Figura 2c). Este tratamiento también ha sido efectivo crisantemo (*Dendranthema x grandiflorum* (Ramat) donde el *Ne* aumenta hasta 38.13 nudos por planta (Bugarín et al., 1998).

Número de hojas (Nh). En la comparación de medias de Tukey (α=0.05), se determinó que el *Nh* aumenta al incrementar la dosis de solución nutritiva. El tratamiento T4 (100 % de solución Nutritiva Steiner) registró en promedio un *Nh* de 17.14 hojas/planta, superando al resto de tratamientos evaluados con una diferencia con respecto al testigo T5 (agua destilada) del 8.07 (Figura 2d).

Longitud radicular (Lr). En la comparación de medias LSD (α = 0.05) se determinó que conforme aumenta la concentración de la solución Steiner la *Lr* se incrementa; con el tratamiento T4 (100 % de solución Nutritiva Steiner) la *Lr* es de 12 cm, la cual supera al resto de tratamientos evaluados con una diferencia de 4.31 cm con respecto al testigo T5 (agua destilada) (Figura 2e).

Efecto que también se ha reportado en plántulas de jitomate, donde al aumentar la concentración de solución Steiner al 100 % el crecimiento radicular es mayor en comparación con la concentración al 50 % (Lazcano-Bello et al., 2022). Mismo efecto se obtuvo en tomate hibrido 'Imperial' tipo bola (Valenzuela-López et al., 2014) donde la concentración de 50 % y 100 % de solución nutritiva Steiner registró mayor *Lr* en comparación con la solución nutritiva al 25 %.

El efecto de la solución nutritiva va a diferir de acuerdo a la especie, Steiner (1984) y Smith et al., (1983) refieren que cuando se aplica la solución nutritiva en forma continua, las plantas pueden absorber iones a muy bajas concentraciones; sin embargo, es probable que, a una concentración demasiado baja, la demanda mínima de determinados nutrientes no sea cubierta.

En el caso del orégano con una concentración baja (25 % de solución Nutritiva Steiner) se cubrió parcialmente la demanda de nutrimental en la planta y cuando se aplicó la solución nutritiva Steiner al 100 % el estatus de crecimiento y calidad fisiológica de la planta se incrementó efecto que se busca en la producción de planta y manejo del cultivo; sin embargo, es necesario evaluar la biomasa fresca y seca para determinar la relación Pf/Ps, ya que la materia seca se relaciona con la disponibilidad y aprovechamiento de los nutrimentos en planta, lo cual influye en una mejor actividad fotosintética y acumulación de biomasa (Azcón-Bieto y Talón, 2008), por lo que en el cultivo de orégano debe cuidarse el crecimiento, contenido de materia fresca y seca; así como la cantidad y dosis de fertilización.

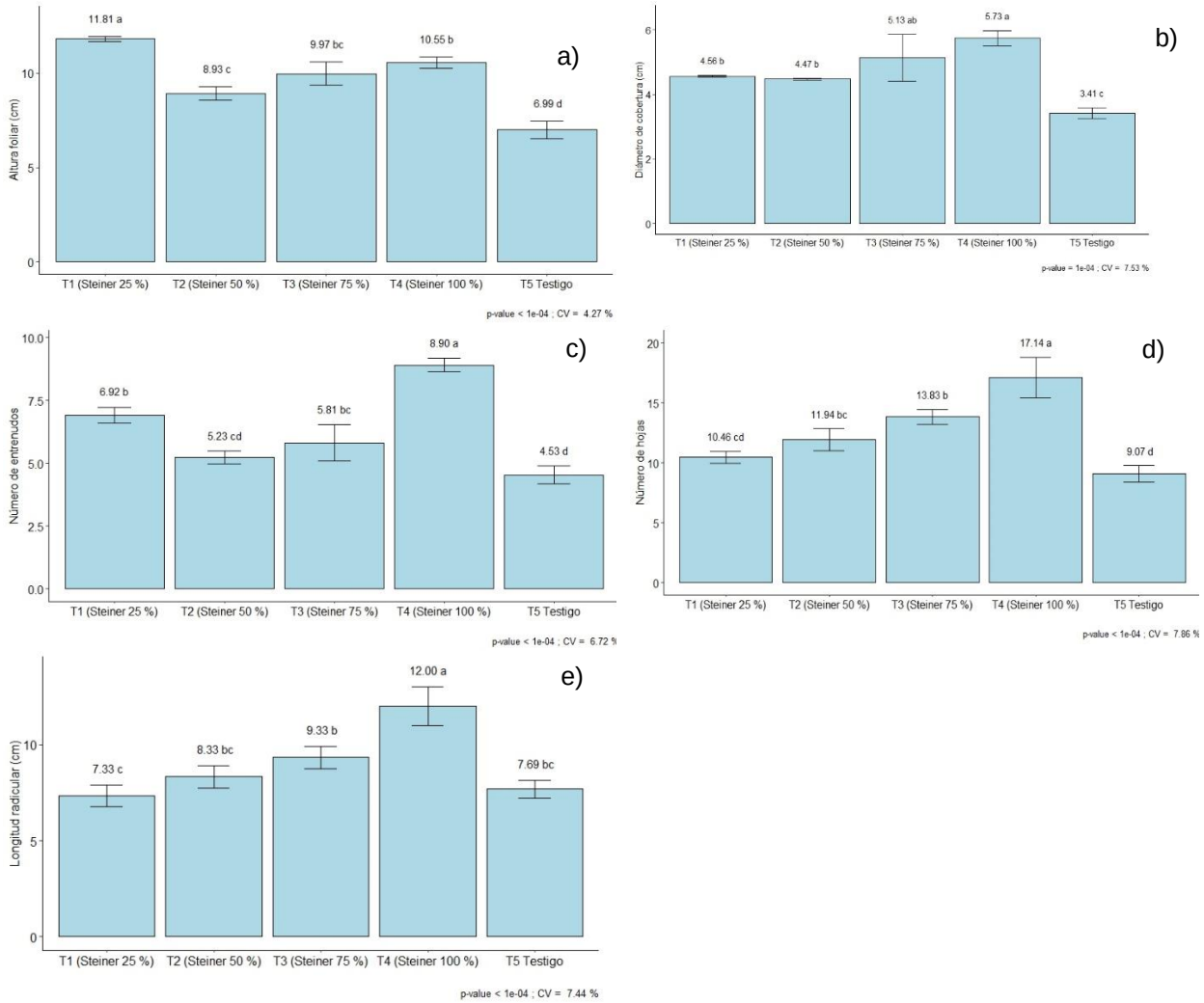


Figura 8. Prueba de medias de Tukey y LSD (*P ≤ 0.05*), en el crecimiento vegetativo de orégano *(Lippia graveolens* Kunth) con diferentes dosis de solución nutritiva Steiner. a) Altura foliar (*At,* cm); b) Diámetro de cobertura (*Dc*); c) Número de entrenudos (*Ne*); d) Número de hojas (*Nh*) y e) Longitud radicular (*Lr*).

Conclusiones

En un esquema de producción de planta de orégano es necesario cuidar el balance nutrimental para establecer una proporción entre la parte foliar y radicular, expresada en sus atributos dendrométricos. La solución nutritiva Steiner aplicada al 75 % y 100 % en el fertirriego incrementa a los 168 ddt las variables morfométricas, donde el *Af* es proporcional a su *Lr*, las plantas presentan el mismo *Dc*, con diferencias en el *Ne y Nh.*

Referencias

Aguilar-Carpio, C., González-Maza, S. V., Juárez-López, P., Alia-Tejacal, I., Palemón-Alberto, F., Arenas-Julio, Y. R. & Escalante-Estrada, A. S. (2021). Análisis de crecimiento de epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.) cultivado en invernadero. Biotecnia, 23(2), 113-119.

Bugarín, F. R., Baca, G. A., Martínez, J., Tirado, J. L., & Martínez, A. (1998). Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo.*Terra Latinoamericana*,*16*(2), 113-124.

Calderón de Rzedowski, G. & Rzedowski J. 2010. Flora fanerógamica del Valle de México. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Xalapa, Ver., México, 975 p. https://doi.org/10.21829/fb.138.1993.11

Díaz-Vázquez, F. A., Benavides-Mendoza, A., Robledo-Torres, V., Juárez-Maldonado, A., García-León, Á., & Sandoval-Rangel, A. (2023). Influencia de cuatro concentraciones de solución Steiner sobre los nutrientes en la solución del suelo y productividad en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Terra Latinoamericana, 41.

González-García, J. L., Rodríguez-Mendoza Ma. De las N., Sánchez-García P., & Gaytán-Acuña E. A. (2009). Relación amonio / nitrato en la producción de hierbas aromáticas en hidroponía. *Agricultura técnica en México*, *35*(1), 5-11.

González-Nieves, C., Arreola-Ávila, J. G., García-Herrera, G., Rodríguez-López, J. S., Carrillo-Flores, R., Esquivel-Arriaga, O. & Villa Castorena, M. (2010). Efectos de tratamientos pregerminativos en la emergencia y crecimiento de plántulas de orégano (*Lippia graveolens* HBK). Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, vol. IX, núm. 2, pp. 129-134 Universidad Autónoma Chapingo Durango, México https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545063005

González-Trujano M., Hernández-Sánchez L., Muñoz Ocotero V., Dorazco-González A., Guevara Fefer P., & Aguirre-Hernández E. (2017). Pharmacological Evaluation of the anxiolytic-like Effects of *Lippia graveolens* and Bioactive Compounds. Pharmaceutical Biology (55): 1569-1576. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13880209.2017.1310908

Granados-Sánchez, D., Martínez-Salvador, M., López-Ríos, G. F., La Rosa, A. B. & Rodríguez-Yam, G. A. (2013). Ecología, aprovechamiento y comercialización del orégano (*Lippia graveolens* H. B. k.) en Mapimí, Durango. Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente, XIX (2), 305-321. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.05.035.

Guerrero-Lagunes, L. A., Ruiz-Posadas, L. D. M., Rodríguez-Mendoza, M. D. L. N., Soto-Hernández, M. & Castillo-Morales, A. (2011). Efecto del cultivo hidropónico de tomillo (Thymus vulgaris L.) en la calidad y rendimiento del aceite esencial. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, *17*(2): 141-149.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Conjunto Nacional. https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842781. Fecha de consulta (agosto de 2024).

Juárez-Rosete, C. R., Aguilar-Castillo J. A., Aburto-González C. A. & Alejo-Santiago, G. (2019). Producción de biomasa, requerimiento nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio, y concentración de la solución nutritiva en orégano. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, *25*(1), 17-28. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.02.006.

Lazcano-Bello, M. I., Sandoval-Castro, E., Tornero-Campante, M. A., Hernández-Hernández, B. N., Ocampo-Fletes, I., & Díaz-Ruíz, R. (2021). Evaluación de sustratos, solución nutritiva y enraizador en producción de plántulas de jitomate. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 12(1), 61-76. DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2450

Machado, M., Dinis, A. M., Salguerio, L., Cavaleiro, C., Custódio, J. B. A. & Sousa, M. D. C. (2010). Anti-Giardia activity of phenolic-rich essential oils: Effects of *Thymbra capitata*, *Origanum virens*, *Thymus zygis* subsp. *sylvestris*, and *Lippia graveolens* on trophozoites growth, viability, adherence, and ultrastructure. Parasitology Resources, (106), 1205-1215. Doi: 10.1007/s00436-010-1800-7.

Magdaleno-Villar, J. J., Peña-Lomelí, A., Castro-Brindis, R., Castillo-González, A. M., Galvis-Spinola, A., Ramírez-Pérez, F., & Hernández-Hernández, B. (2006). Efecto de soluciones nutritivas sobre el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) Revista Chapingo Serie Horticultura, vol. 12, (2), 223-229

Martínez-Hernández, R., Villa-Castorena, M., Catalán-Valencia, E. A., & Inzunza-Ibarra, M. A. (2016). Producción de plántula de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) por semilla en vivero para trasplante. Rev. Chapingo ser. cienc. for. ambient, 23(1), 61-73. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2015.11.051.

Mejía Pérez, M. A., Beltrán Mendiola, P. I., Pérez Negrete, D., Morales Rodríguez, C., Héctor Gordon Núñez Palenius, H. G. N. P., & Graciela María de la Luz Ruiz Aguilar, G. M. de la L. R. A. (2023). Sustratos y soluciones nutritivas en la producción de plántulas de pimiento (*Capsicum annuum* L.). Jóvenes en la Ciencia, (21): 1–8. https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4089

Méndez-Mayboca, F. R. (2021). Evaluación de semillas y biomasa de estacas de orégano (*Lippia palmeri* W.) mediante la inoculación de halobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Tesis doctoral. División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Depto. de Investigación y Posgrado en Alimentos UNISON. http://repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/20.500.12984/7096/1/mendezmaybocafatimarociod.pdf.

Pascual, M. E., Slowing, K., Carretero, E., Sánchez-Mata, D. & Villar, A. (2001). Lippia: Traditional uses, chemistry and pharmacology: a review. Journal of Ethnopharmacology, (76), 201-214. Doi: 10.1016/S0378-8741(01)00234-3.

Quiroz-Velásquez, J. Di C., Rodríguez-Castillejos, G. C., García-León, I., Lizarazo-Ortega, C., García-Olivares, J. G. & Hernández-Mendoza, J. L. (2022). Efecto del aceite esencial de *Lippia graveolens* en el control biológico de *Fusarium chlamydosporum*. Revista de la Universidad del Zulia. 3ª época, 13(37), 18-33. https://doi.org/10.46925//rdluz.37.02.

R Core Team. (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

Rojas-García, R., Ramírez-Godina, F., Companioni-González, B., Vera-Reyes, I., Robledo-Torres, V. & García-Osuna, H. T. (2021). Desarrollo de un método eficiente para la micropropagación de orégano. Rev. Mex. Cienc. Agríc., (26), 145-157. DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v0i26.2944.

Smith, S. & D. Read. (2010). Mycorrhiza l Symbiosis. 3rd. ed. Elsevier. London, UK. 803 pp. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6

Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. *In*: Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. Pp. 633-650.

Varga, S. (2015). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and maternal plant sex on seed germination and early plant establishment. American journal of botany, 102(3): 358-366. doi:10.3732/ajb.1400361.

Valenzuela López, M., Partida Ruvalcaba, L., Díaz Valdés, T., Velázquez Alcaraz, T. D. J., Bojórquez Bojórquez, G., & Enciso Osuna, T. (2014). Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*,*5*(5), 807-818.

Vélez, R. (2021). Información de Mapimí: historia, turismo, tradiciones y más. Descubre México. https://descubreenmexico.com/informacion-de-mapimi-historia-turismo-tradiciones-y-mas/. Fecha de consulta (agosto de 2024).

EVALUACIÓN DEL EFECTO INHIBIDOR DEL EXTRACTO DE D-LIMONENO SOBRE LA GERMINACIÓN

Leslie Carnero Avilés[1]*, Omar Castor Ponce Garcia[1], José Luis Arispe Vázquez[2], Alisa C. Barroso Aké[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Delicias. Km. 2 Carretera Delicias-Rosales CP. 33000, Centro, Cd. Delicias, Chihuahua, México. [2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Iguala. Km. 2.5 Carretera Iguala-Tuxpan CP. 40000, Iguala de Guerrero, México.[3]Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Venustiano Carranza s/n esq. con Ing. José Cárdenas Valdés. Col. República Ote. C.P. 25280. Saltillo, Coahuila, México. * Autor de correspondencia: carnero.leslie@inifap.gob.mx

Introducción

Las malezas son uno de los principales problemas fitosanitarios que se presentan en los sistemas de producción agrícola que de no ser controlado eficazmente puede ocasionar la pérdida de rendimiento de los cultivos como resultado directo de la competencia con el cultivo por recursos como la luz, los nutrientes del suelo, el espacio, el dióxido de carbono y el agua (Reddy, 2018; Gao y Su, 2024). Su control se basa en el uso de diferentes métodos que disminuyen las poblaciones de maleza, sin embargo, el uso indiscriminado de herbicidas de origen sintético ha contribuido a la contaminación del suelo y las aguas residuales, acumulación de sus residuos en el cultivo y la aparición de poblaciones de malezas resistentes (MacLaren et al., 2020). El desarrollo de resistencia es uno de los puntos más alarmantes en la producción agrícola esto debido a la disminución de la efectividad de las moléculas en una gran variedad de especies; Heap (2021) menciona que las malezas han mostrado resistencia a 23 de los 26 mecanismos de acción de herbicidas reconocidos y a un total de 164 productos herbicidas distintos. Debido a lo anterior, existe la necesidad de encontrar nuevas alternativas que muestren un control eficaz y que sean amigables con el medio ambiente (Beckie, 2020). Los extractos vegetales incluyen compuestos biodegradables y seguros que poseen una alta efectividad herbicida (Hoagland, 2001). El principal compuesto del aceite esencial de frutas cítricas son los monoterpenos volátiles, siendo el limonelo uno de los componentes presentes con más alta concentración y es frecuentemente asociado con altos efectos fitotoxicos e inhibitorios (Tsai 2008; Silva et al. 2009), lo que podría convertirlos en alternativas prometedoras al uso de los herbicidas químicos sintéticos.

Materiales y métodos

***Bioensayo de germinación*.** El experimento se realizó con semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) las cual es considerada como una especie indicadora que representan a las plantas de hoja ancha (Jia, et al., 2016). Se realizó el experimento aplicando las seis concentraciones (40, 35, 30, 20, 10 y 5 %) con tres repeticiones donde cada unidad experimental (caja Petri) contenía 10 semillas, las cuales se colocaron sobre un papel absorbente para después agregar sobre cada una de las semillas 30 uL de las concentraciones ensayadas y 50 ml de agua estéril a la base para promover la germinación. A su vez se contó con unidades de control como testigo donde solo se aplicó agua. Las cajas fueron selladas y colocadas en una cámara bioclimática a oscuridad y temperatura ambiente constante de ±27°C. Se monitoreó el inicio de la germinación en un intervalo de 0,5 días hasta el momento en que no germinaron más semillas, el criterio de germinación fue cuando los radicales rompieron la cubierta de la semilla para emerger (Islam y Kato-Noguchi, 2014).

La ecuación utilizada para calcular el índice de germinación (PG) fue la siguiente:

$$\left\{\frac{\text{Número de semillas germinadas en el conteo final}}{\text{Número total de semillas para bioensayo}}\right\} * 100$$

Análisis estadístico. Los bioensayos se llevaron a cabo bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Las medias de los tratamientos se compararon empleando la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5% (Steel y Torrie, 1980). La concentración necesaria para lograr una inhibición del crecimiento del 50% (Cl50) de las especies evaluadas se determinó a partir de las curvas de respuesta de concentración mediante la regresión, utilizando el software estadístico SAS, versión 9.01 (SAS Institute Inc.).

Resultados y discusión

El efecto del extracto de d-limoneno sobre la germinación de semillas de *P. vulgaris* fue evaluado mediante pruebas de germinación específicas. Los resultados del análisis de los datos indicaron que la concentración más alta de d-limoneno, de 40%, causó la mayor inhibición en la tasa de germinación de las semillas, alcanzando un 87.67% de control, lo que denota una inhibición significativa en comparación con las otras concentraciones evaluadas. Esta diferencia en el efecto inhibitorio se observa en el cuadro 1. En contraste, el tratamiento con una concentración de 5% presentó un control del 10%, evidenciando un efecto mucho menor en la inhibición de la germinación. Cabe destacar que la concentración letal media (CL50) del d-limoneno fue determinada en 29.07 % (Cuadro 2); estos resultados subrayan la relación dosis-respuesta observada, donde mayores concentraciones de d-limoneno resultan en una inhibición más pronunciada. Aunque actualmente no se ha logrado determinar el mecanismo exacto de la inhibición del crecimiento del monoterpeno volátil d-Limonelo, es posible que esté relacionado con la inhibición de la mitosis (Romagni et al., 2000). Otros estudios han demostrado que estos compuestos ocasionan una reducción en la síntesis de clorofila debido a una mayor degradación y a su vez interfieren con la respiración mitocondrial lo que podría explicar la reducción observada en la germinación (Penuelas et al., 1996; Yang et al. (2004).

Cuadro 1. Efecto del extracto vegetal en la germinación de semillas de *P. vulgarius.*

Concentración (%)	Control (%)	
40	86.67	A
35	46.67	B
30	40.0	B
20	23.33	BC
10	23.33	BC
5	10.0	C
Testigo	0.0	C

** Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,01)*

Cuadro 2. Concentraciones inhibitorias (ppm) del extracto de d-Limonelo contra la germinación de semillas de *P. vulgarius.*

Extracto	CL_{50} (ppm)	Límite fiducial		P-valor	χ^2
		Inferior	Superior		
d-Limonelo	29.07	21.83	44.55	<.0001	23.17



Figura 1. Crecimiento de *P. vulgaris* frente a las concentraciones de d-Limonelo.

Conclusiones

Los resultados del análisis de los datos indicaron que la concentración más alta de d-limoneno, de 40%, causó la mayor inhibición en la tasa de germinación de las semillas, alcanzando un 87.67% de control, lo que denota una inhibición significativa en comparación con las otras concentraciones evaluadas, por lo tanto, el d-limoneno evidencia un efecto eficaz para la inhibición de la germinación y el desarrollo de las plantas que, a pesar de la necesidad de investigaciones adicionales para conocer sus mecanismos exactos y su comportamiento dentro de los sistemas de producción agrícola, estos compuestos suponen una prometedora vía hacia prácticas de control de maleza más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. .

Referencias

Beckie, Hugh (2020). Herbicide resistance in plants. Plants, 9(435), 1-4. https://doi.org/10.3390/plants9040435

Gao, W. T., & Su, W. H. (2024). Weed Management Methods for Herbaceous Field Crops: A Review. *Agronomy*, *14*(3), 486. https://doi.org/10.3390/agronomy14030486

Heap I. (2021). Estudio internacional de malezas resistentes a herbicidas. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 30 de jun. de 2021]. http://www.weedscience.org /Pages/FAQ.aspx.

Hoagland, R. (2001). Microbial Allelochemicals and Pathogens as Bioherbicidal Agents. Weed Technology, 15(4): 835-857. https://doi.org/10.1614/0890-037X(2001)015[0835:MAAPAB]2.0.CO;2

Islam, A. K. M., and Kato-Noguchi, H. (2014). Phytotoxic activity of Ocimum tenuiflorum extracts on germination and seedling growth of different plant species. *The Scientific World Journal*, *2014*. https://doi.org/10.1155/2014/676242

Jia, Z., Dumont, M. J., and Orsat, V. (2016). Encapsulation of phenolic compounds present in plants using protein matrices. *Food Bioscience*, *15*, 87-104.

MacLaren, C.; Storkey, J.; Menegat, A.; Metcalfe, H.; Dehnen-Schmutz, K. (2020). An ecological future for weed science to sustain crop production and the environment. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 2020, *40*, 1–29. 10.1007/s13593-020-00631-6

Penuelas, J., Ribas-Carbo, M. and Giles, L. (1996). Effects of allelochemicals on plant respiration and oxygen isotope fractionation by the alternative oxidase. J. Chem. Ecol. 22: 801-805. 10.1007/BF02033587

Reddy, C. 2018. A study on crop weed competition in field crops. *J. Pharmacogn. Phytochem.* 2018; 7:3235-3240.

Romagni, J.G., Allen, S.N. and Dayan, F.E. (2000). Allelopathic effects of volatile cineoles on two weedy plant species. J. Chem. Ecol. 26: 303-313. 10.1023/A:1005414216848

Silva, C.B.D.; Simionatto, E.; Hess, S.C.; Peres, M.T.L.P.; Simionatto, E.L.; W. Junior, A.; Poppi, N.R.; Faccenda, O.; Candido, A.C.D.S. & Scalon, S.D.P.Q. (2009). Composicao quimica e atividade alelopatica do Oleo volatil de *Hydrocotyle bonariensis* Lam (Araliaceae). Química Nova 32: 2373-2376. https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000900026

Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. (1980). Principles and procedures of statistics. A biometrical approach, 2nd Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.Jia, Z., Dumont, M.J. y Orsat, V. 2016. Encapsulation of phenolic compounds present in plants using protein matrices. Food Bioscience, 15: 87-104.

Tsai, B.Y. (2008). Effect of pells of lemon, orange, and grapefruit against *Meloidogyne incognita*. Plant Pathology Bulletim 17: 195-201.

Yang, C.M., Chang, I.F., Lin, S.J. and Chou, C.H. (2004). Effects of three allelopathic phenolics on chlorophyll accumulation of rice (Oryza sativa) seedlings I: Inhibition of supply-orientation. Bot. Bull. Acad. Sin. 43: 299-304.

EVALUACIÓN DE HERBICIDAS PRE EMERGENTES PARA EL CONTROL DE MALEZA EN ALGODONERO CONVENCIONAL

Leslie Carnero Avilés[1]*, Omar Castor Ponce Garcia[1], José Luis Arispe Vázquez[2], Alisa C. Barroso Aké[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Delicias, Km. 2 Carretera Delicias – Rosales, CP. 33000, Cd. Delicias, Chihuahua, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Iguala. Km. 2.5 Carr. Iguala-Tuxpan, CP. 40000, Iguala de Guerrero, México.[3]Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Químicas. Blvd. Venustiano Carranza s/n esq. con Ing. José Cárdenas Valdés. Col. República Ote. C.P. 25280. Saltillo, Coahuila, México. * Autor de correspondencia: carnero.leslie@inifap.gob.mx

Introducción

México cuenta con un total de 134,049 hectáreas dedicadas al cultivo de algodón, lo que resulta en una cosecha anual de aproximadamente 604,127 toneladas de algodón (FAOSTAT,2022). Dentro de México, el estado de Chihuahua destaca como el principal productor, con una superficie cultivada de 97,500 hectáreas que producen alrededor de 454,703 toneladas anuales, representando un notable 75.2% de la producción total nacional (SIAP, 2022). Cuando las malezas no se controlan eficazmente pueden provocar una reducción significativa en los rendimientos de los cultivos debido a la competencia directa que ejercen por luz, nutrientes, espacio y agua; estas pérdidas oscilan entre el 10% y el 90% según el grado de infestación y si se presentan en el periodo crítico de competencia del cultivo el cual abarca entre 30 y 60 días después de la germinación (Pala y Mennan, 2016, 2019; Gao y Su, 2024). Los materiales de algodón genéticamente modificados utilizados actualmente por productores contienen genes que les permiten tolerar ciertos herbicidas, como el glifosato, glufosinato de amonio y dicamba dando la posibilidad de aplicar estos productos sin dañar el cultivo y eliminar eficazmente las malezas (Nida et al., 1996; Santamarta, 2004). Sin embargo, la producción con estos materiales ha ocasionado una mayor dependencia de los herbicidas, sometiendo a las malezas a una significativa presión de selección que posteriormente se observa mediante la evolución de las poblaciones de malezas resistentes (Owen y Zelaya, 2005). En este sentido, Heap (2021) señala que algunas malezas han desarrollado resistencia a 23 de los 26 mecanismos de acción conocidos de herbicidas, cubriendo un total de 164 productos diferentes. Debido a lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo la evaluación de diferentes moléculas que protejan al cultivo de algodón en su periodo crítico de competencia y contribuir a la correcta selección de herbicidas pre emergentes.

Materiales y métodos

Con el objetivo de determinar los herbicidas pre emergentes con mayor control de maleza en algodón convencional se estableció una parcela experimental en el Campo experimental Delicias (INIFAP-CEDEL) ubicado en Ciudad Delicias, Chihuahua. El experimento consistió en la evaluación de cuatro herbicidas comerciales (fomesafen, trifluralina, S-Metolaclor y pendimentalin) y tres testigos (testigo regional, testigo enhierbado y control cultural) con cuatro repeticiones en un diseño experimental de bloques completamente al azar sobre el control de la maleza sobre 7 variedades de algodón convencional (Cian 95, Cian precoz, Nazas, Laguna, Juárez 91, Fibermax y Deltapine), donde cada unidad experimental se conformó por 12.16 m^2 (4 m largo x 3.04 m de ancho). Para determinar las especies predominantes se realizaron muestreos en los testigos sin aplicar cuando emergió la maleza, estos datos se tomaron mediante el uso de cuadrantes fijos de 25 x 50 cm.

La aplicación de los herbicidas se realizó con una mochila de presión constante equipada con una boquilla Teejet 8001, a una presión de 2.7 bares erogando un caudal de 120 litros ha^{-1} a una velocidad de 4 Km h^{-1}. La evaluación del control de los herbicidas sobre la maleza se realizó a los 15, 30, 40, 50 y 60 días después de la aplicación con la escala propuesta por la Sociedad Europea de la Investigación de la Maleza (EWRS) donde los rangos de control comprenden del 0.0 % como "sin efecto" al 100.0 % "muerte de la planta" (Cuadro 1). Los datos obtenidos fueron sometidos a un Análisis de Varianza y comparación de medias mediante la prueba de Tukey (p=0,05) en el programa estadístico SAS ver. 9.4 (SAS, 2011).

Cuadro 1. Escala propuesta por la Sociedad Europea de Investigación en Maleza (EWRS) para evaluar el control de maleza por herbicida.

Valor	Control de maleza (%)	Efecto sobre maleza	Fitotoxicidad al cultivo (%)	Efecto sobre el cultivo
1	99.0-100.0	Muerte	0.0-1.0	Sin efecto
2	96.5-99.0	Muy buen control	1.0-3.5	Síntomas muy ligeros
3	93.0-96.5	Buen control	35.-7.0	Síntomas ligeros
4	87.5-93.0	Control suficiente	7.0-12.5	Síntomas evidentes sin efecto en el rendimiento
5	80.0-87.5	Control medio	12.5-20.0	Daño medio
6	70.0-80.0	Control regular	20.0-30.0	Daño elevado
7	50.0-70.0	Control pobre	30.0-50.0	Daño muy elevado
8	1.0-50.0	Control muy pobre	50.0-99.0	Daño severo
9	0.0-1.0	Sin efecto	99.0-100.0	Muerte

Resultados y discusión

Mediante los muestreos iniciales realizados se identificaron las especies predominantes en el área las cuales fueron hediondilla (*Verbesina encelioides*), torito (*Tribulus terrestris*), quelite (*Amaranthus palmeri*), retama (*Flaveria trinervia*), zacate de agua (*Echinocloa colona*), rodadora (*Salsola* kali).

Con los resultados obtenidos no se observaron diferencias estadísticas significativas en el porcentaje de control entre las variedades de cultivo y se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos herbicidas los cuales conservaron altos porcentajes de control hasta 40 días después de las aplicaciones (Cuadro 2), basado en la escala de evaluación propuesta por la Sociedad Europea de Investigación en Maleza (EWRS), los herbicidas Fomesafen, Trifluralina, y *S*-Metolaclor ofrecen un "muy buen control" los primeros 30 días después de la aplicación, con eficacias superiores al 96.5%. Sin embargo, estos porcentajes disminuyen con el tiempo, alcanzando un "control suficiente" con un 87.5% y el 93.0% de control a los 50 y 60 días después de la aplicación.

Para mantener los porcentajes de control altos por un periodo prolongado, Everman et al., (2009) señalan que se puede obtener un excelente control de malezas (> 91%) hasta 74 días después de la primera aplicación en pre emergencia siempre y cuando se realicen al menos dos aplicaciones adicionales de herbicidas post emergentes en la pos emergencia temprana de la maleza. Por lo tanto, la inclusión de modos de acción adicionales con actividad residual en las etapas de preemergencia y postemergencia podrían ayudar a prolongar el período de control de malezas.

En cuanto al tratamiento con Pendimentalin este se clasificó inicialmente como “muy buen control” con un 98.25 % de control coincidiendo con los resultados de Main et al. (2012) quien promedió un 98% utilizando el ingrediente activo solo; este porcentaje disminuyó a “control medio” hacia el final del período de evaluación. El Testigo Regional presentó un “control medio” que va de un 89.21% al inicio de su aplicación a los 30 días de la evaluación, es importante mencionar que este ingrediente activo post emergente fue aplicado a los 7 días después de la siembra que fue a “tierra venida” por lo que la primera generación de maleza se presentó a los días posteriores, este ingrediente activo mantiene porcentajes altos de control, sin embargo, se requieren repetidas aplicaciones durante el ciclo del cultivo para mantener el control eficaz de la maleza, las cuales fueron omitidas para el presente experimento con el fin de determinar los periodos de protección con una sola intervención.

En cuanto al Testigo Enhierbado y el Control Cultural tienen un “control muy pobre” y “sin efecto”, respectivamente, indicando una eficacia mínima en el control, los bajos porcentajes de control en el uso del control cultural se debe a que algunas malezas pueden pasar desapercibidas por el personal. Es importante mencionar que entre los 40 y 80 días el cultivo inicia el cierre de los surcos y sombrear la base debido a el desarrollo de su parte vegetativa (Gaytán-Mascorro, 2004), disminuyendo la emergencia de maleza o el crecimiento de la misma debido a la falta de luz (Hernández-Ríos et al., 2022).

Cuadro 2. Efecto de los tratamientos de herbicidas pre emergentes en el control de maleza a los 15, 30, 40 y 60 días después de la aplicación en el cultivo de algodón.

Ingrediente activo	15DDA		30DDA		40DDA		50DDA		60DDA	
Fomesafen	99.71	a	98.54	a	94.18	b	89.75	ab	86.43	a
Trifluralina	99.39	a	98.46	a	94.82	ab	92.18	a	86.25	a
S-Metolaclor	99.64	a	99.71	a	97.36	a	89.11	abc	85.54	a
Pendimentalin	99.32	a	98.25	a	95	ab	88.57	bc	84.57	a
Testigo Regional	44.82	b	89.21	b	96.14	ab	86.14	c	60.18	c
Control Cultural	0	c	30.71	c	93.36	b	86.07	c	76.39	b
Testigo Enhierbado	0	c	0	d	0	c	0	d	0	d

Literales diferentes indican diferencias entre grupos (P<0.05), prueba de Tukey. DDA: Días después de la aplicación.

Conclusiones

El análisis revela diferencias significativas entre los tratamientos herbicidas, el S-Metolaclor, Fomesafen y Trifluralina, mantienen un alto porcentaje de control de malezas durante las primeras semanas después de la aplicación, aunque su efectividad disminuye con el tiempo, especialmente a partir de 50 días después de la aplicación. Pendimentalin también muestra un buen control inicial, pero con una reducción más rápida en su eficacia, mientras que el Testigo Regional presenta buen control este no alcanza los periodos de control de los herbicidas pre emergentes evaluados ya que durante el ciclo del cultivo se requieren repetidas aplicaciones. Por último, el Testigo Enhierbado y el Control Cultural muestran un control de malezas significativamente inferior respecto a los otros tratamientos, además de que el control cultural depende del uso de jornales lo que podría convertirse en una limitante y el incremento de los costos para el control de maleza. Las diferencias significativas en eficacia entre los tratamientos subrayan la importancia de elegir herbicidas con una persistencia adecuada para el control efectivo de malezas a lo largo del tiempo.

Referencias

Everman, W. J., Clewis, S. B., York, A. C., & Wilcut, J. W. (2009). Weed control and yield with flumioxazin, fomesafen, and S-metolachlor systems for glufosinate-resistant cotton residual weed management. *Weed Technology*, *23*(3), 391-397. https://doi.org/10.1614/WT-09-007.1

FAOSTAT, Organización para la Agricultura y la Alimentación (2022). Producción Agrícola. https://www.fao.org/statistics/es

Gao, W. T., Y Su, W. H. (2024). Weed Management Methods for Herbaceous Field Crops: A Review. *Agronomy*, *14*(3), 486. https://doi.org/10.3390/agronomy14030486

Gaytán-Mascorro, A., Palomo-Gil, A., Reta-Sánchez, D. G., Godoy-Ávila, S., & García-Castañeda, E. A. (2004). Respuesta del algodón cv. Cian precoz 3 al espaciamiento entre surcos y densidad poblacional. I. Rendimiento, precocidad y calidad de fibra:(con 8 cuadros). *Phyton (Buenos Aires)*, *73*, 57-67.

Heap I. (2021). Estudio internacional de malezas resistentes a herbicidas. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 30 de jun. de 2021]. http://www.weedscience.org /Pages/FAQ.aspx.

Hernández-Ríos, I., Osuna-Ceja, E. S., Pimentel-López, J., & García-Saucedo, P. (2022). Control De Malezas En Maíz, Frijol, Girasol Y Sorgo: Efecto de métodos de control bajo dos sistemas de siembra. *Agro-Divulgación*, *2*(6). https://doi.org/10.54767/ad.v2i6.137

Main, C. L., Faircloth, J. C., Steckel, L. E., Culpepper, A. S., y York, A. C. (2012). Cotton tolerance to fomesafen applied preemergence. J Cotton Sci, 16, 80-87.

Nida, D. L., Kolacz, K. H., Buehler, R. E., Deaton, W. R., Schuler, W. R., Armstrong, T. A., ... & Fuchs, R. L. (1996). Glyphosate-tolerant cotton: genetic characterization and protein expression. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *44*(7), 1960-1966. https://doi.org/10.1021/jf9505640

Owen, M. D., & Zelaya, I. A. (2005). Herbicide-resistant crops and weed resistance to herbicides. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, *61*(3), 301-311. https://doi.org/10.1002/ps.1015

Pala, F. y Mennan, H. (2016). Determination of pigweed (*Amaranthus* spp.) species and their frequency and density in cotton fields in Southeastern Anatolia Region, Turkey. Journal of Agricultural Faculty of Mustafa Kemal University, 21(2), 139-148. http://dergipark.ulakbim.gov.tr/mkuzfd/article/view/5000183884/5000177546

Pala, F. y Mennan, H. (2019). Clomazone Aktif Maddesinin Yarı Kurak Koşullarda Geleneksel Pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) Tarlalarında Yabancı Ot Kontrolünde Çıkış Öncesi Herbisitlerle Tank Karışımı. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17), 1256-1262. 10.31590/ejosat.658839

Santamarta, J. (2004). Los transgénicos en el mundo. *World Watch*, *21*, 24-28.

SAS, Analítica, Inteligencia Artificial y Gestión de Datos (2011). SAS/STAT 9.4. User's guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.8640

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022). Producción Agrícola. https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119.

Aenasius bambawalei Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae) ENEMIGO NATURAL DE *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Homoptera: Pseudococcidae) EN CULTIVO DE ALGODÓN

Paulina Nava-Ruiz[1]*, Enrique Hernández-Leal[1], Olga Bonilla-Barrientos[1], Orlando Ramírez-Valle[2] , Omar C. Ponce-García[1]

[1] Campo Experimental Delicias INIFAP Km. 2 Carretera Delicias-Rosales, C.P. 33000. Delicias, Chihuahua. [2] Sitio Experimental Sierra de Chihuahua Miguel Hidalgo 1213, Zona Centro, 31500 Cuauhtémoc, Chihuahua. *Autor por correspondencia: correo nava.paulina@inifap.gob.mx

Introducción

El cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum*) en México tiene principalmente dos objetivos, la obtención de fibra textil y la producción de semilla, en la que se encuentran los aceites vegetales (Ávila et al., 2014). La semilla se encuentra rodeada por una capa de células epidérmicas y éstas dan lugar a la producción de fibra (Ritchie et al., 2004), la cual debe cumplir con una serie de características para garantizar su calidad y con ello facilitar su hilado, algunas de ellas son: color, longitud de fibra, finura y resistencia (Ávila et al., 2014; Bonilla et al., 2020). Y las plagas que impactan de manera negativa en el rendimiento y en el cultivo son: *Anthonomus grandis* (Coleoptera: Curculionidae), *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera: Gelechiidae), *Mithymna unipuncta* (Lepidoptera: Noictuidae), *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noictuidae), *Bemisia argentifolii* (Hemiptera: Aleyrodidae), B*. tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae)*, Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae), *T. abutilonea* (Hemiptera: Aleyrodidae) y *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) (Rajendran et al., 2018). Esta última especie pertenece a la familia Pseudococcidae y se le conoce comúnmente como piojo harinoso ya que su cuerpo posee poros que están asociados con la producción de cera en forma de polvo harinoso (Hernandez, 2017). Estos insectos son considerados como la plaga más destructiva del cultivo de algodón y esta reportada en 183 especies de plantas de 53 familias (El Aalaoui, 2021), los daños que causan son dos: al alimentarse de ramas, botones foliares, flores y frutos (Hernandez, 2017) y la excreción de mielecilla en foliolos, lo que favorece la formación de un hongo llamado fumagina y esto dificulta la fotosíntesis. Cuando el piojo harinoso llega al cultivo durante el periodo reproductivo, causa el debilitamiento de la planta, deformación, amarillamiento y caída de las hojas, lo que provoca menos producción de bellotas. Esta plaga se puede propagar a través del viento, el transporte de semillas de algodón en bruto, en trabajadores de campo y mediante actividades animales (Waqas et al., 2021). Ante la amenaza de la plaga es necesario explorar alternativas que tengan un bajo impacto en el medio ambiente. El control biológico representa una estrategia para reducir poblaciones de plagas y el daño que estas pueden llegar a causar en los cultivos. Por lo consiguiente, el primer paso es conocer a los enemigos naturales nativos con la finalidad de poder realizar una aportación al manejo integrado de la plaga.

Materiales y métodos

Las recolectas de piojo harinoso y sus enemigos naturales se realizaron en cultivo de algodón en las instalaciones del INIFAP, Campo Experimental Delicias en el mes de octubre del 2023. Los puntos de colecta se definieron por presencia de piojo harinoso, se tomaron varias muestras de ramas, hojas y bellotas, con el cuidado de que solo estuvieran presentes especímenes del piojo harinoso. Las muestras se colocaron en una caja trasparente de plástico con tapa hermética para trasladarlas al laboratorio de entomología en las instalaciones del Campo Experimental Delicias.

Los piojos colectados en campo fueron separados del material vegetal de manera individual con la ayuda de un pincel y unas pinzas entomológicas de disección y colocados en un recipiente limpio de plástico con tapa. Con la finalidad de que continuaran su desarrollo, en espera de la emergencia de los posibles enemigos naturales, se colectaron hojas sanas del cultivo de algodón, las cuales se lavaron y desinfectaron (Figura 1A). Una vez que las hojas estaban limpias, desinfectadas y secas, a cada una se le colocó un tubo eppendorf con un poco de agua en el peciolo y un tapón de algodón para mantener la humedad (Figura 1B y C), que permanecieran firmes durante más tiempo y así poder asegurar la alimentación de los insectos.



Figura 1. Procesamiento de hojas como alimento para *Phenacoccus solenopsis Tinsley* A) Lavado y desinfección de hojas, B) preparación de tubo eppendorf para mantener humedad y C) colocación de la hoja.

Una vez procesadas las hojas destinadas como alimento, se colocaron de manera individual en una caja petri de 9 cm de diámetro. Es importante mencionar que cada una de las cajas se numeró con la finalidad de tener orden al registrar los resultados. Por último, se colocó un espécimen de piojo harinoso por caja petri (Figura 2). A los piojos harinosos que se encontraban en las muestras ya procesadas se revisaban cada día para registrar la emergencia de algún parasitoide y las hojas de alimentación se cambiaron cada tercer día. Es importante mencionar que cuando se realizaba el cambio de hoja se realizaba todo el proceso mencionado anteriormente (lavado, desinfección y secado), así como el tubo eppendorf con agua. Las imágenes fueron tomadas con una cámara Nikon D7100 con un lente AF-S NIKKOR 18-140mm 1:3.5-5.6 GED y con un microscopio estereoscópico binocular modelo smz-168b-led, marca motic.

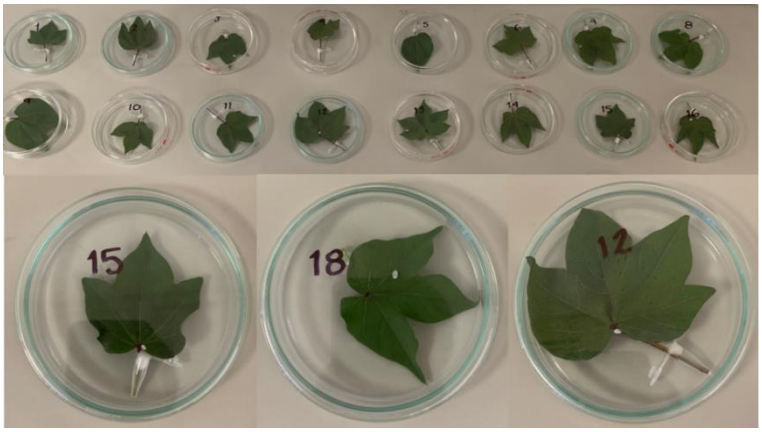


Figura 2. Muestras procesadas en el laboratorio de entomología del Campo Experimental Delicias.

Resultados y discusión

De los piojos harinosos confinados emergió el parasitoide *Aenasius bambawalei* (Hymenoptera: Encyrtidae) (Figura 3C), el cual fue identificado con las claves taxonómicas de Fernandez y Sharkey (2009), Hayat (2009) y las notas de diagnosis de Poorani et al. (2009). Las características de identificación de la especie son las alas anteriores, tienen una línea calva con setas marginales y la vena marginal corta (Figura 3A), en la longitud del cuerpo hay una variación, la del macho es de 1.10 a 1.5 mm y de la hembra 1.5 a 2.3 mm. Ambos tienen una coloración negro brillante con reflejos metálicos (Figura 3B), con el tórax de color verde azulado metálico a negruzco, el abdomen marrón oscuro con coloraciones de violeta bronce a verde azulado y las patas negras con coloraciones de marrón amarillento a un marrón pálido.

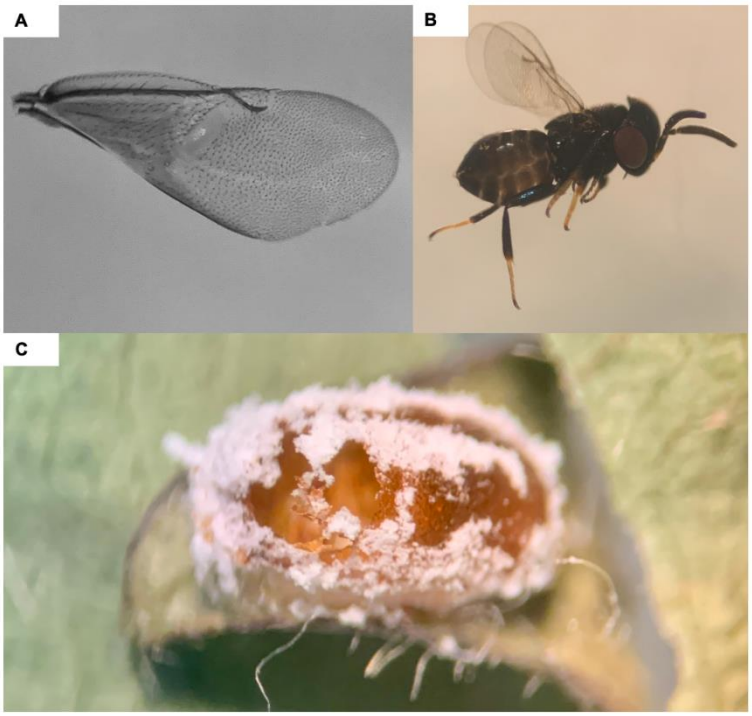


Figura 3. Emergencia de *Aenasius bambawalei* en *Phenacoccus solenopsis*. A) Ala anterior de *A. bambawalei*, B) Hábitus de *A. bambawalei*, C) orificio de salida de *A. bambawalei* en pupario de *Phenacoccus* solenopsis.

Este insecto pertenece a la subfamilia Tetracneminae, los cuales son parasitoides primarios de cochinillas (Hemiptera: Pseudococcidae), otra característica de la subfamilia es que son solitarios, es decir, la hembra solo deposita un solo huevo por huésped (Moursi 1948a, b). También han sido utilizadas con éxito en programas de control biológico (Greathead 1986).

Específicamente, la especie *Aenasius bambawalei*, se ha registrado como parasitoide de *P. solenopsis* en casi todos los estados donde se cultiva algodón en la India durante los años 2008 y 2009, donde las tasas de parasitismo fueron de moderadas a altas (Poorani et al., 2009). Según Hayat (2009) quien es el descriptor taxonómico, *A. bambawalei* parece ser específico de *P. solenopsis*. Para conocer aspectos biológicos, el parasitoide *A. bambawalei* se crío en *P. solenopsis* en el experimento se observó que prefiere parasitar en el tercer instar (Fand et al., 2011; He et al., 2012), sin embargo, puede ocurrir del tercer instar en adelante y la duración a partir de que la hembra pone el huevo hasta la aparición de los adultos es de 14 a 19 días aproximadamente (Poorani et al., 2009). *A. bambawalei* se reproduce principalmente por gametogénesis y de vez en cuando por arrenotoquia, un tipo de partenogénesis. Las hembras asignan muchas más fuentes de energía para su propia sobrevivencia que a la reproducción durante la parte mediana y final del período de oviposición (He et al., 2015). Por lo tanto, parasitoides adultos recién emergidos son candidatos para la cría en masa y para su uso en el control biológico inducido del piojo harinoso.

Conclusiones

Al parecer *Aenasius bambawalei* es un parasitoide especifico de *P. solenopsis*, sin embargo, se ha reproducido con éxito en la cochinilla de la papaya (*Paracoccus marginatus*) en condiciones de laboratorio. También por los antecedentes de la familia es un buen candidato para realizar liberaciones en los estados productores de algodón donde las poblaciones del pijo harinoso son un problema ya que se puede producir en masa con facilidad y alta longevidad adulta.

Referencias

Ávila Miramontes, José A., Ávila Salazar, Jesús M., Martinez Heredía, Damian y Rivas Santoyo Francisco J. (2014). El cultivo del algodón, generalidades y sistemas de producción en el noroeste de México. UNIVERSIDAD DE SONORA DIVISION DE CIENCIAS BIOLOGICAS Y DE LA SALUD DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. Pp 18-25.

Bonilla-Barrientos, Olga, Hernández-Leal, Enrique, Verastegui-Chávez, José, Maltos-Buendía, Jorge, Bautista-Ramírez, Edgardo, Hernández-Bautista, Aurelio, & Isidro-Requejo, Luis M. (2020). Productividad y calidad de fibra de variedades convencionales de algodón en la Comarca Lagunera, México. Revista fitotecnia mexicana, 43(1), 3-9.

El Aalaoui, M., & Sbaghi, M. (2021). First record of the mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) and its seven parasitoids and five predators in Morocco. EPPO Bulletin, 51(2), 299-304.

Fand BB, Gautam RD, Suroshe SS. (2011). Suitability of various stages of mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Homoptera: Pseudococcidae) for development and survival of the solitary endoparasitoid, *Aenasius bambawalei* (Hymenoptera: Encyrtidae). Biocontrol Science and Technology 21: 51-55.

Fernandez, F. y M. J. Sharkey. (2006). Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical. Universidad Nacional de Colombia y Sociedad Colombiana de Entomología. Pp 727-744.

Hayat, M. (2009). Description of a new species of *Aenasius* Walker (Hymenoptera: Encyrtidae), parasitoid of the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Homoptera: Pseudococcidae) in India. Biosystematica, 3: 21–26.

He, L. F., Feng, D. D., Li, P., Zhou, Z. S., & Xu, Z. F. (2015). Reproductive modes and daily fecundity of *Aenasius bambawalei* (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae). Florida Entomologist, 358-360.

He LF, Feng DD, Li P, Xu ZF. (2012). Host-instar selection of *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae) for mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Phenacoccidae). Journal of Environmental Entomology 34: 329-333.

Hernandez-Gonzalez, H. (2017). Familia Pseudococcidae en D. Cibrián-Tovar (Ed.). Fundamentos de entomología forestal (Primera edición, pp. 183-185) Universidad Autónoma Chapingo.

Moursi, A. A. (1948a). Contributions to the knowledge of the natural enemies of mealybugs. 2. *Anagyrus kamali* Moursi, a parasite of the hibiscus mealybug *Phenacoccus hirsutus* Green (Hymenoptera: Encyrtidae). Bulletin de la Société Fouad Ier d´Entomologie, Le Caire 32:9-16.

Moursi, A. A. (1948b). Contributions to the knowledge of the natural enemies of mealybugs. 3. *Anagyrus aegyptiacus* Moursi, a parasite of the Lebbek mealybug *Phenacoccus filamentosus* Ckll. (Hymenoptera: Encyrtidae). Bulletin de la Société Fouad Ier d'Entomologie, Le Caire 32:17-32.

Poorani, J., Rajeshwari, S. K., & Gupta, A. (2009). Notes on diagnosis and biology of *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of the invasive mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Sternorrhyncha: Pseudococcidae). Journal of Biological Control, 463-466.

Rajendran, T. P., Birah, A., & Burange, P. S. (2018). Insect pests of cotton. Pests and their management, 361-411. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8687-8_11

Ritchie Glen L., C. W. Bedmarz, P.H. Jost and S. M. Brown. (2004). Cotton Growth and Development. College Extension Service. University of Georgia College of Agricultural and Environmental Science. Bull. 1252.

Waqas, M. S., Shi, Z., Yi, T. C., Xiao, R., Shoaib, A. A., Elabasy, A. S., & Jin, D. C. (2021). Biology, ecology, and management of cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* T insley (Hemiptera: Pseudococcidae). Pest Management Science, 77(12), 5321-5333.

COMBINACIÓN DE ÁCIDOS FÚLVICOS Y ZINC EN LA NUTRICIÓN DEL NOGAL PACANERO (*Carya Illinoinensis* K.)

Luis Andrés Méndez Gaytán[1], Francisco López Bejarano[1], Omar Cástor Ponce-García[2]*, Alejandro Palacio Marquez[1], Donaji Sierra Zurita[3] y Leslie Carnero Avilés[2].

[1]Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, UACH.; [2]C.E. Delicias, INIFAP y [3]C. E. Valle de Guadiana, INIFAP. *Autor de correspondencia: ponce.omar@inifap.gob.mx

Introducción

El nogal es uno de los cultivos más importantes a nivel nacional y el estado de Chihuahua es el principal productor, con una producción de 100, 190 to en el año 2024, lo que representa el 59.7% de la producción nacional (SIAP, 2024). Uno de los principales factores para mantener la alta productividad de este cultivo es la fertilización, entre los que se destacan los macronutrientes Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K). Sin embargo, este cultivo tiene altos requerimientos del micronutriente zinc, por lo que la ausencia de este elemento puede reducir la eficiencia del nogal pecanero (Ojeda et al., 2010).

El zinc es un micronutriente metálico, el cual, bajo condiciones alcalinas y calcáreas tiende a la formación de compuestos de baja solubilidad como hidróxido de zinc (Zn(OH)2), carbonato de zinc (ZnCO3), entre otros (Halvin et al., 2014). Para que las plantas puedan absorber este nutriente en estas condiciones debe aplicarse de forma edáfica en forma de agentes quelantes, sin embargo, la respuesta puede presentarse hasta dos años después de la aplicación (González et al., 2022).

Diferentes autores han referenciado que el acomplejamiento de micronutrientes como hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu) entre otros con algunos ácidos orgánicos puede mejorar la disponibilidad de estos nutrientes para las plantas (Navarro y Navarro, 2013; Navarro y Navarro, 2014), sin embargo, actualmente no se tienen investigaciones en el cultivo del nogal. Por lo anterior, el objetivo del presente proyecto fue evaluar el efecto de la aplicación combinada de ácidos fúlvicos y zinc en la nutrición del nogal pecanero.

Materiales y métodos

Para el desarrollo del experimento se seleccionó un huerto de Nogal pecanero ubicado en la ciudad de Meoqui, Chihuahua con coordenadas 28° 20'" N, 105° 34' 00" O y una altitud de 1158 msnm. La variedad cultivada es Western con un 10% de Wichita como polinizador, 38 años de edad, irrigada por inundación y con una densidad de siembra de 70 árboles por hectárea. Para conocer las características del huerto se realizó un análisis de suelo el cual se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características químicas de la huerta que se está trabajando

Variable	Valor	Rango de clasificación
pH	8.35	Moderadamente alcalino
C.E.	1.56 dS m-1	Bajo en sales
M. O.	2.23%	Alto
CaCO3	3.16%	
CIC	24.8	
P	6.88 mg kg-1	Bajo
K	945	Muy alto
Ca	4114	Muy alto
Mg	292	Moderadamente alto
Cu	0.86	Medio
Fe	5.57	Moderadamente bajo
Mn	3.85	Moderadamente alto
S	9.72	Medio
B	0.86	Medio

En el experimento se implementó un diseño completamente al azar con 3 tratamientos (Cuadro 2) y 6 repeticiones, tomando como unidad experimental 120 frutos colectados al azar en la parte media del árbol.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos aplicados en el tratamiento del nogal pecanero en Meoqui, Chihuahua

Tratamientos	Dosis de aplicación
Control	Sin aplicación de zinc edáfica
Dosis media	Ácidos fúlvicos + 2 kg de quelato de zinc ha^{-1}
Dosis Alta	Ácidos fúlvicos + 4 kg de quelato de zinc ha^{-1}

La aplicación de los tratamientos se realizó a una dosis de 10 L de ácidos fúlvicos por ha^{-1} y se mezcló con el fertilizante Zitrilon® (Zinc EDTA 15%) a dosis de 2 y 4 kg ha-1. La aplicación se realizó al momento de la brotación de los árboles el día 25 de marzo. El muestreo de frutos se realizó el día 7 de junio y se evaluó el contenido de zinc en fruto (Espectrofotometría de absorción atómica) y la biomasa (Peso fresco, seco y largo de frutos).

Para el análisis estadístico se utilizó el software SPSS y se aplicó un análisis de varianza ANOVA y para las pruebas que existieron diferencias significativas se implementó una prueba tukey (0.05) para la separación de medias.

Resultados y discusión

Para las variables de crecimiento no se encontraron diferencias estadísticas significativas, sin embargo, se observa un incremento en el peso de fruto (Figura 1). Se observa que el tratamiento 2 y 3 (ácidos fúlvicos + zinc), presentaron un mayor peso fresco y seco de fruto, sin embargo, es posible que al momento de la cosecha se encuentren diferencias significativas en el rendimiento por lo que es necesario continuar con el proyecto.

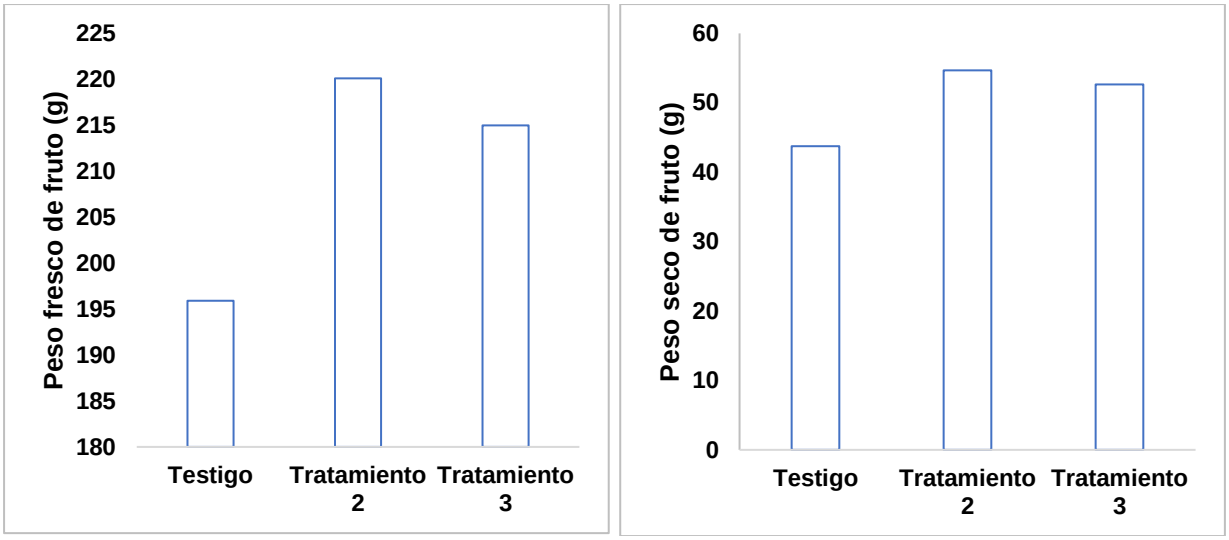


Figura 1. Peso fresco y seco de 13 frutos de nogal adicionados zinc y ácidos fúlvicos de la zona de Meoqui, Chihuahua.

Para la concentración de zinc en fruto, se encontró que los tratamientos 1 y 2 incrementaron la concentración de este elemento. La aplicación de 4 kg ha^{-1} de zinc + 15 L de ácidos fúlvicos incrementó en 19 mg kg^{-1} (9%) la concentración de este nutriente en fruto, por lo que puede ser una alternativa para corregir las deficiencias de este elemento en los nogales. Navarro y Navarro. (2013), mencionan que los ácidos húmicos y fúlvicos pueden formar complejos con algunos micronutrientes como Fe, Zn y Cu, lo que puede impedir la formación de compuestos insolubles y estar disponible para que las plantas lo absorban.

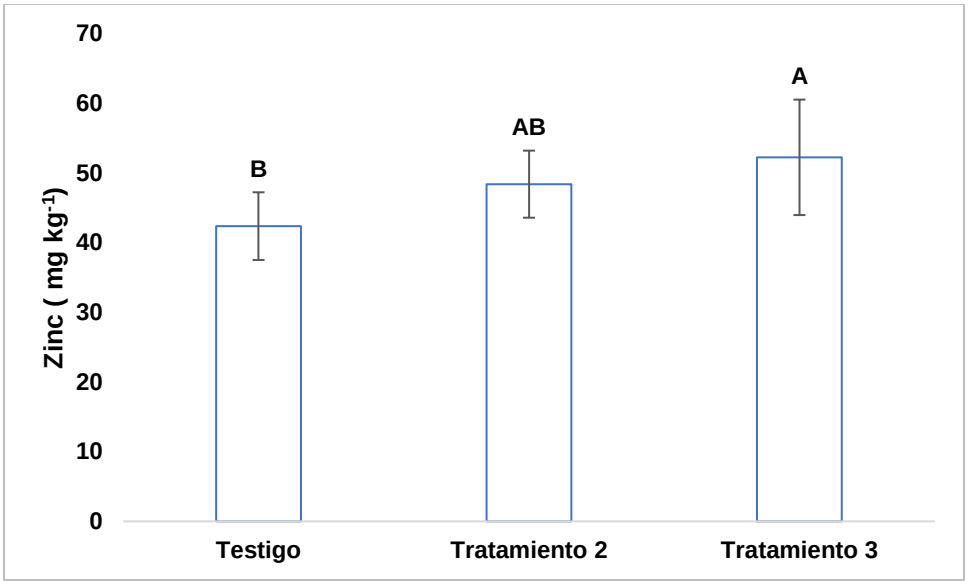


Figura 2. Concentración de micronutrientes en frutos de nogal pacanero Western en la zona de Mequí, Chihuahua (*Letras diferentes indican diferencias significativas; Barras indican error experimental).

Conclusiones

Se llegó a la conclusión que la combinación de ácidos fúlvicos con zinc puede incrementar la concentración de nutrientes en fruto, lo cual, puede prevenir las deficiencias causadas por la baja disponibilidad de este elemento en suelos alcalinos.

Para las variables de crecimiento, no se obtuvieron datos concluyentes, sin embargo, es necesario continuar con las investigaciones y corroborar las observaciones presentes con la cosecha del cultivo. Se recomienda continuar con la investigación por lo menos por 2 ciclos continuos.

Referencias

González, L. S. G., Ortega, F. I., Morales, S. G., Palacios, A., & Lucero, B. A. R. (2022). Análisis del Suelo y su Importancia en el Cultivo del Nogal Pecanero en el Distrito de Riego 05 Delicias. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, *10*(1), 08-16.

Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2016). *Soil fertility and fertilizers*. Pearson Education India.

Navarro García, G y Navarro, García S. (2013). *Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. Ediciones Mundi-Prensa.

Navarro García, G. y Navarro, García S. (2014). *Fertilizantes. Química y acción*. Ediciones Mundi-Prensa.

Ojeda-Barrios, D. L., Perea-Portillo, E., Hernández-Rodríguez, O. A., Escudero-Almanza, D. J., Martínez-Téllez, J. J., & López-Ochoa, G. R. (2010). El zinc como promotor de crecimiento y fructificación en el nogal pecanero: The zinc as a promoter of growth and fruiting in pecan trees. *Tecnociencia Chihuahua*, *4*(2), 64-71.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). Panorama agroalimentario 2024. https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035.

APORTE NUTRICIONAL Y NUTRACÉUTICO DE UN QUESO FRESCO ADICIONADO CON MICROCÁPSULAS DEL EXTRACTO DE LA TESTA DE FRIJOL NEGRO SAN LUIS

Raquel K. Cruz Bravo[1*], Salvador Horacio Guzmán Maldonado[2], Reyna Nallely Falfán Cortes[3]

[1]INIFAP Zacatecas, Carretera Zacatecas- Fresnillo Km. 20.5. Calera de V.R., Zacatecas. C.P. 98500; [2]INIFAP Bajío, Km. 6.5. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, Celaya, México. [3]Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería (ICBI), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Pachuca, Hidalgo, C.P. 42184, México. *Autor de correspondencia: cruz.raquel@inifap.gob.mx

Introducción

El frijol común (*Phasoulus vulgaris*, L.) es uno de los alimentos que forma parte de la dieta tradicional mexicana. Además, se le reconoce como el tercer cultivo de mayor importancia en México (CIMMYT, 2023). Sin embargo, su consumo y superficie cultivada ha disminuido en las últimas décadas (Lara-Flores, 2015). Es por ello que es necesario optar por otras alternativas de uso del grano para la agregación de valor al cultivo y, así, contribuir en el aumento de su competitividad en el mercado. Con base en lo anterior, en este trabajo, se propuso el desarrollo de microcápsulas a partir de extractos de los compuestos bioactivos de la testa (MCBT) del frijol de la variedad Negro San Luis y su uso como ingrediente funcional en un queso fresco. Se comparó la calidad nutricional y nutracéutica del mismo con un queso fresco comercial. Para lo anterior, se determinó su composición química proximal, el análisis del perfil fenólico por espectrofotometría y cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés), así como la determinación de su capacidad antioxidante. Se observó que el queso adicionado con las MCBT presentó un mayor aporte de proteínas, carbohidratos y menos grasa que el queso comercial. Por otra parte, se observó un mayor contenido de compuestos fenólicos (nutracéuticos) de manera significativa, así como un aumento en la capacidad antioxidante de los quesos adicionados con las MCBT. Esto es de gran importancia en la actualidad, ya que dichos atributos ayudan a prevenir el desarrollo de enfermedades crónico-degenerativas, tales como obesidad, diabetes y diversos tipos de cáncer (Damián-Medina et al., 2022). Con base en estos resultados, se puede sugerir el uso de la testa del grano de frijol como una fuente de compuestos nutracéuticos para el desarrollo de ingredientes funcionales, tales como las microcápsulas, diversificando el uso del frijol mediante tecnologías alternativas para aumentar su competitividad en el mercado.

Materiales y métodos

Materiales. El frijol variedad Negro San Luis se adquirió con un productor local (Zacatecas, México). Se utilizaron ingredientes de origen comercial para elaborar el queso fresco.

Obtención de la harina de testa de frijol Negro San Luis. Para obtener la harina, se obtuvo la testa de frijol mediante la decorticación de los granos. La testa se molió utilizando un procesador de alimentos (Nutribullet, serie 600) en combinación con una licuadora (Oster clásica, modelo BLSTBPST013), en cuatro rondas alternadas de 30 a 40 segundos. La harina molida resultante, se tamizó con una malla de 0.80 mm hasta obtener una harina fina, que posteriormente se pesó y se guardó en una bolsa de plástico sellada protegida de la luz y en refrigeración hasta su uso.

Microencapsulación de extracto de testa de frijol. Se llevó a cabo de acuerdo a lo descrito por Cruz-Bravo et al. (2023). En un vaso de precipitado protegido de la luz, se colocó el extracto evaporado y se mezcló con un ingrediente para encapsular (N-Lok®). La mezcla (extracto-material pared) se procesó con un homogeneizador (IKA T25, Ultra Turrax, Alemania) a 10000 rpm por 1 minuto. El proceso de microencapsulación se llevó a cabo utilizando el equipo de secado por aspersión, a una velocidad de entrada de la muestra de 3.5 mL/min, una temperatura de entrada de secado de 115 °C ± 4 °C.

Elaboración de queso fresco tipo ranchero adicionado con microcápsulas de extracto de compuestos bioactivos de la testa (MCBT) de frijol común. Se elaboró un queso fresco tipo ranchero a partir de leche de vaca, se colocaron 5 L de leche pasteurizada en una olla de acero inoxidable, se calentó con agitación constante utilizando un espumador hasta llegar a una temperatura de 82 °C, se retiró del fuego y se añadió, lentamente, una solución de ácido acético (grado alimentario) diluido y agua purificada 1:10 en 3 partes iguales, con agitación continua, hasta lograr la coagulación de proteínas. Se dejó reposar durante 30 minutos, hasta que la cuajada presentó una consistencia firme y gelatinosa. Se cortó con ayuda de un cuchillo de acero inoxidable. Posteriormente, se filtró la cuajada para separar el suero de esta, con ayuda de un cedazo y manta natural cruda. Se colocó la cuajada en un recipiente de acero inoxidable y se procedió a salar a una concentración de 5 g de sal por cada Kg de producto. A continuación, se adicionó el microencapsulado a una concentración de 20 g por cada Kg de queso, esto de acuerdo a las normas nacionales actuales para aditivos en productos lácteos. Se colocó el producto en moldes para queso y se prensaron por 24 h. Transcurrido el tiempo, se desmoldaron los quesos y se conservaron en refrigeraron para análisis posteriores.

Composición química de queso fresco adicionado con las MCBT. Se realizó el análisis proximal de acuerdo a los métodos descritos por el AOAC (2002): humedad (método 925.23), cenizas (método 945.46), proteína total por micro Kjeldhal (método 920.105), lípidos totales por extracto etéreo (método 920.39). Los hidratos de carbono (HCO) se calcularon por diferencia.

Perfil fenólico y capacidad antioxidante de las microcápsulas (MCBT) y quesos. Se determinó el contenido de fenoles totales (FT), flavonoides totales (FLT), taninos condensados (TC), antocianinas (AT) y ácidos fenólicos por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) (Khoddami, et al. 2013), así como la capacidad antioxidante por los métodos TEAC y ORAC (Munteanu & Apetrei, 2021).

El análisis de todos los datos se realizó por comparación de medias por el ANOVA, así como la prueba *t* de Student para el análisis proximal y la prueba de Tukey ($p< 0.05$) para el perfil fenólico y capacidad antioxidante.

Resultados y discusión

Análisis proximal del queso adicionado con microcápsulas de extractos de compuestos bioactivos de la testa de frijol. Para determinar el aporte nutricional de los quesos frescos tipo ranchero, se analizó la composición química proximal del queso fresco adicionado con las microcápsulas (MCBT), contra un testigo comercial (queso fresco tipo ranchero) sin las microcápsulas.

El contenido de humedad de los quesos fue del 50-55 %. Sin embargo, en el Cuadro 1 se presentan los valores nutrimentales en base seca, donde puede observarse que hay mayor contenido de cenizas en el queso testigo (comercial), el cual se encuentra por encima de los 4.10 % recomendado para quesos frescos (INCAP, 2012).

El porcentaje de grasas fue significativamente mayor en el queso comercial respecto al queso adicionado con las microcápsulas. Aunque en ambos casos puede parecer un alto contenido de grasa, se ha demostrado que el consumo de grasa láctea está inversamente relacionado con el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, posiblemente debido a su contenido en el ácido graso trans palmitoleico, que permite un aumento de los niveles de colesterol HDL y una disminución de proteína C reactiva y de triglicéridos (Duran-Agüero et al., 2015). Sin embargo, se recomienda, generalmente, la moderación en el consumo de productos alimentarios con aporte de grasas de origen animal.

Por otra parte, se muestra que el queso con microcápsulas tiene significativamente mayor contenido de proteínas (Cuadro 1), lo cual puede ser un aspecto que manifieste una menor calidad de la materia prima usada para elaborar el queso comercial. Finalmente, los hidratos de carbono (HCO) son mayores en el queso adicionado con microcápsulas, posiblemente, por el vehículo o material que se utiliza para elaborar dichas microcápsulas (N-lok®).

En general, estos resultados demuestran que la adición de las microcápsulas contribuyó en un aporte mayor de proteínas y menos grasa, por lo que se le puede considerar de mejor calidad nutricional que el queso fresco comercial.

Cuadro 1. Composición proximal (%) del queso adicionado con microcápsulas de compuestos bioactivos de la testa de frijol Negro San Luis

Muestra	Humedad	Cenizas	Grasa	Proteínas	HCO
Queso + MCBT	2.20 ± 0.09^{b}	4.18 ± 0.07^{b}	41.43 ± 0.05^{b}	38.27 ± 0.08^{a}	13.91 ± 0.12^{a}
Queso testigo	3.05 ± 0.07^{a}	7.53 ± 0.02^{a}	49.15 ± 0.34^{a}	31.51 ± 0.07^{b}	8.74 ± 0.17^{b}

MCBT: microcápsulas de compuestos bioactivos de la testa de frijol. Queso testigo: queso fresco comercial. HCO: carbohidratos totales determinados por diferencia. Los resultados se presentan como la media el ± error estándar de dos experimentos independientes, base seca. Letras diferentes por columna indican diferencia significativa entre muestras. Prueba *t* (p<0.05).

Perfil fenólico y capacidad antioxidante del queso adicionado con microcápsulas de compuestos bioactivos de la testa de frijol Negro San Luis. Se determinaron algunos compuestos fenólicos con capacidad antioxidante (Cuadro 2) en los quesos evaluados, así como en las microcápsulas (MCBT) que se utilizaron como ingrediente funcional en este estudio.

El queso adicionado con las MCBT presentó mayor contenido de fenoles totales y antocianinas que el queso comercial (Cuadro 2). Sin embargo, no se detectaron flavonoides totales ni taninos condensados en ningún queso. Esto puede deberse a que estos compuestos forman complejos con las proteínas que impiden su detección (Adamczyk et al., 2017). Como era de esperarse, las microcápsulas presentaron el mayor contenido de todos estos compuestos.

Además, se detectó la presencia de ácido siríngico y epicatequina en el encapsulado, pero no en los quesos (Cuadro 2). Con respecto a la capacidad para transferir protones a radicales libres (TEAC) fue 79 % mayor en el queso adicionado respecto al queso testigo, mientras que fue 22 % menor a las microcápsulas (Cuadro 2). Por otra parte, la capacidad para apagar radicales de oxígeno (ORAC), fue 1.4 veces mayor en el queso adicionado con las MCBT en comparación con el queso testigo y, como era de esperarse, fue significativamente mayor en las microcápsulas.
Estos resultados demuestran que se pueden usar las microcápsulas como vehículo de compuestos nutracéuticos en alimentos como el queso fresco, lo que se traduce en el uso del frijol para obtener ingredientes funcionales.

Cuadro 2. Composición fenólica (mg/100g) y capacidad antioxidante (mμ TE/g) de las microcápsulas de extractos de la testa y en quesos frescos.

Compuesto	MCBT	Queso testigo	Queso fortificado
Composición fenólica			
FT	3579 ± 227[a]	41 ± 1.9[c]	59 ± 0.9[b]
AT	3457 ± 51[a]	221 ± 18.3[c]	584 ± 31[b]
FLT	1102 ± 23	ND	ND
TC	694 ± 46	ND	ND
Ácidos fenólicos (HPLC)			
Siríngico	617 ± 9	ND	ND
Epicatequina	728 ± 18	ND	ND
Capacidad antioxidante			
TEAC	344 ± 26[a]	151 ± 6[c]	270 ± 10.2[b]
ORAC	1732 ± 13[a]	28 ± 1[c]	38 ± 0.9[b]

Letras diferentes en el mismo renglón son estadísticamente significativas ($p < 0.05$). MCBT: microcápsulas de compuestos bioactivos de la testa de frijol. FT: fenoles totales, AT: antocianinas, FLT: flavonoides totales, TC: taninos condensados, ND: no detectado.

Conclusiones

Se empleó la producción de microcápsulas por secado por aspersión a partir de extractos de compuestos bioactivos de la testa de frijol, variedad Negro San Luis, como una alternativa para el uso del frijol como ingrediente funcional. De esta manera, se buscó la agregación de valor del cultivo, con la finalidad de aumentar la competitividad del mismo. En este estudio, se propuso la elaboración de queso fresco como vehículo de dichas microcápsulas, de tal manera que se observó un aumento en la calidad nutricional y nutracéutica de los quesos adicionados con las MCBT, en comparación con el testigo (queso comercial), por lo que se puede sugerir esta tecnología para el uso de ingredientes funcionales a partir del frijol para la agregación de valor.

Referencias

[AOAC] Association of Official Analytical Chemists. (2002). Official methods of analysis. 17th ed. Arlington, Va.: AOAC.

Adamczyk, B., Simon, J., Kitunen, V., Adamczyk, S., & Smolander, A. (2017). Tannins and Their Complex Interaction with Different Organic Nitrogen Compounds and Enzymes: Old Paradigms versus Recent Advances. ChemistryOpen, 6(5), 610–614. https://doi.org/10.1002/open.201700113

CIMMYT. (2023). Frijol, una legumbre que da identidad a los pueblos de México. Consultado el 25 de agosto de 2024. https://www.cimmyt.org/es/noticias/frijol-una-legumbre-que-da-identidad-a-los-pueblos-de-mexico/

Cruz-Bravo, R. K., Guajardo-Flores, D., Gómez-Aldapa, C. A., Castro-Rosas, J., Navarro-Cortez, R. O., Díaz-Batalla, L., & Falfán-Cortés, R. N. (2023). Spray-dried microencapsulation of bean coat flour (Phaselus vulgaris, L.) bioactive compounds: optimization, functional activity, and storage. CyTA - Journal of Food, 21(1), 493–501. https://doi.org/10.1080/19476337.2023.2226186

Damián-Medina, K., Milenkovic, D., Salinas-Moreno, Y., Corral-Jara, K. F., Figueroa-Yáñez, L., Marino-Marmolejo, E., & Lugo-Cervantes, E. (2022). Anthocyanin-rich extract from black beans exerts anti-diabetic effects in rats through a multi-genomic mode of action in adipose tissue. Frontiers in nutrition, 9, 1019259. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1019259

Durán Aguero, Samuel & Torres, Jairo. (2015). Consumo de queso y lácteos y enfermedades crónicas asociadas a obesidad, ¿amigo o enemigo? Nutrición hospitalaria: órgano oficial de la Sociedad Espanola de Nutricion Parenteral y Enteral. 32. 61-68.

INCAP (Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá). 2012. Tabla de Composición de Alimentos de Centro América. Guatemala. 2 ° ed. 126p.

Khoddami, A., Wilkes, M. A., & Roberts, T. H. (2013). Techniques for analysis of plant phenolic compounds. Molecules (Basel, Switzerland), 18(2), 2328–2375.

Lara Flores, M. (2015). "El cultivo del frijol en México " Revista Digital Universitaria [en línea]. Vol. 16, No.2 [Consultada: 25 de agosto de 2024]. Disponible en Internet: <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num2/art09/index.html> ISSN: 1607-6079. https://doi.org/10.3390/molecules18022328

Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A Review. International journal of molecular sciences, 22(7), 3380. https://doi.org/10.3390/ijms22073380

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL MEDIANTE EL RECONOCIMIENTO DE DIENTE DE AJO PARA REORIENTACIÓN DEL ÁPICE

Mario P. Narváez Mendoza*, Carlos Rojas Santillán, Sergio Alejandro Juárez Torres

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Pabellón, Km 32.5 Carretera Panamericana Aguascalientes-Zacatecas, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. *Autor de correspondencia: narvaez.mario@inifap.gob.mx

Introducción

El ajo es cultivado globalmente y tiene un valor nutricional y medicinal muy importante. Es un condimento indispensable en la cocina mexicana. Durante el año agrícola 2015 la producción nacional de ajo fue de 58,757 toneladas, 7.4% superior a los obtenido el año previo. Por su relevancia en la cocina mexicana, el campo de nuestro país destinó en 2015 un total de 5,642 hectáreas para la siembra de ajo de donde se obtuvieron casi 60 mil toneladas de este cultivo. El estado de Zacatecas aportó más del 50% de la producción y junto con Guanajuato y Baja California colaboró con tres cuartas partes del volumen nacional (SIAP, 2024). El ajo requiere gran cantidad de mano de obra, lo que incrementa sus costos de producción (Calderón-Reyes et al.,2003). La siembra manual es una tarea que requiere mano de obra con cierto nivel de capacitación y experiencia para colocar la semilla a una profundidad y en una posición adecuada. Por lo que el método de siembra y posición de la semilla da como resultado una buena germinación y desarrollo de la planta (Bernard et al., 1989; García, 1990). Es por ello que explorar soluciones alternativas como la visión artificial permite ver una brecha de oportunidad para automatizar dicho proceso. El objetivo de esta investigación fue realizar un sistema de reconocimiento de imágenes con visión artificial y un prototipo que permite localizar y reorientar el ápice del ajo. El análisis de imágenes de dientes de ajo, fueron capturadas con una cámara bajo condiciones de iluminación distintas, mediante el entrenamiento de un modelo de Inteligencia Artificial (IA) para la detección y acomodo adecuado en siembra de la semilla de ajo.

Materiales y métodos

En este trabajo se utilizaron 30,000 diferentes tipos de imágenes de dientes de ajo obtenidas con una cámara Steren Web USB Full HD, estás se procesaron con varios filtros, fondos, textura e iluminación (Figura 1). Se sometieron a una herramienta de anotación gráfica de imágenes llamada LabelImg en Linux, para marcar regiones de interés con las clases de objeto correspondientes para el entrenamiento del modelo (Luangaphirom et al., 2024).

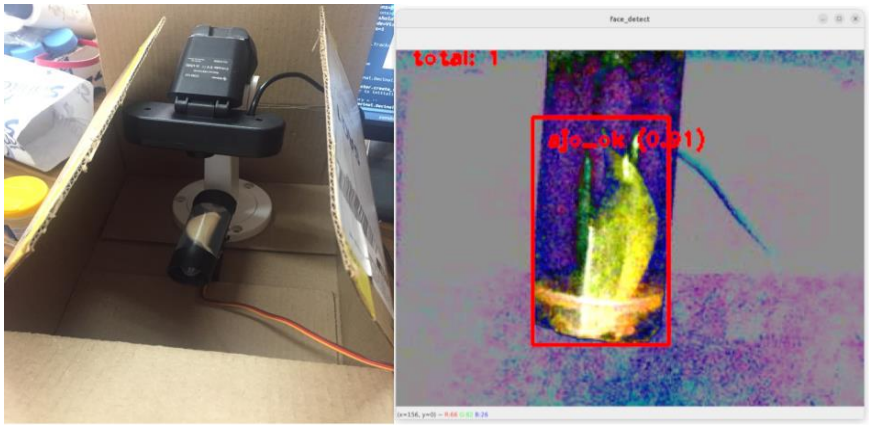


Figura 1. Cámara y filtros.

Con el set de datos o etiquetado almacenado como un archivo Extensible Markup Language (XML) en formato PASCAL VOC, se entrenó el sistema de detección del diente de ajo por medio de la red neuronal convolucional Mediapipe Model Maker, PyTorch Vision y Tensorflow (Indriani,Harris, M., & Agoes, A. S. 2021). Estas herramientas ayudaron a que aprendiera a detectar diferentes características de una imagen, como la posición vertical-horizontal del diente de ajo, donde se obtiene una habilidad del modelo, a lo anterior se adicionó al sistema un dispositivo electrónico en Arduino Mega 2560 para la re-dirección de la posición del diente de ajo a través de una cámara en tiempo real, permitiendo que pasé por un tubo después de decidir la posición correcta de la semilla. Asimismo, se programó el movimiento de un servomotor para girar la semilla del ajo a la posición adecuada de siembra (Figura 2).

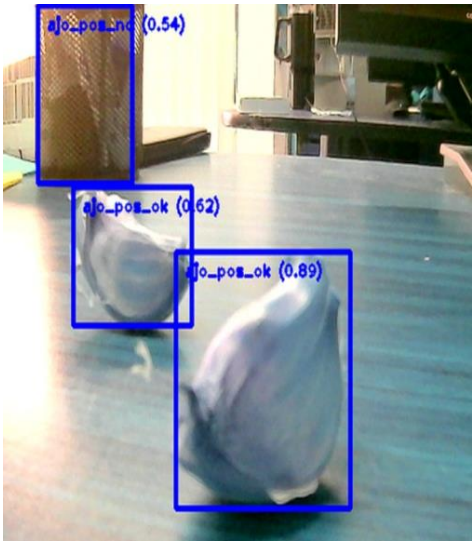


Figura 2. Resultados preliminares e identificación.

Resultados y discusión

Los resultados observados por medio de la cámara web mostraron un porcentaje métrico bajo de certidumbre (20% – 50%), así como el etiquetado incorrecto de los objetos detectados (Figura 2). Por lo que al entrenar el modelo con la herramienta Mediapipe Model Maker e imágenes generadas en formato “PASCAL VOC”, los resultados tuvieron una mejora significativa de porcentaje métrico de 50% al 90% en la detección de objetos en tiempo real mediante la cámara web (Figura 3).

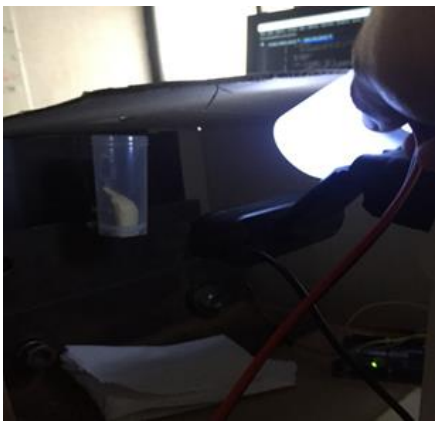


Figura 3. Visión artificial mediante cámara.

Al mismo tiempo, durante el entrenamiento con YOLO (You Only Look Once), el cual se encargó de la predicción en tiempo real de las dos posiciones del diente y dado que el porcentaje de certidumbre del modelo no fue suficiente, se eliminó el tubo reduciendo así la dificultad de detección a través del mismo. Se creó una superficie donde el ajo cae de manera horizontal, es sostenido por un servomotor que se encarga de hacerlo girar 90 grados dependiendo de la posición detectada (Figura 4).

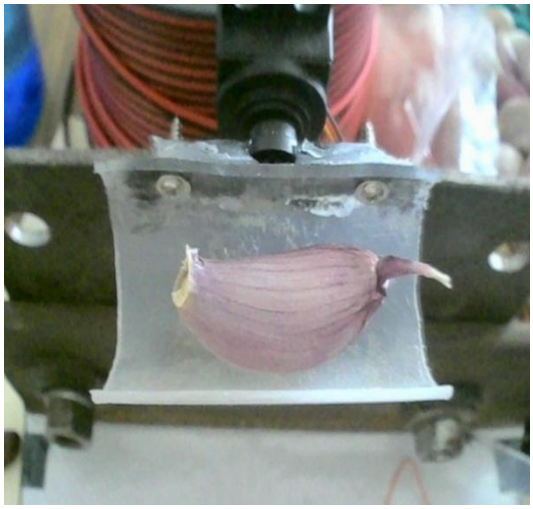


Figura 4. Mecanismo para posicionar el ajo.

En la Figura 5 se muestra la integración del entrenamiento de las redes neuronales convolucionales con la tarjeta Arduino y el Servomotor. Donde cada vez que la cámara mostraba el diente de ajo, más la raíz, mandaba una señal de giro hacia el servomotor, para que éste girara en sentido a favor o contrario de las manecillas de reloj.

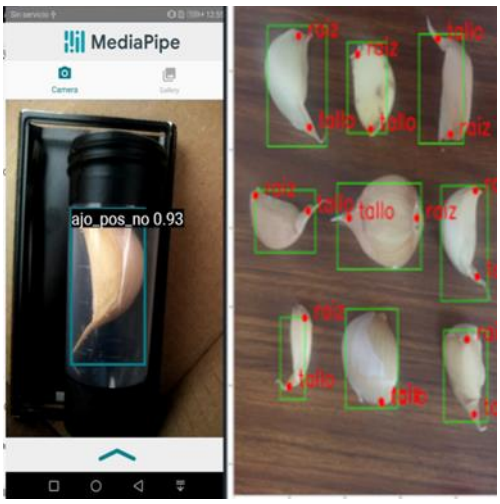


Figura 5. Integración sistema de reconocimiento de diente de ajo.

Conclusiones

Podemos concluir que el sistema propuesto tuvo una habilidad del 50 al 90%. Según, en los resultados observados durante el funcionamiento con la cámara usando el modelo de YOLO que es un sistema de código abierto para detección de objetos en tiempo real, lo que mejoró considerablemente la confiabilidad, aún y a pesar de que la información suele arrojar falsos positivos, aunque en menor cantidad a los reales. Para solucionar esto, se implementó una corrección en la parte de programación de conteo de al menos 20 detecciones consecutivas. Se comparó constantemente la cantidad de posiciones, eligiendo aquella con un mayor porcentaje de apariciones para enviar la señal correcta a la tarjeta Arduino Mega que girará el servomotor 90 grados en la dirección adecuada para colocar la semilla de ajo en la posición de siembra correcta. Esto servirá para implementarlo en un módulo de siembra semi-automático a corto plazo para ser validado en campo.

Referencias

Bernard J., J. C. Garcia L., A. Torregrosa M. & L. Val M. (1989). Experiencias de plantación de ajo. In: Memoria del XXI Conferencia Internacional de Mecanización Agraria. 23 FIMA. Zaragoza, España. pp: 275-281.

Calderón-Reyes, E.; Serwatowski, R.; Cabrera-Sixto J. M. y Gracia-López C. 2003. Siembra mecanizada del ajo: métodos y equipos. Agrociencia, 37: 483-493.

Indriani & Harris, Moh & Agoes, Ali. (2021). Applying Hand Gesture Recognition for User Guide Application Using MediaPipe. 10.2991/aer.k.211106.017.

Luangaphirom, T., Lueprasert, S., Kaewvichit, P. et al. (2024). Real-time weight training counting and correction using MediaPipe. Adv. in Comp. Int. 4, 3. https://doi.org/10.1007/s43674-024-00070-w.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), S. (s/f). *El ajo en la mesa y en la salud*. gob.mx. Recuperado el 01 de agosto de 2024, de https://www.gob.mx/siap/articulos/el-ajo-en-la-mesa-y-en-la-salud.

CALIDAD DE FRUTO EN SELECCIONES DE DURAZNERO EN AGUASCALIENTES

Manuel Antonio Galindo-Reyes[1], Valentín Melero Méraz[2]; Mayra Denisse Herrera[2], Orlando Ramírez Valle[3], José Carlos Monárrez-González[4]

[1]INIFAP - Campo Experimental Pabellón. [2]INIFAP - Campo Experimental Zacatecas. [3]INIFAP - Sitio Experimental Cuauhtémoc. [4]INIFAP - Campo Experimental Valle de Guadiana. * Autor de correspondencia: galindo.manuel@inifap.gob.mx.

Introducción

En México, durante el año 2023 se cultivaron poco más de 34 mil hectáreas de duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch.] para diferentes destinos de la producción. Los principales estados en superficie cultivada son Zacatecas, Puebla, Michoacán, entre otros (SIAP, 2024).

En Aguascalientes, el cultivo del duraznero ocupa el tercer lugar entre los frutales, con una superficie de 390 hectáreas, un rendimiento medio de 18 toneladas/hectárea, un precio medio rural de 15,386 pesos/tonelada y un valor de la producción de 108.3 millones de pesos (SIAP, 2024). Adicionalmente, este frutal es importante por ser fuente de empleo en el medio rural, ya que ocupa más de 265 jornales/hectárea/año, y por la derrama económica que genera en el estado (Gutiérrez et al., 2008).

En nuestro país, aún existe amplia dependencia tecnológica en varios cultivos agrícolas. En este sentido, en el cultivo de duraznero, algunas variedades y portainjertos empleados en México proceden de programas de mejoramiento de EEUU, Italia, Francia, España, entre otros, lo que ha provocado alta dependencia tecnológica. Una segunda desventaja de utilizar variedades o portainjertos importados es que rara vez se adaptan bien a nuestras condiciones propias de suelo, de clima y de mercado de la región en cuestión, por lo que es indispensable contar con variedades generadas en nuestro país (Cantín et al., 2009).

La selección es un método de mejoramiento de especies frutales, que consiste en identificar individuos o plantas sobresalientes, asumiendo que las plantas que provienen de semilla pueden tener amplia variabilidad genética y empleando alguna característica deseada como criterio de selección. En Aguascalientes, el duraznero se ha propagado por semilla y se ha detectado plantas heterogéneas (70 %) en cuanto a épocas de floración, brotación y maduración, así como en la cantidad y calidad del fruto, entre otros aspectos (Gutiérrez et al., 2008). Con base en lo anterior se ha aprovechado la amplia variabilidad observada en el durazno para desarrollar programas de mejoramiento genético en este estado de la república.

En el Campo Experimental Pabellón (CEPAB) que ubica en el estado de Aguascalientes, hasta antes del año 2007 existió un programa de mejoramiento en duraznero, donde se generaron diversas selecciones y variedades. Ante esta situación surge la necesidad de evaluar las variedades y selecciones generadas en el CEPAB y otros genotipos traídos de otras regiones con el fin de disponer de variedades de manera comercial o para iniciar un programa de mejoramiento. Por este motivo, esta investigación tiene como objetivo presentar resultados de la calidad de fruto de tres selecciones de duraznero durante dos años continuos.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en un huerto pequeño 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). También, el suelo de dicho huerto tenía una concentración de 94.2 ppm de N-NO3, 85.6 ppm de P-Bray y 1,178 ppm de K, en la etapa de letargo. El clima que predomina 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 tres genotipos durante dos años continuos (2023 y 2024). Los tres genotipos en estudio 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.

En primera instancia, el huerto se estableció con 14 genotipos de duraznero con árboles que provenían de plantas propagadas mediante estaca sin injertar, durante mes de marzo del año 2010, pero en esta evaluación únicamente se presentan resultados de tres selecciones sobresalientes de duraznero. La plantación se realizó a una distancia de 5 x 4 metros para líneas y plantas, respectivamente; y las hileras se orientaron de Este-Oeste. Todos los árboles se condujeron en vaso o 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. 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 80-20-20-30-20-30 unidades de N, P_2O_5, K_2O, 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 ciclo 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 arboles recibieron practicas agronómicas de acuerdo con el manejo comercial de la región como fue el control de maleza, de plagas y de enfermedades.

En el momento de la cosecha se tomaron 10 frutos representativos por cada árbol o unidad experimental. Posteriormente, a los frutos cosechados anteriormente se les estimó el diámetro ecuatorial y diámetro polar, el peso de cada uno, la firmeza, los grados brix, finalmente se les retiró la pulpa del hueso y se pesaron por esperado. La cosecha se hizo conforme ocurrió la madurez comercial en cada selección, desde junio hasta agosto. La información se analizó calculando el promedio de todas las selecciones en cada variable.

Resultados y discusión

En general, en duraznero los tamaños del fruto dependen de varios factores como variedad, clima, manejo agronómico, entre otras cosas. Al respecto, Gutiérrez et al. (2008) señalan que la planta de durazno produce frutos con mayor peso cuando carga un menor número de frutos por planta.

Tamaño del fruto. El peso promedio por fruto de las selecciones evaluadas fluctuó entre 90 y 120 gramos (Cuadro 1). Estos pesos de fruto son valores de peso excelente para la comercialización, ya que que el mercado demanda frutos de durazno superiores a 120 g (Gutiérrez et al., 2008). No obstante, de manera general, el mercado del duraznero acepta frutos con un peso promedio de fruto superiores a 50 gramos libres de daños y deformaciones, por lo que la mayoría de los frutos producidos por las tres selecciones entran perfectamente en el rango de frutos comerciales demandados.

La Selección 6 superó de manera consistente al resto de las selecciones en el peso de fruto durante la evaluación (Cuadro 1), por lo tanto, este genotipo se puede considerar como un buen material potencial para producción de fruto en el estado de Aguascalientes. Es importante señalar que Selección 6 presentó el mayor peso de fruto que las Selecciones 2 y 4 (Cuadro 1), eso se debe en parte a que posiblemente los arboles de la Selección 6 hayan producido menos frutos, condición que coincide con lo reportado por Gutiérrez et al. (2008).

Cuadro 1. Peso de fruto y de hueso, diámetro polar y ecuatorial en selecciones de duraznero en el estado de Aguascalientes.

Genotipo	Peso fruto (g)	Peso de hueso (g)	D. polar (mm)	D. ecuatorial (mm)
Selección 6	117.00	4.60	56.38	59.46
Selección 2	96.39	4.82	52.86	55.55
Selección 4	87.75	4.23	45.85	56.79

Con relación al diámetro del fruto, el diámetro polar varió entre 45.8 y 56.4 mm, y el diámetro ecuatorial osciló entre 55.5 y 59.5 mm (Cuadro 1); estos valores corresponden a la categoría comerciales de Extra (60 mm) y Primera (50 mm), esto indica una buena calidad de fruto en cuanto a tamaño. Estas categorías de fruto representan el fruto de mayor demanda en el mercado y por lo tanto estas mismas categorías proporcionan mayor ganancia para el productor de duraznero (Gutiérrez et al., 2008).

Por otro lado, nuevamente la Selección 6 manifestó mayor respuesta que las demás selecciones en evaluación en los diámetros de fruto (Cuadro 1), lo que puede confirmar que a menor número de frutos por árbol mayor tamaño del mismo.

Calidad del fruto. El peso de pulpa varió las selecciones en cuestión, así se detectó un mínimo 83.5 gramos y un máximo de 112.5 gramos por fruto (Cuadro 2). De manera general, el máximo peso de pulpa de fruto coincide con el mayor peso del fruto (Cuadro 2 y Figura 1), por lo que el peso de la pulpa del fruto lo determina en gran medida el peso del fruto.

La Selección 2 presentó la mayor producción de pulpa de manera consistente en la evaluación, ya que esta selección produjo más de 112 gramos por fruto. Mientras, que la Selección 4 fue la mostró la menor producción de pulpa por fruto (Cuadro 2), ya que sólo produjo 83.5 gramos por fruto.

Cuadro 2. Peso de pulpa, firmeza y solidos solubles totales de selecciones de duraznero en el estado de Aguascalientes.

Genotipo	Peso pulpa (g)	Firmeza (kg/cm^2)	SST (grados brix)
Selección 6	112.40	5.20	13.21
Selección 2	91.57	3.70	12.42
Selección 4	83.52	3.79	11.92

Por otro lado, la firmeza fluctuó entre 3.7 y 5.2 kg/cm^2; y los sólidos solubles totales oscilaron entre 11.9 y 13.2 (Cuadro 2). En este sentido, la Selección 6 presentó frutos más firmes y más dulces que las Selecciones 2 y 4 (Cuadro 2). De acuerdo con lo anterior, la Selección 6 es candidato potencial para liberarse como variedad comercial en el corto plazo y cultivarse en el estado Aguascalientes y sur del estado de Zacatecas.

Finalmente, en el Figura 1 se observa una alta asociación (R^2=0.99) entre el peso del fruto y el peso de la pulpa; es decir, que el peso de la pulpa depende fuertemente del tamaño del fruto. De acuerdo con lo anterior, se puede afirmar que el peso de la pulpa se incrementa en una proporción aproximada de 1 gramo por cada 1 gramo de incremento del peso del fruto. Esta asociación es muy importante tanto para el mercado en fresco como para el mercado de la industria.

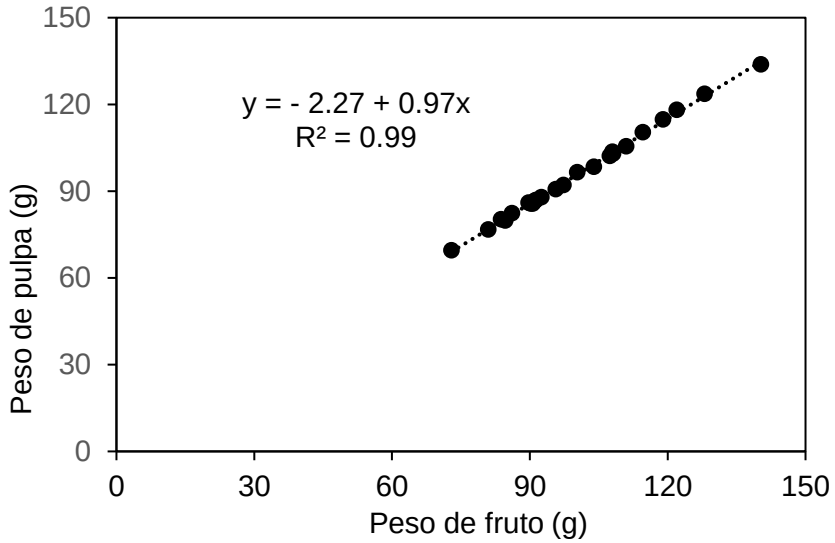


Figura 1. Relación entre peso del fruto y peso de pulpa en selecciones de duraznero en el estado de Aguascalientes.

Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos se concluye que la Selección 6 produce frutos con mayor calibre y más pesados. También, genera frutos con más pulpa, más firmes y dulces que las demás selecciones en evaluación.

Referencias

Cantín, C. M., Gogorcena, Y. and Moreno, M. Á. (2009). Analysis of phenotypic variation of sugar profile in different peach and nectarine [Prunus Persica (L.) Batsch] breeding progenies. Journal of the Science of Food and Agriculture 89:1909-1917.

Gutiérrez-Acosta, F., J. Padilla-Ramírez y L. Reyes-Muro. 2008. Fenología, producción y características de fruto de selecciones de durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch) 'Ana' en Aguascalientes. Revista Chapingo. Serie Horticultura 14: 23-32.

Medina, G. G.; Maciel, P. L. H.; Ruiz, C. J. A.; Serrano, A. V. y Silva, S. M. M. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Aguascalientes (periodo 1961-2003). INIFAP. Campo Experimental Pabellón, Fundación Produce, Aguascalientes. Libro técnico núm. 2. SAGARPA.

Osuna-Ceja, E. S., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, J. S., Rosales-Serna, R., Martínez-Gamiño, M. A., Acosta-Gallegos, J. A. y Figueroa-Sandoval, B. 2013. Rendimiento de genotipos de frijol con diferentes métodos de siembra y riego-sequía en Aguascalientes. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4:1209-1221.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Cierre de la producción agrícola por estado: uva. SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). In: www.siap.gob.mx. Consultado en línea el 20 de agosto de 2023.

REQUERIMIENTO DE FRIO Y DE CALOR PARA FLORACIÓN EN SELECCIONES DE DURAZNERO EN AGUASCALIENTES

Manuel Antonio Galindo-Reyes[1], Valentín Melero Méraz[2]; Mayra Denisse Herrera[2], Orlando Ramírez Valle[3], José Carlos Monárrez-González[4]

[1]INIFAP-Campo Experimental Pabellón. [2]INIFAP-Campo Experimental Zacatecas. [3]INIFAP-Sitio Experimental Cuauhtémoc. [4]INIFAP-Campo Experimental Valle de Guadiana. Email: galindo.manuel@inifap.gob.mx.

Introducción

En nuestro país, para el año 2023 se cultivaron poco más de 34 mil hectáreas de duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch.]. Los estados que sobresalen en superficie cultivada son Zacatecas, Michoacán, Puebla, Chihuahua y Chiapas, entre otros (SIAP, 2024). Con relación al valor de la producción del fruto de durazno para el año 2023 destacan los estados de Zacatecas, Chihuahua, Michoacán, Puebla y México (SIAP, 2024).

Aguascalientes, el cultivo del duraznero ocupa el tercer lugar de los frutales más cultivados, con una superficie superior a 390 hectáreas, un rendimiento promedio de 18 toneladas/hectárea, un precio promedio rural de 15,386 pesos/tonelada y un valor de la producción de más de 108.3 millones de pesos (SIAP, 2024). Además, esta especie frutal es muy importante por ser fuente de empleo, ya que ocupa más de 265 jornales/hectárea/año, y también, por la derrama económica que genera en el estado (Gutiérrez et al., 2008).

En duraznero, existen caracteres regulados por pocos genes como el color de la pulpa, el tipo de flor, la adherencia de la pulpa al hueso, entre otros. También, existen caracteres controlados por varios genes como requerimiento de frio, momento de floración y madurez, peso del fruto, entre otros. En este sentido, los árboles frutales de hoja caduca poseen un período de letargo entre los ciclos vegetativos o activos. Para salir del letargo invernal, las yemas deben acumular primero frío (endoletargo) y luego calor (ecoletargo) (Chaar y Astorga, 2012).

En frutales caducifolios existen diversos métodos para estimar las necesidades de calor y de frio para la salida del letargo invernal, en condiciones de campo (Alonso et al., 2005). Sin embargo, debido principalmente a la falta de conocimiento sobre los mecanismos bioquímicos y fisiológicos que controlan el requerimiento de frío, la mayoría de los métodos se han desarrollado empírica o matemáticamente para determinar el requerimiento térmico de los frutales (Fan et al., 2010). Finalmente, si bien no hay un límite abrupto entre los períodos de acumulación de frío y de acumulación de calor, puede considerarse que el inicio del ecoletargo ocurre cuando las bajas temperaturas retrasan la fecha de floración (Alonso et al., 2005).

En el Campo Experimental Pabellón (CEPAB), hasta antes del año 2007 existió un programa de mejoramiento en duraznero, donde se generaron algunas selecciones y variedades. Ante esta situación surge la necesidad de evaluar las variedades y selecciones generadas en el CEPAB y otros genotipos traídos de otras regiones con el fin de disponer de información sobre las necesidades térmicas de los genotipos de duraznero. Por tal motivo, esta investigación tiene como objetivo determinar el requerimiento de frio y calor, necesarios para alcanzar la floración plena en selecciones de duraznero durante dos años continuos.

Materiales y métodos

El trabajo de investigación se desarrolló en un huerto pequeño de duraznero que se encuentra 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). También, el suelo de dicho huerto tenía una concentración de 94.2 ppm de N-NO3, 85.6 ppm de P-Bray y 1,178 ppm de K, en la etapa de letargo. El clima que predomina 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 dos años continuos (2023, 2024). Los 10 genotipos o accesiones en estudio 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 de duraznero.

En un principio, el huerto se estableció con 14 genotipos de duraznero con árboles que provenían de plantas propagadas mediante estaca de madera dura, sin injertar, durante el 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 vaso o copa, dejando entre cuatro o cinco ramas principales para favorecer la entrada de luz y soportar la carga de los frutos y las hojas.

Con relación al manejo agronómico, el huerto se fertilizó de considerando el requerimiento nutrimental del frutal, aportación nutrimental de agua de riego y del suelo, así resultó la dosis de 80-20-20-30-20-30 unidades de N, P_2O_5, K_2O, CaO, MgO y S, respectivamente; con aplicaciones fraccionadas de por lo menos cuatro ocasiones al año, de acuerdo con la etapa fenológica. El riego se proporcionó por gravedad, 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 arboles recibieron practicas agronómicas de acuerdo con el manejo comercial de la región como fue el control de maleza, de plagas y de enfermedades.

La floración plena se determinó mediante la estimación visual a nivel de planta entera del 50% de flores abiertas. Esta actividad se hizo para cada cuatro plantas por genotipo durante dos años de estudio.

La temperatura del aire horaria se registró mediante una estación meteorológica automática ubicada a escasos 200 m del huerto experimental de Inifap, desde el 15 de octubre hasta el 15 de marzo para los dos años de estudio.

La estimación de la fecha de transición entre endoletargo y ecoletargo se realizó mediante regresiones de polinomiales de segundo orden. Para ello se calcularon las unidades frio mediante el método de bajo frio de Florida y las unidades calor o grados día desarrollo mediante el método residual utilizando una temperatura base de 4 °C, para el periodo de tiempo estudiado. Posteriormente, se asociaron los días julianos con las unidades frio, los días julianos con los grados día desarrollo y se integraron en una sola gráfica. Finalmente, se asumió que el inicio del ecoletargo ocurrió cuando se alcanzó la tasa máxima de unidades frio y cuando se alcanzó la tasa mínima de calor o grados día desarrollo.

La cuantificación del requerimiento de frio se estimó desde el 15 de octubre hasta que se llegó a la floración plena; en tanto que, el requerimiento de calor se determinó desde el inicio del ecoletargo y se contabilizó el calor necesario para llegar a la floración plena.

La información se analizó y se presenta calculando el promedio de requerimiento de frio y de calor de todas las selecciones en cuestión.

Resultados y discusión

La determinación de los requerimientos de frío y de calor del duraznero y su relación con las condiciones de temperatura horaria del aire, permiten predecir la salida del letargo del árbol, la ocurrencia de la floración plena y posiblemente la fenología completa a lo largo del ciclo del duraznero.

Requerimiento de frio. Las unidades frio promedio acumuladas por las selecciones de duraznero evaluadas fluctuaron entre 621 y 658 (Figura 1). Estos valores de unidades frio acumuladas son superiores al promedio histórico, ya que las unidades promedio de la región fluctúan entre 300 y 400 estimadas mediante el método de bajo frio de Florida, lo anterior se atribuye que el otoño-invierno del año 2023 y 2024 fue bastante fresco y húmedo y ello favoreció una alta acumulación de frio en la región.

La Selección 4 expresó su floración plena cuando se habían acumulado un promedio de 621 unidades frio; en cambio, el resto de selecciones presentaron la floración plena cuando acumularon ligeramente más de 621 unidades frio promedio (Figura 1). Esto sugiere que todas las selecciones de duraznero evaluadas requieren similar requerimiento de frio, ya que la floración ocurrió cuando se acumularon unidades frio similares.

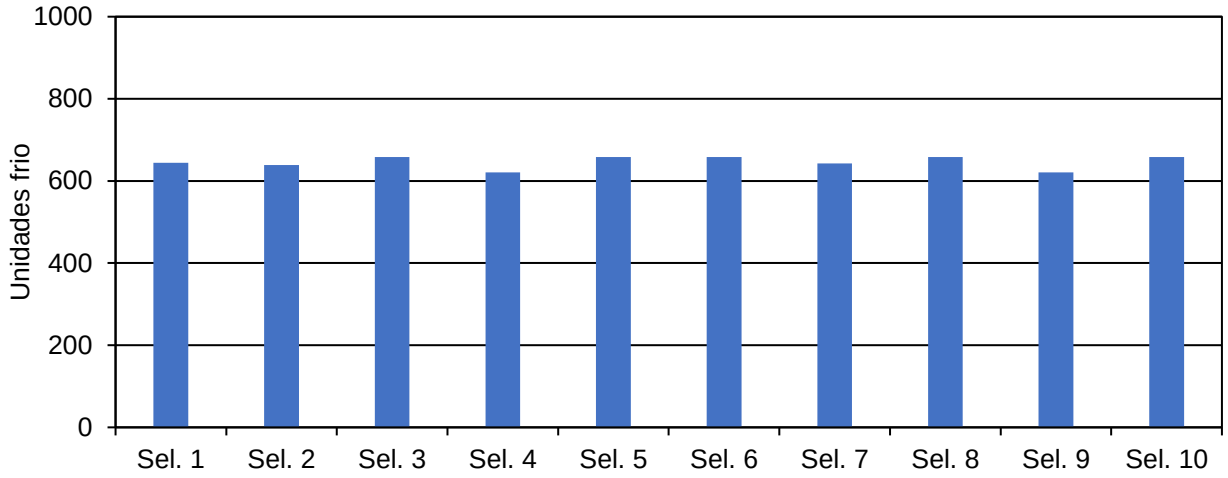


Figura 1. Unidades frío acumuladas en selecciones de duraznero en el estado de Aguascalientes.

Requerimiento de calor. La acumulación de calor expresado como grados día desarrollo de las selecciones de duraznero para alcanzar la floración plena varió ampliamente, así se encontró un mínimo de 377 y un máximo 752 grados días desarrollo (Figura 2). La máxima acumulación de calor correspondió a la Selección 6 y la mínima acumulación de calor correspondió a la Selección 4; en otras palabras, la Selección 6 presentó floración más tardía que la Selección 4 y esta tendencia se mantuvo hasta la cosecha, ya que la Selección 4 siempre presenta la cosecha más precoz que todos los genotipos evaluados.

De acuerdo con los requerimientos de frio y de calor encontrados en esta investigación en las selecciones de duraznero en esta región se puede deducir que la fecha de ocurrencia de floración plena se afecta más por el calor que por el frio. En decir, existe más variabilidad entre los genotipos para el requerimiento de calor que para el requerimiento de frio para alcanzar la floración plena.

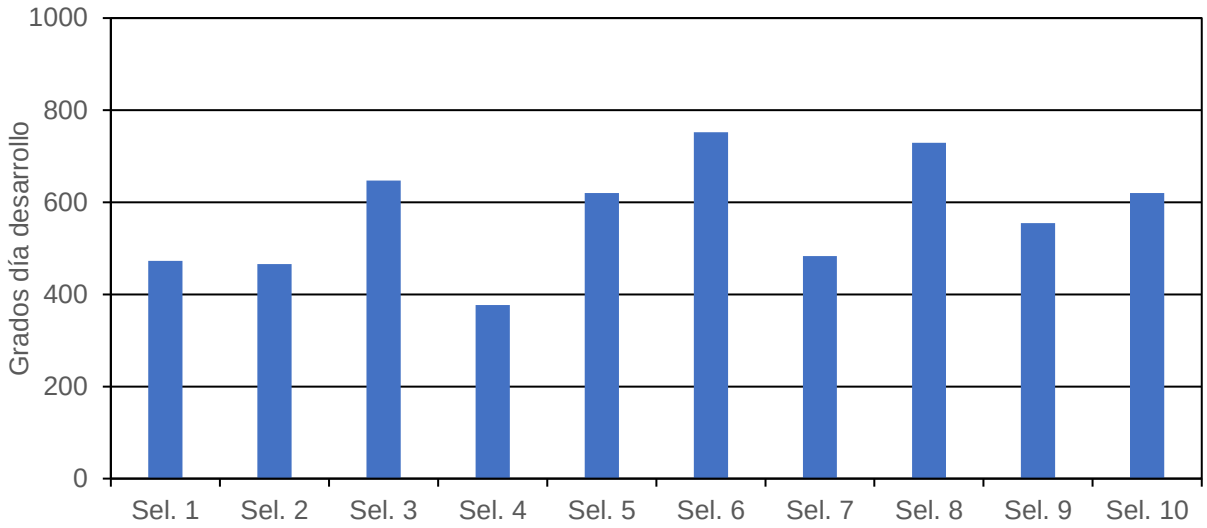


Figura 2. Grados día desarrollo de selecciones de duraznero en el estado de Aguascalientes.

Finalmente, es importante mencionar que la Selección 4 responde mejor al clima de la región o es más estable al ambiente de la región debido a que requiere justamente las unidades frio y grados día que se acumulan durante el otoño-invierno. Evidencia de lo anterior, es que este genotipo año con año amarra y produce frutos de manera similar; además, madura los frutos consistentemente en la fecha. En cambio, el resto de genotipos se pueden cultivar en regiones con mayor acumulación de frio durante el otoño-invierno.

Conclusiones

Las selecciones de duraznero evaluadas teóricamente requieren el mismo frio para alcanzar la floración plena.

Las Selección 4 requiere menor calor o menores grados días desarrollo que el resto de selecciones.

Es posible que la Selección 4 se adapte a las condiciones de clima de la región en comparación con las demás selecciones.

Referencias

Alonso J. M., Anson J. M., Espiau M. T., Socias I. R. 2005. Determination of endodormancy break in almond flower buds by a correlation model using the average temperature of different day intervals and its application to the estimation of chill and heat requirements and blooming date. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 130:308-318.

Chaar, J., y Astorga, D. 2012. Determinación del requerimiento de frío y de calor en duraznero [Prunus persica (L.) Batsch.] mediante un modelo de correlación. Revista de investigaciones agropecuarias 38:289-298.

Fan S., Bielenberg D. G., Zhebentyayeva T. N., Reighard G. L., Okie W. R., Holland D. and Abbott A. G. 2010. Mapping quantitative trait loci associated with chilling requirement, heat requirement and bloom date in peach (*Prunus persica*). New Phytoligist 85:917-30.

Medina, G. G.; Maciel, P. L. H.; Ruiz, C. J. A.; Serrano, A. V. y Silva, S. M. M. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Aguascalientes (periodo 1961-2003). INIFAP. Campo Experimental Pabellón, Fundación Produce, Aguascalientes. Libro técnico núm. 2. SAGARPA.

Gutiérrez-Acosta, F., J. Padilla-Ramírez y L. Reyes-Muro. 2008. Fenología, producción y características de fruto de selecciones de durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch) 'Ana' en Aguascalientes. Revista Chapingo. Serie Horticultura 14: 23-32.

Osuna-Ceja, E. S., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, J. S., Rosales-Serna, R., Martínez-Gamiño, M. A., Acosta-Gallegos, J. A. y Figueroa-Sandoval, B. 2013. Rendimiento de genotipos de frijol con diferentes métodos de siembra y riego-sequía en Aguascalientes. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4:1209-1221.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. Cierre de la producción agrícola por estado: durazno. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Gobierno de México. *In*: www.siap.gob.mx. Consultado en línea el 20 de agosto de 2024.

BROTACIÓN DE ESTACAS DEL PORTAINJERTO HÍBRIDO GARNEM

Manuel Antonio Galindo-Reyes[1], Valentín Melero Méraz[2]; Mayra Denisse Herrera[2], Orlando Ramírez Valle[3]

[1]INIFAP-Campo Experimental Pabellón. [2]INIFAP-Campo Experimental Zacatecas. [3]INIFAP-Sitio Experimental Sierra de Chihuahua. *Autor de correspondencia: galindo.manuel@inifap.gob.mx.

Introducción

En la república mexicana, durante el año 2023 se cultivaron cerca de 34 mil hectáreas de duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch]. Los estados que sobresalieron en superficie cultivada fueron Zacatecas, Michoacán, Puebla, Chihuahua y Chiapas, entre otros (SIAP, 2024). Con relación al valor de la producción del fruto de durazno para el año 2023 destacaron los estados de Zacatecas, Chihuahua, Michoacán, Puebla y México (SIAP, 2024).

En el estado de Aguascalientes, el cultivo del duraznero ocupa el tercer lugar en importancia entre los frutales, con una superficie de 390 hectáreas, un rendimiento medio de poco más de 18 toneladas/hectárea, un precio medio rural de 15.38 pesos/tonelada y un valor de la producción de 108.3 millones de pesos (SIAP, 2024). Adicionalmente, este frutal es importante por ser fuente de empleo en el medio rural, ya que ocupa más de 265 jornales/hectárea/año, y por la derrama económica que genera en el estado (Gutiérrez et al., 2008).

En México, la propagación del duraznero se hace básicamente por semilla e injertación. No obstante, las plantas propagadas por semilla pueden generar segregación. Para lograr homogeneidad en el crecimiento de los portainjertos y variedades, las plantas se deben multiplicar de manera vegetativa (Parada y Villegas, 2009). En la mayoría de las regiones con clima semiárido y áridos predominan suelos con pH alto, esto trae como consecuencia poca disponibilidad nutrimental, por lo que las plantas de durazno suelen presentar deficiencias nutrimentales. Los portainjertos híbridos de almendro x durazno se injertan con variedades de durazno debido a que resisten sequía, suelos poco fértiles, presencia de nematodos, asfixia radical y clorosis férrica (Parada y Villegas, 2009; Iglesias y Alegre, 2014).

La propagación por semilla de algunas especies de *Prunus* tiene varias restricciones para tener éxito en la germinación. Según, Pipinis et al. (2012) señalan que las semillas de las especies de *Prunus* presentan dos tipos diferentes de letargo: interno, el letargo del embrión; y externo, el letargo del endocarpio (hueso). Así, Moreira et al. (2012) indican que la eliminación del endocarpio es el tratamiento más eficaz para romper el letargo de las semillas. También, la aplicación de giberelinas a altas concentraciones ha permitido romper el letargo de semillas del género *Prunus* (Shun-Ying et al., 2007; Pipinis et al., 2012; Moreira et al., 2012). Posteriormente, Pipinis et al. (2016) encontraron que la germinación de *P. azorica* se promueve mediante la inmersión de semillas en ácido giberélico (AG_3) a concentraciones mayores de 500 mg/L durante 24 horas.

Las giberelinas controlan varios procesos de desarrollo de las plantas. En este sentido, el ácido giberélico regula la proliferación o división celular (Hauvermale et al., 2012), promueve el alargamiento o expansión celular (Ubeda-Tomás et al., 2008), estimula la elongación de los tallos (Peng et al., 1997) y promueve la germinación de semillas de varias especies (Pipinis et al., 2016). Considerando los efectos diversos de las giberelinas señalados anteriormente, es probable que el AG_3 promueva la ruptura del letargo de las yemas de las estacas de duraznero. Por este motivo, esta investigación tiene como objetivo presentar los efectos de la aplicación de altas dosis de AG_3 en estacas del portainjerto híbrido de almendro x duraznero Garmen.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en un huerto pequeño 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). También, el suelo de dicho huerto tenía una concentración de 94.2 ppm de N-NO3, 85.6 ppm de P-Bray y 1,178 ppm de K, en la etapa de letargo. El clima que predomina 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 primera instancia, el huerto se estableció con 15 genotipos de duraznero con árboles que provenían de plantas propagadas mediante estaca sin injertar, durante mes de marzo del año 2010. Entre los 15 genotipos que se establecieron el portainjerto Garnem que se destina para propagación convencional.

Con relación al manejo agronómico del huerto, en la etapa de letargo, específicamente en el mes de enero se hizo la poda de fructificación con la ayuda de tijera. 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 80-20-20-30-20-30 unidades de N, P_2O_5, K_2O, 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 ciclo 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.

Dentro del huerto se seleccionaron tres árboles sanos y vigorosos a los cuales se tomaron ramas o tallos vigorosos formados en el año actual y que muestren un diámetro entre 2.0 y 5.0 cm. A dichas ramas se les eliminarán brotes pequeños y hojas, se cortaron estacas entre 7 y 8 cm de longitud. Posteriormente, las estacas cortadas en la etapa anterior se lavaron y se desinfectaron con una solución de agua corriente e hipoclorito de sodio al 1% por lo menos durante 15 minutos.

En esta investigación se evaluaron varias concentraciones de giberelinas, para ello establecieron cinco tratamientos. El primer tratamiento uno fue el testigo que consistió en someter las estacas en agua potable. Los tratamientos dos, tres, cuatro y cinco consistieron en la inmersión de estacas a concentraciones de 100, 250, 500, y 100 mg/L de AG_3. Todas las estacas se sometieron en un tiempo de inmersión de 12 horas continuas. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. La unidad experimental consistió de 10 bolsas de polietileno llenas con un litro de fibra de coco y cada bolsa contenía una estaquilla. Por lo tanto, cada tratamiento contó con 50 estaquillas para inducir brotación.

Como variables de respuesta se registró el porcentaje de estacas activas y el porcentaje de estacas brotadas. Como estaca activa se determinó toda aquella estaquilla que presentó al menos una yema hinchada. Las mediciones se hicieron 15 días después de aplicar los tratamientos con el AG_3.

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza, prueba de Friedman y pruebas de separación de medias en su caso (P≤0.05). Los datos expresados en porcentaje se transformaron con arcoseno antes de analizarlos. Todos los análisis se hicieron con el paquete estadístico SAS, versión 9.1.

Resultados y discusión

En general, se conoce que las giberelinas promueven crecimiento en yemas y tallos de diversas plantas. En este sentido, existen reportes que el AG_3 promueve el alargamiento o expansión celular (Ubeda-Tomás et al., 2008) y estimula la elongación de los tallos (Peng et al., 1997)

Porcentaje de estacas activas. Para que una estaca de duraznero o del portainjerto Garnem se considere activa debía tener al menos una yema activa; es decir, mostrar indicios de actividad o incremento del volumen de la yema. En la Figura 1 se presenta el porcentaje de estacas activas del portainjerto Garmem. En esta figura se aprecia como las estacas tratadas con la mayor concentración de AG_3 presentan el mayor porcentaje de estacas activas, aunque es importante señalar que las estacas testigo o sin tratar muestran aproximadamente un 20% de actividad (Figura 1).

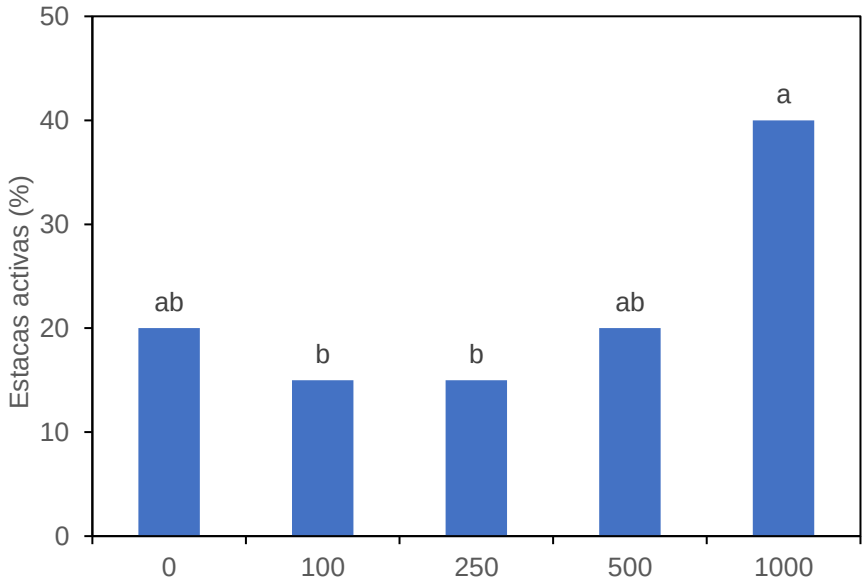


Figura 1. Porcentaje de estacas activas del portainjerto de duraznero Garmem.

Porcentaje de brotación de estacas. Como estaca brotada se consideró toda aquella estaquilla que mostrará al menos una yema brotada; es decir, que la yema activa presentará al menos un crecimiento o alargamiento de 5 mm o más. En la Figura 2 se presenta el porcentaje de estacas brotadas y se aprecia claramente como el tratamiento con la concentración de 1,000 mg/L de AG3 logró más estacas con brotación. Sin embargo, el tratamiento testigo muestra cerca del 10% estacas brotadas (Figura 2). La mayor brotación de estacas observada en el tratamiento con 1,000 mg/L de AG_3 se debe a la mayor actividad o estacas activas lograda con este mismo tratamiento.

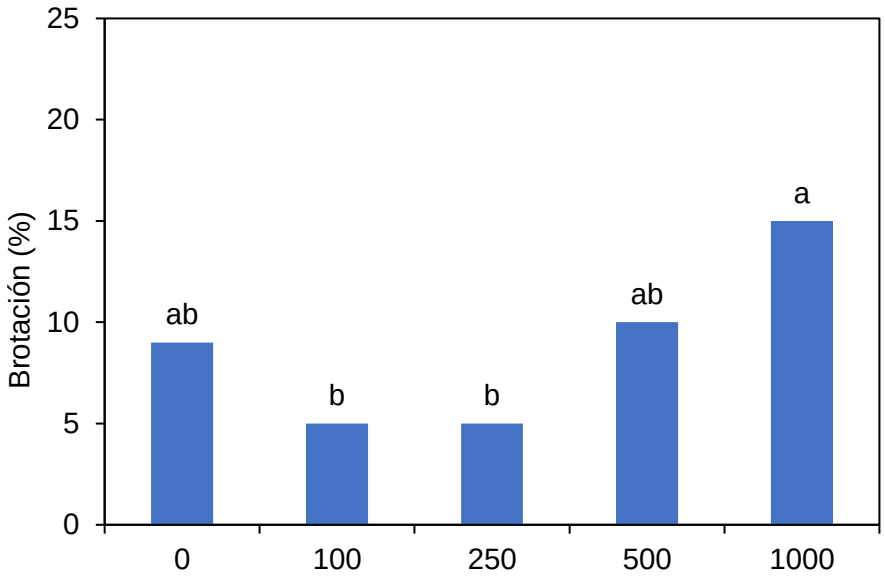


Figura 2. Porcentaje de brotación de estacas del portainjerto de duraznero Garmem.

En esta investigación es posible lograr mayor estacas activas y estacas brotadas en todos los tratamientos. No obstante, para obtener mejores resultados se deben mantener las estacas en buen estado y dejar que sigan avanzando los procesos fisiológicos en las estacas por al menos un mes más de evaluación exhaustiva.

Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos se concluye que la concentración de 1,000 mg/L de AG_3 promovió mayor porcentaje de estacas activas y estacas brotadas en el portainjerto Garnem.

Referencias

Gutiérrez-Acosta, F., J. Padilla-Ramírez y L. Reyes-Muro. 2008. Fenología, producción y características de fruto de selecciones de durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch) 'Ana' en Aguascalientes. Revista Chapingo. Serie Horticultura 14: 23-32.

Hauvermale AL, Ariizumi T, Steber CM. 2012. Gibberellin signaling: a theme and variations on DELLA repression. Plant Physiology 160, 83–92.

Iglesias, I., Alegre, S., 2014. Melocotonero, En: Hueso-Martín, J., Cuevas-González (Eds.). La Fruticultura del Siglo XXI en España. España, p. 404.

Medina, G. G.; Maciel, P. L. H.; Ruiz, C. J. A.; Serrano, A. V. y Silva, S. M. M. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Aguascalientes (periodo 1961-2003). INIFAP. Campo Experimental Pabellón, Fundación Produce, Aguascalientes. Libro técnico núm. 2. SAGARPA.

Moreira, O. C. B., J. Martins, L. Silva, and M. Moura. 2012. Seed germination and seedling growth of the endangered cherry *Prunus azorica*. Hortscience 47: 1222–1227.

Osuna-Ceja, E. S., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, J. S., Rosales-Serna, R., Martínez-Gamiño, M. A., Acosta-Gallegos, J. A. y Figueroa-Sandoval, B. 2013. Rendimiento de genotipos de frijol con diferentes métodos de siembra y riego-sequía en Aguascalientes. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4:1209-1221.

Parada, P. D. M. y Villegas M. A. 2009. Propagación in vitro del híbrido almendro por durazno H1. Revista Fitotecnia Mexicana 32:103-109.

Peng J, Harberd NP. 1997. Gibberellin deficiency and response mutations suppress the stem elongation phenotype of phytochromedeficient mutants of Arabidopsis. Plant Physiology 113, 1051–1058.

Pipinis, E., E. Milios, O. Mavrokordopoulou, C. Gkanatsiou, M. Aslanidou, and P. Smiris. 2012. “Effect of pretreatments on seed germination of Prunus mahaleb L.” Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 40:183–189.

Shun-Ying, C., C., Ching-Te, C. Jeng-Der, Y. Yuh-Shyong, K. Shing-Rong. 2007. Dormancy-break and germination in seeds of *Prunus campanulata* (Rosaceae): role of covering layers and changes in concentration of abscisic acid and gibberellins. Seed Science Research 17:21–32.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Cierre de la producción agrícola por estado: Durazno. SADER (Secretaria de Agricultura, y Desarrollo Rural). *In*: www.siap.gob.mx. Consultado en línea el 03 de septiembre de 2024.

Ubeda-Tomás S, Swarup R, Coates J, Swarup K, Laplaze L, Beemster GT, Hedden P, Bhalerao R, Bennett MJ. 2008. Root growth in Arabidopsis requires gibberellin/DELLA signalling in the endodermis. Nature Cell Biology 10, 625–628.

RENDIMIENTO COMERCIAL DE CLONES DE AJO EN ZACATECAS

José Angel Cid-Ríos, Manuel Reveles-Hernández Manuel, Juan José Figueroa-González

Campo Experimental Zacatecas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Km. 20.5 Carretera Zacatecas Fresnillo, Calera, V. R., Zacatecas, México. CP 98500. Tel. 018000882222 Ext 82315. *Autor para correspondencia: cid.angel@inifap.gob.mx

Introducción

En el cultivo de ajo es necesario que se realice la uniformidad de la semilla previo al establecimiento del cultivo, así mismo, se recomienda la utilización de semilla de calibre ocho, para obtener resultados satisfactorios (Burba et al*.,* 1982). Cuando se establecen bulbos de mayor tamaño y en densidades adecuadas, favorece el incremento del rendimiento por hectárea y el desarrollo de bulbos comerciales (Jiménez-Vásquez et al*.,* 2024).

Es importante utilizar genotipos de ajo con mayor capacidad de adaptación, ya que materiales de baja adaptación, pueden afectar o modificar la fisiológica de la planta, el crecimiento, altura y número de hojas por planta, lo cual puede afectar directamente la calidad y rendimiento de los genotipos de ajo (Aswani et al.,2023). Otro de los aspectos a considerar, es las necesidades hídricas del cultivo, siendo la fase de formación de bulbo, donde se requiere mayor necesidad de agua, ya que el déficit de humedad puede reducir el rendimiento del cultivo (Franco et al*.,* 2014).

Mediante la evaluación de clones de ajo en ensayos de rendimiento se puede observar plantas con menor cobertura, bulbos con problemas fitosanitarios, la sanidad y vigor de la planta durante el desarrollo y termino del ciclo de cultivo, además, en la cosecha se podrá observar los bulbos con menor número de dientes, simetría de dientes irregulares (Macías et al*.,* 2010). El objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento de los clones de ajo Chino Blanco, Don Fermín, Jam 12, Manzano, Sainero, Tigre y Calerence, establecidas y manejadas en condiciones comerciales.

Materiales y métodos

En el Campo Experimental Zacatecas INIFAP, se evaluaron bajo parcela comercial los siguientes clones de ajo; Chino Blanco, Don Fermín, Jam 12, Manzano, Sainero, Tigre y Calerence, esta última es la variedad, la cual fue utilizada como testigo. La siembra fue realizada el día 26 de octubre del 2022, utilizando bulbos o dientes procedentes de ajos con calibre ocho para cada genotipo, la cama de siembra constó de 1.60 m de ancho colocando seis hileras de plantas a una distancia de 10 cm entre ellos y 20 entre líneas. Para la ampliación de riegos se utilizó cintilla calibre 6,000 de flujo medio, colocando dos cintas en medio de tal forma que la cinta regara las dos hileras de plantas. Previo al establecimiento se aplicó la dosis 80-80-80, expresada en kilogramos de nitrógeno, fosforo y potasio respectivamente, para lo cual se utilizaron como fuentes sulfato de amonio, superfosfato de calcio simple y sulfato de potasio; el resto de la fertilización se realizó usando sulfato de amonio, fosfo-nitrato y sulfato de potasio, aplicados a través del sistema de riego durante el ciclo de cultivo y de acuerdo con la curva de extracción del cultivo, hasta alcanzar la dosis recomendada en el estado para este cultivo 250-100-126-120 expresada en kilogramos de nitrógeno, fosforo, potasio y calcio por hectárea respectivamente.
La cosecha se realizó el día 7 de mayo de 2023, tomando tres muestras al azar de cada una de las variedades evaluadas, las cuales consistieron en una cama de 1.60 m de ancho por 5.00 m de largo, una vez colectados los bulbos se procedió a clasificarlos por su tamaño de acuerdo con la Norma Mexicana, se procedió a contarlos y pesarlos para cada una de las muestras.

Se tomó en cuenta la clasificación de la norma mexicana NMX-FF-018-SCFI-2006, para evaluar el rendimiento de ajo por su producción de bulbos de tamaño comercial considerando ajos comerciales aquellos cuyos bulbos tienen un diámetro ecuatorial igual o superior a 45 mm, mientras que para la calidad industrial se consideraron aquellos bulbos cuyo diámetro ecuatorial fue menor a 45 mm (Reveles-Hernández et al., 2009). Los datos obtenidos se analizaron usando el paquete estadístico SAS 9.0.

Resultados y discusiones

Al realizar el análisis de varianza se encontraron diferencias altamente significativas para el rendimiento por hectárea de los diferentes clones de ajo (P=0.008), donde en la comparación de medias mediante la prueba de rango múltiple Duncan α=0.05 (Cuadro 1), el clon Don Fermín fue el del mayor rendimiento con 15,146.0 kg· ha^{-1}, seguido de Sainero con 13,981.0 kg· ha^{-1}, y el clon con menor rendimiento fue Manzano con 8843.0 kg· ha^{-1}. Los clones sobresalientes de mayor producción presentan 18.56 y 11.78 por ciento más que el testigo comercial.

Cuadro 1. Comparación de medias para evaluación de germoplasma de ajo evaluado bajo condiciones de riego en Calera Zacatecas.

Genotipo	Rendimiento por hectárea (kg· ha^{-1})	% de ajos con diámetro superior ≥ 45mm (kg· ha^{-1})	% bulbos con diámetro ≤ 45mm
Don Fermín	15,146.0 a	84.09 a	15.91 b
Sianero	13,981.0 ab	79.46 ab	20.54 ab
Jam 12	13,528.0 ab	79.09 ab	20.91 ab
Chino Blanco	12,441.0 ab	82.70 a	17.3 b
Calerense	12,335.0 b	75.15 b	24.85 a
Tigre	11,622.0 b	79.19 ab	20.81ab
Manzano	8,843.0 c	72.50 b	27.5 a
C.V.	11.28	4.73	19.43

Se encontraron diferencias significativas (P= 0.015) para el porcentaje de bulbo comercial (bulbo con diámetro superior a 45 mm), donde los clones Don Fermín y Chino Blanco fueron los que produjeron mayor porcentaje de ajo comercial con 84.09 y 82.70 por ciento, el clon con menor producción de ajo comercial fue Manzano y Calerense con 72.50 y 75.15 por ciento. Estos materiales fueron los de menor rendimiento, y los de mayor producción de ajo industrial (bulbo con diámetro inferior al 45 mm). El peso y diámetro de bulbo de ajo está relacionado con la productividad y la preferencia en el mercado, por lo que los ajos de mayor tamaño y menor número de dientes son los de mayor producción (Macias-Duarte et al*.,* 2010). Los resultados obtenidos permitieron confirmar lo reportado por Macías et al*.* (2010), quienes señalan que la evaluación de clones de ajo mediante ensayos de rendimiento, se puede explorar el potencial de rendimiento, detectando aquellos clones con bulbos con mayor calidad comercial y con menor número de dientes en el diámetro ecuatorial por bulbo.

Conclusiones

Aunque se encontraron cinco clones de ajo que superan en rendimiento y producen mayor calidad comercial respecto al testigo regional.

Se recomienda seguir evaluando la adaptación, uniformidad y productividad de los clones; Don Fermín, Sainero y Jam 12, y pensar en el registro de nuevas variedades de ajo para el estado de Zacatecas, para que los productores puedan incrementar la productividad y rentabilidad del cultivo de ajo en el estado.

Referencias

Aswani, N., Azmi, C., Cartika, I., and Basuki, R. S. (2023). Agronomic responses of four garlic genotypes in two different locations. Jurnal Agronomi Indonesia. Indonesian Journal of Agronomy. 51(1): 134-145.

Burba J. L., Fontán H. M., Lanfranconi L. y Beretta R. (1982). Influencia del calibrado mecánico en semilla de ajo. *AgriScientia*. *3*: 37-48.

Franco H. E. C., Reyes G. E. C., y Dallos, Y. S. (2014). Determinación de los requerimientos hídricos del ajo (Alium sativum L.) y su relación con estados fenológicos. *Cultura Científica*. 12: 56-64.

Jiménez-Vázquez, P., Rangel-Lucio, J. A., Mendoza-Elos, M., Cervantes-Ortíz, F., y Rivera-Reyes, J. G. (2014). Efecto de tamaño del bulbo/bulbillo y densidad de plantación en la emergencia, rendimiento y calidad de ajo (Allium sativum L.). *Phyton (Buenos Aires)*, *83*(1), 83-91.

Macías-Duarte, R., Grijalva-Contreras, R. L., y Robles-Contreras, F. (2010). Productividad y calidad de variedades de ajo (Allium sativium L.) bajo condiciones desérticas en Caborca, Sonora. *Biotecnia*. 12(1): 44-54

Macías V., L. M.; Maciel P., L.; Héctor Silos E., H. (2010). “San Maqueño”: una variedad de ajo blanco. Investigación y Ciencia. 18: 4-11

Reveles-Hernández M.; Velásquez-Valle R. y Bravo-Lozano A. G. (2009). Tecnología para cultivar ajo en Zacatecas. Libro Técnico No. 11. Campo Experimental Zacatecas, CIRNOC-INIFAP. México. 272 p.

CHILE VERDE Y CHAYOTE DESHIDRATADOS CON ENERGIA TERMOSOLAR: UNA OPCIÓN DE VALOR AGREGADO

Juan José Figueroa-González[1], Mayra Denise Herrera[1], Blanca Isabel Sánchez-Toledano[1], Néstor Ortiz-Rodríguez[2].

[1]INIFAP- Campo Experimental Zacatecas, Carr. Zacatecas-Fresnillo km 24.5, Calera, Zac., México. C. P. 98500. [2]Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Temixco, México. *Autor de correspondencia: figueroa.juan@inifap.gob.mx

Introducción

En el año 2023 la producción de chile verde a nivel nacional fue de 3, 237, 925 t; del total nacional, San Luis Potosí ocupó el primer lugar con 751, 839 t, seguido de Chihuahua con 701, 393 t y Zacatecas con 481, 000 t (SIAP, 2024). En el mismo año y de acuerdo con el SENASICA (2024), la producción nacional de Chayote fue 194, 490 t; el primer lugar lo ocupó el estado de Veracruz (164, 260 t), seguido de Michoacán (18, 700 t) y Jalisco (9, 520 t). Además, las verduras (40 al 50 %) que se producen cada año no se consumen en el mundo como consecuencia de estas pérdidas, se sugieren, entre otras cosas, mejorar las técnicas de conservación que aporten ventajas ambientales, económicas y sociales (Xu et al., 2022). Por otro lado, el secado es la técnica de conservación de alimentos más utilizada, que prolonga la vida útil al reducir la actividad del agua y reduce la masa y el costo del transporte (Chen et al., 2020). El secado siempre ha sido una práctica de conservación valiosa y común, que garantiza la disponibilidad de alimentos y productos medicinales durante todo el año (Calín-Sánchez et al., 2020). Debido a que el secado es un proceso que requiere mucha energía, se han desarrollado varios sistemas de secado con el fin de aumentar la eficiencia energética. Los secadores solares son sistemas de alto ahorro energético en comparación con otras tecnologías de secado. Sin embargo, dado que el uso de estos sistemas se limita a la luz solar, la energía solar se almacena como energía térmica para mantener el proceso de secado durante la ausencia de luz solar (Atalay, 2020). La tecnología termosolar es una alternativa para el deshidratado de las verduras que se producen con la finalidad de alargar la vida de anaquel, incrementar el valor agregado, diversificar el uso agroindustrial e incrementar el consumo de vegetales a través de los polvos deshidratados. Bajo este contexto, el objetivo de este trabajo fue desarrollar y evaluar las propiedades tecnofuncionales de polvos de chile verde y chayote deshidratados mediante energía termosolar.

Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en el laboratorio de alimentos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Zacatecas (22º 54' N, 102º 39' O) con una altitud de 2, 197 msnm. El proceso de secado del chile verde y chayote se llevó a cabo en la planta de secado híbrida Solar-gas LP construida en Zacatecas, México. El sistema de secado es de tipo convección forzada de aire caliente con cámara de secado. Para el calentamiento del aire requerido en el proceso de secado se cuenta con dos sistemas solares térmicos: un sistema de calentamiento de aire directo (48 calentadores de aire solares con un área de 111.1 m^2) y un sistema de calentamiento de aire indirecto (40 colectores solares de agua con un área de 92.4 m^2 y 6000 L de almacenamiento térmico). Además, se cuenta con un sistema de respaldo de energía convencional, es decir, quemador de gas LP (Ortiz-Rodríguez et al., 2022).

Proceso de secado. Se utilizaron 50 kg de chile verde (CHV) y 50 kg de chayote (CH), los cuales se adquirieron en un mercado local. Posteriormente, se lavaron con agua potable (1 kg de vegetal/2 L de agua). El pedúnculo y algunas partes dañadas de los diferentes frutos fueron retiradas. El CHV y el CH se cortaron en rodajas uniformes de 0.5 cm de grosor (Procesadora de vegetales SAMMIC 120v/60Hz/1/4.3 A) para ser escaldadas a 90 °C por 10 min. Las rodajas de los vegetales se enfriaron rápidamente con agua a temperatura ambiente (22 ºC) y se colocaron en las charolas, para ser deshidratadas en un sistema híbrido de secado termosolar-gas LP indirecto, que distribuye aire caliente por un túnel de convección de aire forzado (Ortiz-Rodríguez et al., 2022).

La humedad inicial del CHV y del CH fue de 95 y 93 %, respectivamente. El proceso de secado terminó a las 24 h cuando las diferentes muestras alcanzaron una humedad final del 7 %. Al finalizar el tiempo de secado se procedió a moler las diferentes rodajas de CHV deshidratado (CHVD) y chayote deshidratado (CHD) con ayuda de una licuadora semiindustrial (Máquinas para Mercados S. A. de C. V. Modelo LM-12, 60 Hz, 746 W). El proceso para obtener los polvos de CHPD y CHD consistió en tres eventos de molienda, cada uno por un minuto y cinco minutos de descanso entre eventos para evitar que las muestras se calentaran en exceso.

Propiedades tecno-funcionales de los polvos. Se evaluó el índice de solubilidad de agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA) de los polvos de CHPD y CHD de acuerdo al protocolo de Sifat et al. (2021). La capacidad de absorción de aceite (CAA) y la capacidad de hinchamiento (CH) se evaluaron mediante los métodos de Hamzeh et al. (2019) y de Jha et al. (2021), respectivamente.

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza con un nivel de significancia ($p \leq 0.05$). Posteriormente se hizo una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los resultados fueron expresados como la media ± desviación estándar (DE), se analizaron usando el paquete estadístico SAS (SAS Institute ver. 9.4, 2016, Cary, NC, USA).

Resultados y discusión

Las propiedades instantáneas de un polvo implican la capacidad de un polvo para disolverse en agua, estas se presentan en el Cuadro 1. El ISA de solubilidad se refiere a la cantidad de componentes solubles liberados de la muestra seca. El ISA del CHVD fue estadísticamente diferente ($p \leq 0.05$) al polvo de CHD. El polvo del hongo (*Pleurotus sp*) seco presentó 33.5 % de ISA (Vélez-Uribe et al., 2023) y en polvo seco de melón se reportaron valores de 20 a 20 % de ISA (Asokapandian et al., 2015).

El índice de absorción de agua es importante debido al poder de reconstituir el polvo en un sistema líquido. Igualmente, el índice de absorción de agua es el peso del agua absorbida por gramo de muestra seca. Los valores de IAA presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) significativas; presentando los valores más altos el polvo de CHD. En polvos secos de calabacita se han encontrado valores de IAA de 3.42 a 6.52. El polvo de calabaza, al igual que los polvos de CHVD y CHD, tienen un alto potencial de uso en matrices alimenticias como sopas, cremas, salsas y bebidas debido a su alta retención de agua, donde la hinchazón y el volumen pueden deberse a la ruptura de los gránulos de almidón que facilitan la formación de nuevos enlaces de hidrógeno con el agua (Márquez-Cardozo et al., 2021).

Los polvos de CHVD y CHD no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). En polvos de brócoli se reportaron valores de 2.81 a 4.85 g/g de CAA. Los polvos vegetales pueden tener la capacidad de atrapar grasa, lo que hace que las propiedades emulsionantes sean parámetros interesantes para su caracterización. Las propiedades emulsionantes se ven afectadas por el tamaño, la forma y el área superficial de las partículas, así como por la naturaleza de la fibra presente (Bas-Bellver et al., 2022).

La variación en el poder de hinchamiento, el cual fue significativamente mayor ($p \leq 0.05$) en el polvo de CHD, puede deberse al tamaño de partícula, contenido de amilosa y amilopectina, la interacción entre componentes no almidonados y moléculas de almidón durante la gelatinización (Lawal et al., 2021).

Cuadro 1. Propiedades tecnofuncionales en polvos de chile verde deshidratado (CHVD) y chayote deshidratado (CHD).

Tratamiento	ISA (%)	IAA (g H_2O/g muestra)	CAA (g/g)	CH (g H_2O/g muestra)
CHVD	72.3 ± 1.15 a	15.2 ± 2.01 b	1.5 ± 0.40 a	4.0 ± 0.70 b
CHD	47.9 ± 2.34 b	20.1 ± 0.57 a	1.3 ± 0.31 a	9.3 ± 0.79 a

Medias en la misma columna con letra similar no son significativamente diferentes (Tukey, $p<0.05$).

Conclusiones

La planta termosolar, hasta el momento, única en América Latina y ubicada en Zacatecas, es una alternativa para que los productores de hortalizas diversifiquen la comercialización de los productos hortícolas mediante la tecnología alimentaria de polvos deshidratados.

Referencias

Asokapandian, S., Venkatachalam, S., Swamy, G. J., & Kuppusamy, K. (2016). Optimization of foaming properties and foam mat drying of muskmelon using soy protein. *Journal of food process engineering*, *39*(6), 692-701.

Atalay, H. (2020). Assessment of energy and cost analysis of packed bed and phase change material thermal energy storage systems for the solar energy-assisted drying process. *Solar Energy*, *198*, 124-138.

Bas-Bellver, C., Barrera, C., Betoret, N., & Seguí, L. (2022). Impact of disruption and drying conditions on physicochemical, functional and antioxidant properties of powdered ingredients obtained from Brassica vegetable by-products. *Foods*, *11*(22), 3663.

Calín-Sánchez, Á., Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Kharaghani, A., Masztalerz, K., Carbonell-Barrachina, Á. A., & Figiel, A. (2020). Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs. *Foods*, *9*(9), 1261.

Chen, J., Zhang, M., Xu, B., Sun, J., & Mujumdar, A. S. (2020). Artificial intelligence assisted technologies for controlling the drying of fruits and vegetables using physical fields: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *105*, 251-260.

Hamzeh, S., Motamedzadegan, A., Shahidi, S. A., Ahmadi, M., & Regenstein, J. M. (2019). Effects of drying condition on physico-chemical properties of foam-mat dried shrimp powder. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, *28*(7), 794-805.

Jha, P., Meghwal, M., & Prabhakar, P. K. (2021). Microwave drying of banana blossoms (Musa acuminata): Mathematical modeling and drying energetics. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*(9), e15717.

Lawal, O. M., Sanni, O., Oluwamukomi, M., Fogliano, V., & Linnemann, A. R. (2021). The addition of fluted pumpkin (Telfairia occidentalis) leaf powder improves the techno-functional properties of cassava pasta. *Food Structure*, *30*, 100241.

Márquez-Cardozo, C. J., Caballero-Gutiérrez, B. L., Ciro-Velázquez, H. J., & Restrepo-Molina, D. A. (2021). Effect of pretreatment and temperature on the drying kinetics and physicochemical and techno-functional characteristics of pumpkin (Cucurbita maxima). *Heliyon*, *7*(4).

SENASICA. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad (2024). Disponible en línea: https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/tableros/SIAS/EstadisticaTransversal/PA/index.html. Consultado el 26/08/2024.

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023). Disponible en línea: https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/. Consultado el 29/08/2023.

Sifat, S. A., Trisha, A. T., Huda, N., Zzaman, W., & Julmohammad, N. (2021). Response Surface Approach to Optimize the Conditions of Foam Mat Drying of Plum in relation to the Physical-Chemical and Antioxidant Properties of Plum Powder. *International Journal of Food Science*, *2021*(1), 3681807.

Vélez-Uribe, T., Orozco-Agudelo, N., Manjarrés-Pinzón, G., Manjarrés-Pinzón, K., Gil-González, J., & Rodríguez-Sandoval, E. (2023). Physicochemical, antioxidant, and technofunctional properties of mushroom (Pleurotus sp) flour obtained by hot air drying. *Dyna*, *90*(225), 85-94.

Xu, B., Tiliwa, E. S., Yan, W., Azam, S. R., Wei, B., Zhou, C., ... & Bhandari, B. (2022). Recent development in high quality drying of fruits and vegetables assisted by ultrasound: A review. *Food Research International*, *152*, 110744.

ÍNDICE VISUAL DE DORMICIÓN Y PÉRDIDA DE PESO EN LA FRIGOCONSERVACIÓN E INTERRUPCIÓN DE LA CADENA DE FRÍO EN AJO

Juan José Figueroa-González*, José Ángel Cid-Ríos, Blanca Isabel Sánchez-Toledano, Mayra Denise Herrera[1].

[1]INIFAP- Campo Experimental Zacatecas, Carr. Zacatecas-Fresnillo km 24.5, Calera, Zac., México. C. P. 98500 *Autor de correspondencia: figueroa.juan@inifap.gob.mx

Introducción

El ajo (*Allium sativum*) ha sido utilizado en diferentes recetas de cocina y como alimento medicinal desde la antigüedad. El ajo se cultiva en todo el mundo y el consumo per cápita es de 907.2 g al año (Bhatwalkar et al., 2021). Melguizo-Rodríguez et al. (2022) mencionan que el ajo contiene más de 200 compuestos químicos con múltiples propiedades. Está compuesto por 65 % de agua, 28 % de carbohidratos, 2.3 % de compuestos organosulfurados, 2 % de proteínas, 1.2 % de aminoácidos libres y un 1.5 % de fibra. También contiene vitaminas liposolubles (vitamina A, vitamina K y vitamina E), vitaminas hidrosolubles (vitamina C, vitaminas del complejo B: B1, B2, B3, B6 y B8) y minerales (Ca, Fe, Mg, P, K, Na y Zn). Debido a la naturaleza estacional de la cosecha de ajo, se requiere un almacenamiento a largo plazo para garantizar el suministro durante todo el año de bulbos de alta calidad. Sin embargo, se sabe que la calidad se deteriora durante el almacenamiento, y los regímenes de almacenamiento tienen como objetivo mantener la calidad culinaria, no la bioquímica, lo que plantea desafíos para las empresas de biotecnología que extraen productos de alto valor, como la aliinasa, del ajo (Ludlow et al., 2021). La pudrición es una de las principales causas de pérdida de bulbos de ajo durante el almacenamiento. Su incidencia está directamente relacionada con la presencia de patógenos en los bulbos cosechados y está muy influenciada por los procesos de manejo postcosecha, incluyendo el secado, almacenamiento, transporte y comercialización de los bulbos (Gálvez & Palmero, 2021). Además, las pérdidas totales durante el almacenamiento de bulbos en condiciones ambientales oscilan entre el 25 y el 40 %, con la consecuencia del aumento del precio y la disminución de la disponibilidad local (De Santis, et al., 2021). Por otro lado, los bulbos de ajo tienen períodos de latencia de más de tres meses, su brotación y emergencia están controladas principalmente por la temperatura (Desta, Woldetsadik, Mohammed, & Tena, 2022). La latencia termina rápidamente en ajos almacenados a temperaturas entre 5 y 10 ºC (Ibrahim, Bahnasawy, & Khater, 2018). Las condiciones de almacenamiento necesarias para prolongar la latencia son principalmente opuestas a las necesarias para estimular la brotación; por lo tanto, el almacenamiento a una temperatura de 7.5 ºC ofrece la pérdida de latencia más rápida. El grado de latencia de los bulbos almacenados se puede medir por la relación entre la longitud de la hoja interna del brote y la de la hoja almacenada en una muestra de dientes de ajo (Desta, Tena, & Amare, 2022). El objetivo de este trabajo fue evaluar el índice visual de dormición y pérdida de peso en ajo, en condiciones ambientales y de frigoconservación con interrupción de la cadena de frío para alargar su vida de anaquel.

Materiales y métodos

Se utilizó ajo sembrado y cosechado en el Campo Experimental Zacatecas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (22º 54' N, 102º 39' O) con una altitud de 2 197 msnm. Los ajos se limpiaron y se seleccionaron al azar 36 cabezas de calibre 6, las cuales se colocaron dentro de bolsas perforadas de papel. Además, se utilizaron dos sistemas de conservación: 1) frigoconservación (-4 ºC) a 65% de humedad relativa y 2) temperatura ambiente (22 ± 2 ºC).

Los tratamientos fueron los siguientes: T-AMB (testigo) sometido a temperatura ambiente, T2 (T-30-60), el T3 (T-30-60-90) y el T4 (T-30-60-90-120). Cabe mencionar que, T2, T3 y T4 fueron sometidos a frigoconservación (FC) y se les interrumpió la cadena de frío (CF) por 48 horas, en los días anteriormente mencionados. Finalmente, para cada una de las muestras analizadas se separaron los bulbos y se realizaron las mediciones de índice visual de dormición y peso. Se realizó un análisis de varianza con un nivel de significancia ($p \leq 0.05$). Posteriormente se hizo una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los resultados fueron expresados como la media ± desviación estándar (DE), se analizaron usando el paquete estadístico SAS (SAS Institute ver. 9.4, 2016, Cary, NC, USA).

Resultados y discusión

La latencia en los bulbos de ajo está controlada por varios factores, entre ellos la temperatura, la luz y las hormonas vegetales. Cuando el ajo se almacena a temperatura ambiente el incremento del Índice visual de dormición (IVD) es mayor en comparación con los tratamientos almacenados a FC con interrupción de la cadena de frío. En la Figura 1, se puede observar, que cuando los ajos se almacenan por frigoconservación a los 60 y 90 días presentan menos del 40 % del IVD. En diferentes genotipos de ajo, refrigerados por 6 semanas se presentaron valores de 66.7 a 103.1 % de IVD (Kendarini et al., 2023). Por lo tanto, la latencia es la última etapa de la vida del bulbo que ayuda a mantener los bulbos como órganos de reproducción vegetativa en condiciones de crecimiento desfavorables. La latencia del bulbo está controlada por mecanismos de control de temperatura y giberelinas que juegan un impacto significativo en la iniciación o inhibición de los bulbos latentes del ajo (Desta, Tena, & Amare, 2022)

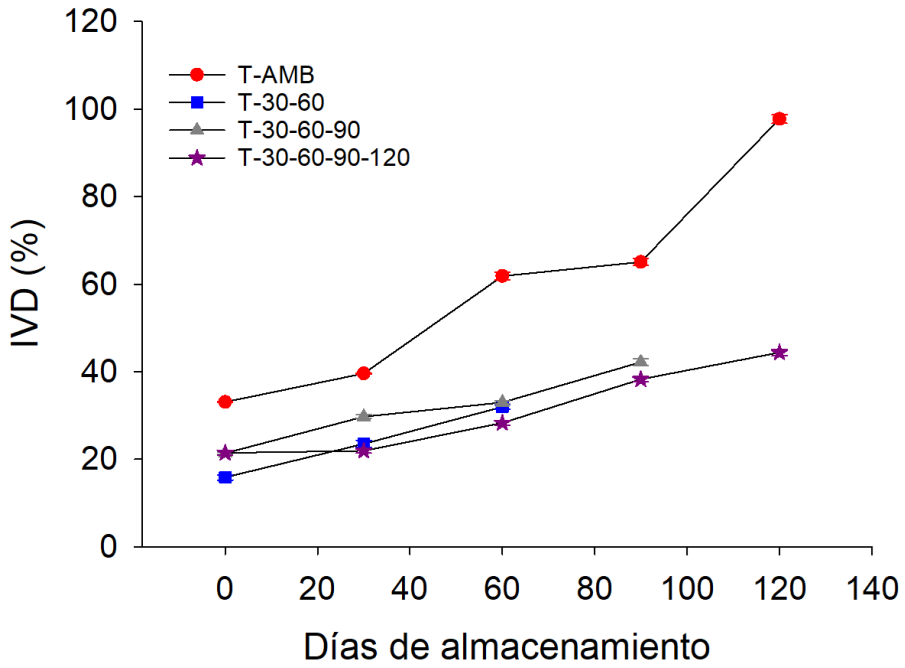


Figura 1. Índice visual de dormición (IVD) en ajos almacenados a temperatura ambiente y frigoconservación con interrupción de la cadena de frío.

En la Figura 2, se aprecia la pérdida de peso de los diferentes tratamientos. El T-AMB es el que presentó mayor pérdida de peso con respecto a los diferentes tratamientos sometidos a la FC. El estado inicial del ajo, como el contenido de humedad, el peso y el daño en el diente, son factores importantes relacionados con la calidad de la semilla, especialmente para el consumo. Los dientes de ajo que han perdido peso no son adecuados, porque existe la posibilidad de que se haya producido una germinación máxima. Durante el proceso de germinación, los dientes de ajo pierden parte del contenido de agua, por lo que el peso disminuye (Shandra et al., 2020). Asimismo, la pérdida de peso en los bulbos de calibre 6, puede ser el resultado de una mayor transpiración, lo que ocasiona una mayor disminución en el contenido de agua del bulbo, lo que contribuye a una disminución en el peso del bulbo (Kendarini et al., 2023).

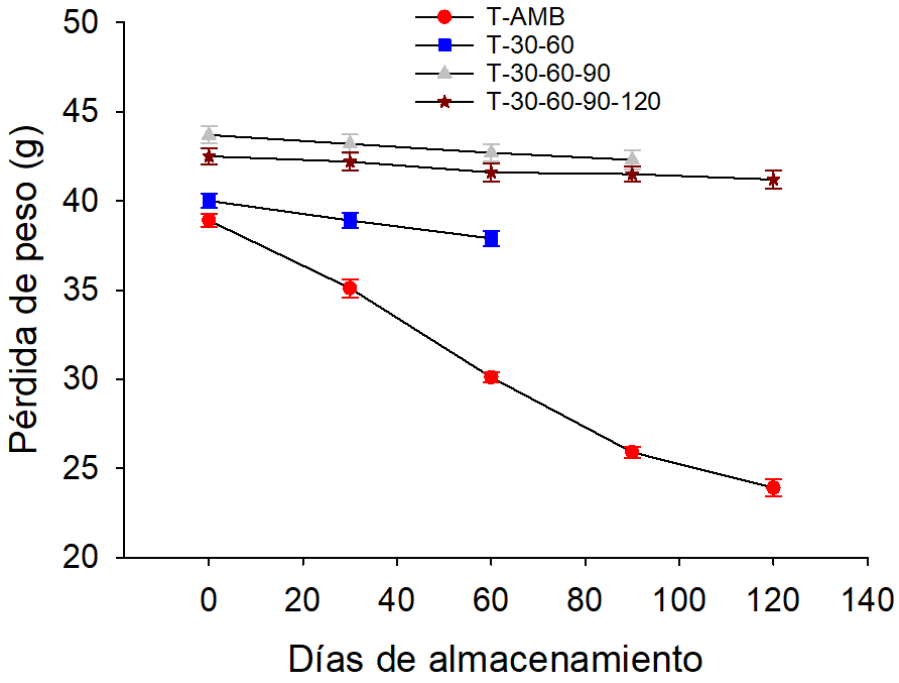


Figura 2. Pérdida de peso en ajos almacenados a temperatura ambiente y frigoconservación con interrupción de la cadena de frío.

Conclusiones

La frigoconservación de ajo con interrupción de la cadena de frío es una metodología que puede ser aplicada para alargar la vida de anaquel del ajo; evitando mayor desarrollo del índice visual de dormición y menor pérdida de peso en los bulbos. Este tipo de investigaciones permite decidir el tiempo necesario y óptimo de almacenamiento de ajo para venderlo en fuera de temporada. Además, la frigoconservación con interrupción de la cadena de frío, evita que los bulbos de ajo salgan al mercado con germinación avanzada, lo cual, puede ocasionar desagrado, es decir, baja calidad sensorial por parte de los consumidores finales.

Referencias

Bhatwalkar, S. B., Mondal, R., Krishna, S. B. N., Adam, J. K., Govender, P., & Anupam, R. (2021). Antibacterial properties of organosulfur compounds of garlic (Allium sativum). *Frontiers in microbiology*, *12*, 613077.

Desta, B., Tena, N., & Amare, G. (2022). Regulation of garlic bulb dormancy. *Asian Journal of Research and Review in Agriculture*, 1-5.

Desta, B., Woldetsadik, K., Mohammed, W., & Tena, N. (2022). Duration of of Low-Temperature Storage, Clove Topping and Gibberellic Acid on Emergence, Yield and Yield Components of Garlic. *The Scientific World Journal*, *2022*.

De Santis, D., Garzoli, S., & Vettraino, A. M. (2021). Effect of gaseous ozone treatment on the aroma and clove rot by Fusarium proliferatum during garlic postharvest storage. *Heliyon*, *7*(4).

Gálvez, L., & Palmero, D. (2021). Incidence and etiology of postharvest fungal diseases associated with bulb rot in garlic (*Alllium sativum*) in Spain. *Foods*, *10*(5), 1063.

Ibrahim, D. M., Bahnasawy, A. H., & Khater, E. S. G. (2018). Effect of storage condition and package type on the quality of garlic during storage. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, *35*(2), 587-602.

Kendarini, N., Aisyah, S. I., Maharijaya, A., & Sobir, S. (2023). The Sensitivity of Four Garlic Genotypes on Low Temperatures and the Role on Dormancy Breaking. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, *45*(3), 483-498.

Ludlow, R. A., Pacenza, M., Chiappetta, A., Christofides, S. R., Evans, G., Graz, M. & Müller, C. T. (2021). Storage time and temperature affects volatile organic compound profile, alliinase activity and postharvest quality of garlic. *Postharvest Biology and Technology*, *177*, 111533.

Melguizo-Rodríguez, L., García-Recio, E., Ruiz, C., De Luna-Bertos, E., Illescas-Montes, R., & Costela-Ruiz, V. J. (2022). Biological properties and therapeutic applications of garlic and its components. *Food & Function*, *13*(5), 2415-2426.

Shandra, R. C., Purwanto, Y. A., Naibaho, N., & Saputra, M. I. (2020). Effect of storage temperature and ultrafine bubbles water treatment on the breaking dormancy of garlic bulb. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 542, No. 1, p. 012024). IOP Publishing.

EFECTO DEL USO DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE CINTA DE RIEGO Y DENSIDADES DE PLANTAS EN INDICADORES DE SUFICIENCIA NUTRIMENTAL DEL MAÍZ FORRAJERO

Cristo O. Puente-Valenzuela*[1], Arturo Reyes-González[2], Janeth B. Carrillo-Castañeda[3]

[1]Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA) INIFAP, [2]Campo Experimental la Laguna – INIFAP, [3]Sociedad Cooperativa Agropecuaria de la Comarca Lagunera, S.C.L *Autor por correspondencia: puente.cristo@inifap.gob.mx

Introducción

El maíz es uno de los elementos más fundamentales en la historia y la cultura de México. Originario de las tierras que hoy forman parte de este país, el maíz no solo ha sido un alimento básico durante milenios, sino que también ha influido profundamente en las tradiciones, la economía y la identidad del pueblo mexicano (García et al., 2019). Desde las antiguas civilizaciones mesoamericanas, como los mayas y los aztecas, hasta la actualidad, el maíz ha sido considerado un regalo de los dioses, un símbolo de vida y abundancia. Su cultivo, su variedad genética y su uso en la gastronomía mexicana reflejan la riqueza cultural de México, convirtiéndolo en un pilar esencial de la nación (Brush et al., 1988). Hoy en día, el maíz sigue siendo un elemento central en la dieta y en las celebraciones mexicanas, reafirmando su papel como un símbolo de identidad y resistencia cultural.

El riego por goteo es un sistema de irrigación eficiente que suministra agua directamente a las raíces de las plantas de manera lenta y constante. Utiliza una red de tuberías, mangueras y emisores para liberar agua en cantidades controladas cerca de la base de las plantas, lo que optimiza su absorción y minimiza el desperdicio. Este método es altamente eficiente, ya que reduce la evaporación y la escorrentía, adaptándose bien a diferentes tipos de cultivos y terrenos. Además, al mantener el follaje seco, disminuye la incidencia de enfermedades, y al utilizar menos presión de agua, también contribuye a un ahorro energético. Por estas razones, el riego por goteo es una opción preferida en la agricultura, especialmente en regiones donde el agua es escasa o costosa (Burt et al., 2007).

La densidad de siembra se refiere al número de plantas cultivadas por unidad de área y es una estrategia clave para optimizar la productividad agrícola. Al ajustar la densidad de siembra, los agricultores pueden maximizar el uso del espacio, la luz, los nutrientes y el agua, lo que puede conducir a un aumento en el rendimiento por hectárea (Aguilar et al., 2017). Sin embargo, es esencial encontrar un equilibrio adecuado, ya que una densidad demasiado alta puede generar competencia entre las plantas por recursos, afectando negativamente su crecimiento y salud. Por otro lado, una densidad demasiado baja puede resultar en un uso ineficiente del terreno. La densidad óptima varía según el tipo de cultivo, las condiciones del suelo, el clima y las prácticas de manejo agrícola. Implementar una estrategia de densidad de siembra adecuada puede ser una alternativa eficaz para incrementar la productividad sin necesidad de expandir la superficie cultivada. En el presente trabajo se evalúa el efecto del tipo de riego y la densidad de siembra sobre la suficiencia nutrimental del maíz.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el INIFAP-Campo Experimental La Laguna. La siembra se realizó en marzo del 2023 utilizando el híbrido P3201 de hojas semi - erectas. La preparación del terreno fue de manera convencional sobre un suelo franco arcilloso. La separación entre cintillas fue de 76 cm, el riego por goteo fue subsuperficial y superficial, se aplicó en base a la evapotranspiración medida con un atmómetro (con una frecuencia de riego de cada tercer día); la cinta de riego utilizada fue RO DRIP 8 mil con espesor de pared de 0.200 mm y diámetro interior de 16 mm, con emisores a 0.2 m de separación y un gasto de 0.5 litros por hora por gotero, la presión de operación del sistema de riego fue de 8 PSI. Las densidades de siembra fueron de 150 y 200 mil plantas por hectárea y se establecieron a doble hilera y surcos angostos La fertilización consistió en aplicar 300-100-00 unidades de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente.

Se realizó un diseño de parcelas divididas donde el primer factor principal fue el tipo de riego, superficial (RS) y subsuperficial (RSS) y como sub – divisiones la densidad de siembra 100, 150 y 200 mil plantas (D1, D2, y D3 respectivamente) generando un total de 6 tratamientos con tres repeticiones para un total de 18 unidades experimentales. El análisis estadístico fue un ensayo de ANOVA con comparación de medias de Tukey con una significancia del 0.05 en el software GraphPad Prism versión 10.0.0 para Windows.

Se realizaron muestras representativas foliares a partir de los surcos centrales de cada unidad experimental, la muestra de tejido vegetal se llevó a peso constante a 75ºC, posterior a esto estas fueron trituradas y tamizadas a un tamaño menor a 0.5 milímetros. La digestión de la muestra fue con mezcla ácida de ácido nítrico y ácido perclórico en una proporción 3:2 respectivamente, en plato caliente a una temperatura de reflujo de 110 ºC por 45 minutos y un incrementó hasta 240ºC hasta llevar las muestras a casi sequedad, para ser aforadas a 10 mililitros con agua destilada. Las muestras fueron analizadas en el equipo de absorción atómica AAnalyst700 de la marca Perkin Elmer por aspiración directa en flama aire – acetileno, en el espectrómetro de absorción atómica (CRC 1998). Finalmente, para la cuantificación de fosforo se realizó a partir del digerido empleando la técnica de colorimetría con desarrollo de color con solución mixta molibdato – meta vanadato de amonio, en un espectrofotómetro Jenway 73 UV/VIS. El análisis de nitrógeno total se realizó de acuerdo con Hernández-Muñoz et al. (2022) y Plenecassagne et al. (1997). Como control de calidad externo se empleó el material de referencia certificado de la marca NIST® SRM® 1573ª de hojas de tomate, con recuperaciones superiores al 95 por ciento para cada uno de los elementos cuantificados.

Resultados y Discusión

Para el análisis de los datos la codificación de los tratamientos resultó de la combinación de las siglas para riego superficial RS más la densidad de siembra D1-D3 y para riego subsuperficial RSS más la densidad de siembra D1-D3. En el cuadro 1 se muestran los resultados del análisis foliar para cada uno de los tratamientos ensayados. De acuerdo con Jones et al. (1991), las concentraciones reportadas para cada tratamiento muestran una suficiencia nutrimental adecuada para los microelementos y con ligera carencia en las concentraciones de cobre; con respecto al contenido de macroelementos la mayoría de los tratamientos se encuentra en el rango de concentración bajo, en la figura 1 se muestra el nivel inferior (línea en verde) para lograr la categoría de suficiencia nutrimental para cada uno de los macronutrientes.

Cuadro 1. Media y Desviaciones estándar de indicadores de suficiencia nutrimental

	RSD1	RSD2	RSD3	RSSD1	RSSD2	RSSD3
N	1.50 ± 0.31	1.73 ± 0.11	2.08 ± 0.61	1.82 ± 0.16	1.76 ± 0.18	1.74 ± 0.23
P	0.26 ± 0.03	0.27 ± 0.02	0.27 ± 0.03	0.30 ± 0.02	0.28 ± 0.03	0.26 ± 0.03
K	1.71 ± 0.30	1.71 ± 0.08	1.55 ± 0.14	1.54 ± 0.26	1.47 ± 0.03	1.80 ± 0.54
Ca	0.18 ± 0.04	0.16 ± 0.03	0.14 ± 0.02	0.17 ± 0.06	0.14 ± 0.01	0.18 ± 0.06
Mg	0.13 ± 0.01	0.12 ± 0.00	0.12 ± 0.01	0.13 ± 0.03	0.11 ± 0.01	0.12 ± 0.01
Cu	4.52 ± 1.42	6.73 ± 2.88	5.90 ± 1.84	4.66 ± 1.80	6.04 ± 1.49	7.73 ± 1.21
Fe	313.9 ± 117.4	289.8 ± 81.38	311.6 ± 117.1	371.1 ± 216.6	324.8 ± 119.4	295.4 ± 103.8
Zn	34.9 ± 2.32	30.7 ± 1.73	32.1 ± 2.16	28.8 ± 0.53	28.9 ± 1.38	27.6 ± 1.53
Mn	65.2 ± 6.80	55.7 ± 5.99	55.5 ± 3.24	67.7 ± 23.6	50.0 ± 2.66	56.4 ± 14.0

Donde Nitrógeno total (N), Fosforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) están expresados en porcentaje con respecto a masa seca y Cobre (Cu), Fierro (Fe), Zinc (Zn) y Manganeso (Mn) en miligramos por kilógramo de materia seca; RSD1 – D3 representan al riego superficial con las distintas densidades de siembra RSS D1 – D3 representan a los tratamientos de riego subsuperficial con las distintas densidades de siembra.

En la figura 1, se muestra el contraste estadístico de los macroelementos, resultante del análisis de los datos presentados en el cuadro 1, en general puede observarse una nula diferencia en la mayoría de los nutrientes analizados Reta-Sánchez et al. (2007) no encontraron diferencia en el contenido de macronutrientes al someter el cultivo del maíz a diferente densidad de siembra, al igual que Quevedo-Amaya et al. (2015) quienes no observaron diferencias en el contenido de clorofila del maíz lo cual puede interpretarse como contenido de nitrógeno.

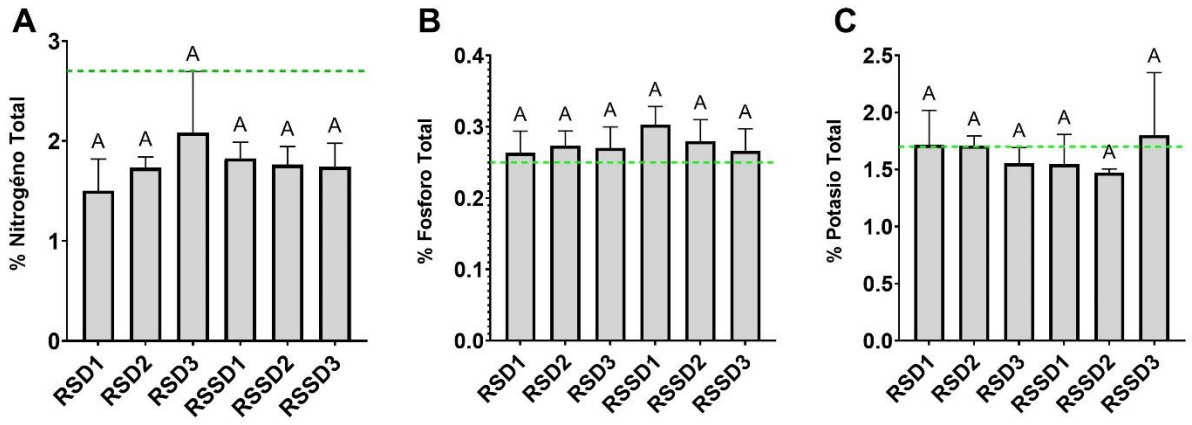


Figura 1. Contraste estadístico entre tratamientos y suficiencia nutrimental de macronutrientes para el cultivo de Maíz. Para todos los casos se muestra la media y desviación estándar de una *n = 3* repeticiones, con su contraste estadístico *(p = 0.05*) indicado por caracteres, donde un mismo carácter representa sin diferencia, caracteres distintos diferencia significativa. RS y RSS se refieren a riego superficial y subsuperficial respectivamente, D1 – D3 a las distintas densidades de siembra. Panel A muestra al Nitrógeno total, panel B al Fosforo total y panel C al Potasio total, todos en porcentaje con respecto a la masa seca. La línea verde representa el nivel inferior de suficiencia nutrimental

El único elemento que presentó diferencia significativa entre tipo de riego fue el zinc, fenómeno que puede explicarse por cambios en la disponibilidad de oxígeno o carbonación del agua según el tipo de riego, como lo explica Biasi et al. (2024). En la figura 2 se muestra el contraste estadístico y el nivel de suficiencia nutrimental alcanzado para cada tratamiento.

El rendimiento de forraje en base seca reportado fue: el Maíz con riego subsuperficial produjo 26.8 t/ha, mientras que el riego superficial produjo 23.8 t/ha. El mayor rendimiento de forraje seco fue con 200 mil plantas por hectárea (27.3 t/ha), rendimiento similar a la densidad de 150 mil plantas por hectárea (26.1 t/ha). El menor rendimiento fue con 100 mil plantas por hectárea (22.5 t/ha).

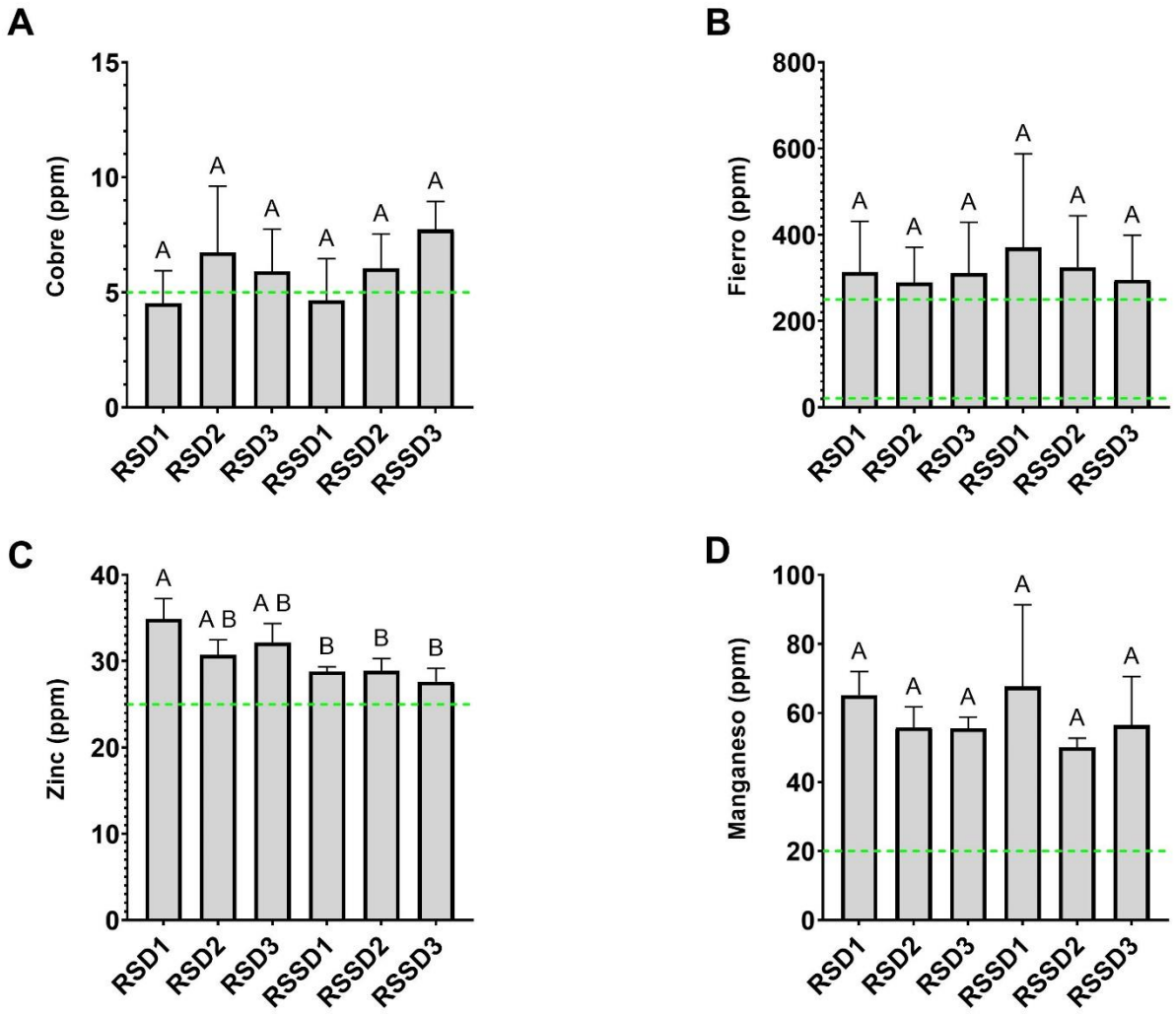


Figura 2. Contraste estadístico entre tratamientos y suficiencia nutrimental de microelementos para el cultivo de Maíz. Para todos los casos se muestra la media y desviación estándar de una *n = 3* repeticiones, con su contraste estadístico *(p = 0.05*) indicado por caracteres, donde un mismo carácter representa sin diferencia, caracteres distintos diferencia significativa. RS y RSS se refieren a riego superficial y subsuperficial respectivamente, D1 – D3 a las distintas densidades de siembra. Panel A muestra al cobre, panel B al Fierro, panel C al Zinc y panel D al Manganeso, todos en miligramos por kilogramo de masa seca. La línea verde representa el nivel inferior de suficiencia nutrimental

Conclusiones

De acuerdo con los resultados mostrados y analizados en este trabajo no existen diferencias contrastantes entre los indicadores de suficiencia nutrimental del maíz regado por riego superficial y riego subsuperficial, de igual manera la densidad de siembra no muestra ser un factor determinante para generar diferencias significativas en estos indicadores.

Referencias

Aguilar Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I., & Pérez-Ramírez, A. (2017). Crecimiento, rendimiento y rentabilidad del maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, *4*(12), 475-483. https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1000

Biasi Lic. Antonella de las Mercedes, Messina Dr. German Alejandro, Gómez Dra. Nidia Noemi. Determinación de Zinc en muestras de agua de ríos y red de la provincia de San Luis y aguas envasadas. Diaeta [Internet]. 2020 Dic [citado 2024 Ago 31] ; 38(173): 38-48. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73372020000400038&lng=es.

Brush, S.B., Corrales, M.B. & Schmidt, E. Agricultural development and maize diversity in Mexico. *Hum Ecol* 16, 307–328 (1988). https://doi.org/10.1007/BF00888449

Charles Burt, Stuart W. Styles (2007). Drip and Micro Irrigation Design and Management: For Trees, Vines, and Field Crops : Practice Plus Theory. Irrigation Training and Research Center.

García-Lara and Serna-Saldivar, (2019) S, Chapter 1 - Corn History and Culture, AACC International Press, Oxford (2019), pp. 1-18, DOI: 10.1016/B978-0-12-811971-6.00001-2

Hernadez-Muñoz Myriam E. Puente-Valenzuela Cristo O. García-Arjón Rubi. (2022) optimización de la cuantificación de nitrógeno total en suelo y tejido vegetal. XII Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Memoria. Villahermosa. Tabasco

Jr. Jones, J. Benton, Benjamin Wolf, Harry A. Mills (1991). Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide. Micro – Macro Publishing, Inc.

CRC Press. (1998). Handbook of Reference Methods for Plants Analysis. (K. Yash P., Ed.) Florida: CRC Press.

Plenecassagne, A., Romero-Fierro, E., & Lopez-Borrego, C. (1997). Manual de Laboratorio, Analisis de suelos, aguas, plantas. Gomez Palacio: CENID RASPA.

Reta Sánchez, David Guadalupe, Cueto Wong, José Antonio, Gaytán Mascorro, Arturo, & Santamaría Cesar, Jesús. (2007). Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Agricultura técnica en México*, *33*(2), 145-151. Recuperado en 31 de agosto de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172007000200004&lng=es&tlng=es.

IDENTIFICACIÓN DE BACTERIAS EN LA RIOZSFERA DE NOGAL Y EVALUACIÓN DE SU DESEMPEÑO AMBIENTAL

Janeth B. Carrillo-Castañeda[1], Cristo O. Puente-Valezuela[2]*,
Annette de la Cruz Gutiérrez Briachi[3]

[1]Sociedad Cooperativa Agropecuaria de la Comarca Lagunera, S.C.L. [2]Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA) INIFAP. [3]Instituto Tecnológico Superior de Lerdo *Autor por correspondencia: puente.cristo@inifap.gob.mx

Introducción

El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Las bacterias representan mucho menos de la mitad de la masa celular microbiana total. En suelos aireados predominan bacterias y hongos, mientras que en los ambientes que contienen poco oxigeno únicamente las bacterias son responsables de todos los cambios químicos y biológicos. (Cortez, 2022) Las bacterias de vida libre o asociativas que habitan la rizosfera pueden estimular el crecimiento de las gramíneas a través de mecanismos, como: síntesis de sustancias reguladoras del crecimiento vegetal, fijación de nitrógeno, solubilización de nutrimentos, producción de sideróforos y control de fitopatógenos del suelo. (Loredo et al., 2004). El género *Carya,* miembro de la familia *Juglandaceae*, comprende más de 20 especies, de las cuales trece son nativas de Estados Unidos de América y siete son cultivadas por sus nueces, siendo el nogal pecanero [*Carya illinoinensis (Wangenh*.) K. Koch] el único con importancia económica a nivel mundial. El objetivo del este trabajo está enfocado en encontrar aquellas bacterias que fueron aisladas en el cultivo de nogal (*Carya*) que son benéficas y patógenas además de conocer su desempeño enfocado al ambiente.

Materiales y métodos

El muestreo se realizó en 3 predios ubicados en la comarca lagunera; la topografía dominante es llanura. El clima es seco semiárido (BWhw), con un gradiente de precipitación entre 230 a 450 mm con la temperatura media anual de 20 a 22°C ((SRNyMA), 2017). Los nogales se encuentran de forma nativa en los tres predios por una edad de 20 años donde su producción es de 2 a 3 toneladas al año. Se elegio el muestreo de forma aleatoria para obtener una muestra representativa del suelo; el muestreo fue de 0 a 30 cm, de 30 cm a 60 cm y de 60 cm a 90 cm, las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente se trituraron para pasar a través de un tamiz de 2mm y se caracterizaron fertilidad, salinidad, tipo de suelo acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000. La conductividad eléctrica (CE) y pH se determinó mediante el equipo Hanna Intruments modelo HI98331 y HI98103 por extracto de pasta saturación también de acuerdo con la técnica NOM-021-RECNAT-2000.

Para la preparación de muestra microbiológica se pesaron 10 gramos del suelo eso se pasan a una bolsa en donde va a tener la codificación de dicha muestra, se le agregaron 90 ml de solución salina estéril y se dejaron activar 24 horas para enriquecer la muestra, Cuando ya pasaron las 24 horas de enriquecimiento este se pasa a tubos con 9 ml de solución salina estéril para hacer la técnica de dilución seriada en donde tres tubos van a tener diluciones de 10^{-2}, 10^{-3} y 10^{-4} sembraron las diluciones 10^{-2} y 10^{-4} en cajas Petri con agar nutritivo y se codificaron dichas cajas con la fecha de incubación y el código de la muestra.

Posteriormente se llevó a incubar por 48 horas a 25°C y pasado las horas se hace un conteo de las colonias que aparecieron, la preparación para incubarlo en el plato para su lectura fue tener un tubo con 11 ml de solución salina, meter un isopo (esterilizado) al tubo para que este tenga solución salina y así realizar un frotis de la bacteria que se clasifico al tubo para poder tomar la bacteria, al tener la bacteria en el isopo inocularlo en el tubo y homogenizarlo durante 40 segundos para desprender la bacteria del hisopo, ocurrido la homogenización se vacía en una charola en donde se tomara un microlitro y se pasara en cada pocillo llenando la microplaca teniendo esto se pone la fecha y deja en la incubadora a 24 horas a 35 ºC. Pasado el tiempo de incubación se realizará la lectura en el equipo BIOLOG en donde se colocaron las microplacas.

Resultados y discusión

De las muestras que se obtuvieron de los suelos con una profundidad de 0 cm a 30 cm, de 30 cm a 60 cm y de 60 cm a 90 cm, se observa que la textura en la que se encuentran el suelo del predio 1 y 2 está en forma franco arcillosa y franco en comparación con el tercer predio que se encuentra de forma arcillosa (Cuadro 1), por lo cual la textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene al igual que la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa.

Cuadro 1. Análisis fisicoquímicos de los tres predios

Determinación	Predio 1 *(x ± s)* (min – máx)	Predio 2 *(x ± s)* (min – máx)	Predio 3 *(x ± s)* (min – máx)
Clase Textural	Franco Arcillosa	Franco	Arcillosa
% de Saturación	33.67 ± 2.94 28.57 - 38.57	38.5 ± 0.71 38 - 39	63.38 ± 1.65 61.35 - 65.99
pH	8.02 ± 0.15 7.75 - 8.22	8.13 ± 0.35 7.78 - 8.7	8.68 ± 0.09 8.48 - 8.76
CE (% ds/m)	1.1 ± 0.28 0.8 - 1.49	0.98 ± 1.03 0.33 - 2.79	2.63 ± 0.32 2.29 - 3.05
MO (%)	0.79 ± 0.21 0.52 - 1.1	1.27 ± 0.33 0.79 - 1.69	3.78 ± 0.44 3.22 - 4.55
Nitratos (N-NO3) (ppm)	23.34 ± 5.06 17.37 - 33.7	71.38 ± 43.09 31.74 - 120.36	69.01 ± 38.3 30.05 - 138.18
Fosforo (ppm)	2.15 ± 2.4 0.31 - 8.9	22.23 ± 13.39 11.92 - 42.81	112.99 ± 29.43 79.81 - 153.91
Potasio (ppm)	577.52 ± 160.07 307.71 - 785.23	1171.27 ± 329.75 695.05 - 1454.51	3890.04 ± 554.34 3232.19 - 4693.17

Los tres predios muestran un pH tomando con el valor más alto el predio 3 con 8.68, con el predio 2 de 8.13 y el predio 1 con 8.02 estos valores indican se encuentran en el rango de ser un suelo alcalino y que son abundantes de minerales como el calcio, potasio, fósforo, magnesio y molibdeno. En los suelos el pH es una propiedad química de mucha importancia porque indica que tan ácida o alcalina es la solución del suelo, que es de donde las raíces y los microorganismos del suelo toman sus nutrientes (Osorio, 2012). En cuanto a la conductividad eléctrica de los 3 predios está en un rango que es aceptable ya que para tener un suelo con buena fertilidad este debe de ser menor a 3 dS/m (NOM-021-RECNAT-2000, 2000) el predio 1 tiene una conductividad del 1.1 dS/m, el predio 2 de 0.98 dS/m y el predio 3 de 2.63 dS/m.

Microbiota encontrado en el equipo BIOLOG. Se aislaron 28 géneros de bacterias (Figura 1), dentro de esos géneros 50 especies fueron encontradas, las especies más abundantes fueron del género *pseudomonas* estas con 16% (8 especies), los géneros menos abundantes de especies son *Nesisseria* con 10% (5 especies), *Methylobacterium, Kingella* y *Klebsiella* con 6% (3 especies), *Leuconostoc, Moraxella, Achorombacter, Bordetella* y *Lactobacillus* con un 4% (2 especies) y por último *Mycobacterium, Cupriaviadus, Acinetobacter, Bacillus, Deinococcus, Roseomonas, Kerstersia, Aquaspirillum, Novosphingobium, Inquilinus, Haemophilus, Paenibacillus, Massilia, Weissella, Pediococcus, Enterobacter, Aeromonas* y *Brevundimonas* con un 2% (1 especies) de las 50 especies encontradas.

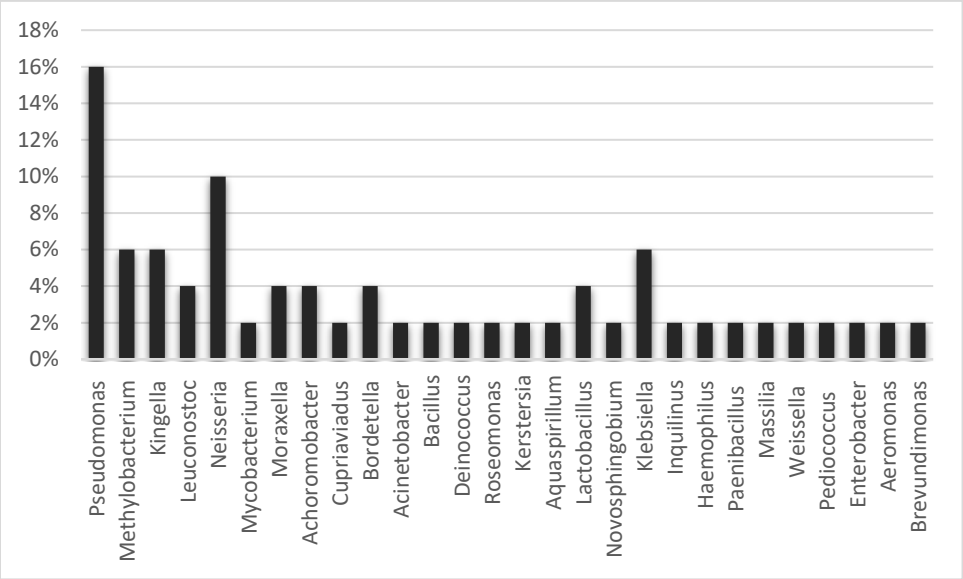


Figura 1. Bacterias clasificadas por género/especie representación de género y especie encontrada representada por porcentaje a base de 50 especies

Desempeño ambiental de las bacterias. De los 28 géneros encontrados y realizando una revisión de literatura se determinó el desempeño que tiene y en estas se encontró los beneficios que están dan como es a las plantas, suelo y agua

Tabla 2. Desempeño de las bacterias en aspecto ambiental

Bacterias	Desempeño ambiental	Referencia
Pseudomonas	Producción de sideróforos, solubilización de fósforo y producción de fitohormonas	(Carrillo, 2022)
Methylobacterium	Producción de fitohormonas y la capacidad de fijar nitrógeno	(Ryu, 2006)
Kingella	Bioderremediacion de suelos contaminados con metales pesados	(Bibi, 2024)
Leuconostoc	Producción de exopolisacáridos	(Castilla Marroquín, 2019)
Mycobacterium	Degradan hidrocarburos aromáticos policíclicos	(Zeng, 2010)
Moraxella	Biorremediación de sustancias químicas tóxicas en el suelo	(Errampalli, 1999)
Achorombacter	Contribuyen sinérgicamente a la rápida biodegradación del imidacloprid en los suelos. Degradación del N -fenilcarbamato de isopropilo (IPC) (Degradación de insecticida y herbicida)	(Gao, 2021) y (Clark, 1970)
Cupriaviadus	Degrada el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (Degradación de herbicida)	(Chang, 2015)
Bordetella	Degradación de bencenos clorados y mineralizar 1,2,4-triclorobenceno (Degradación de insecticida)	(Wang, 2007)
Acinetobacter	Mineralización aeróbica de la materia orgánica en la naturaleza	(Baumann, 1968)
Bacillus	Biocontrol de patógenos vegetales y la promoción del crecimiento de las plantas promover el crecimiento de las plantas mediante la fijación de nitrógeno, la solubilización de fosfato y la producción de fitohormonas. control biológico, biofertilización y bioestimulación	(Miljaković, 2020)
Deinococcus	Limpieza de sitios contaminados con desechos radiactivos	(Jaafar, 2016)
Roseomonas	Biorremediación de metales pesados contaminados	(Sun, 2020)
Kerstersia	Decolora aeróbicamente colorantes azoicos sulfonados que contienen naftaleno	(Vijaykumar, 2007)
Aquaspirillum	Degradación de cloroanilina (Degradación de herbicida)	(Surovtseva E G)
Lactobacillus	Absorción de Cd Absorción de metales pesados.	(Li X. L., 2023)
Novosphingobium	Rizorremediación en suelos contaminados con metales pesados	(Lee, 2023)
Klebsiella	Degrada el epoxiconazol y la piraclostrobina (Biodegrada funguicida)	(Lopes, 2010)
Inquilinus	Producción de ácidos orgánicos, ácido indol-3-acético y sideróforos, 1-aminociclopropano-1- actividad carboxilato desaminasa y solubilización de Ca 3 (PO 4) 2), y mayor resistencia a As, Zn y Cd	(Rangel, 2017)
Haemophilus	Biodegradación de los hidrocarburos aromáticos policíclicos	(Haritash, 2009)
Paenibacillus	Fijación de nitrógeno atmosférico, la solubilización del fósforo del suelo y la absorción de micronutrientes, y la producción de fitohormonas y metabolitos antimicrobianos	(Govindasamy, 2010)
Massilia	Degrada el herbicida cloroacetamida, tiene solubilización de fosfato y puede mejorar el contenido de fósforo disponible en el suelo y mejorar el ambiente del suelo son resistentes a múltiples metales pesados puede degradar contaminantes orgánicos del aire gaseosos tóxicos, como benceno, tolueno, etilbenceno e isómeros de xileno, solubilización de fósforo; también pueden promover el crecimiento de las plantas y aumentar la tasa de supervivencia de las plantas en ambientes hostiles.	(Xu, 2023)
Weissella	Son capaces de producir exopolisacáridos EPS	(Fhoula, 2022)
Pediococcus	Producción de exopolisacáridos	(Nguyen, 2020)
Enterobacter	Fijación de nitrógeno, la solubilización de fósforo del suelo, la producción de antibióticos, la capacidad de secretar productos de sideróforos, quitinasa, ACC desaminasa, enzimas hidrolíticas además de exopolisacáridos y la mejora de la porosidad del suelo,promueven el crecimiento de las plantas y suprimen los patógenos vegetales transmitidos por el suelo.	(Jha, 2011)
Aeromonas	Biodegradación de metales pesado y herbicidas. Absorción de cadmio (Cd) y plomo (Pb) y propiedades superficiales. Degrada el paraquat	(Ibrahim, 2020) y (Viriyawattana, 2014)
Brevundimonas	Proteger a las plantas de la toxicidad de los metales pesados y otras tensiones ambientales.	(Zaim, 2023)

Conclusiones

Con base al estudio realizado en esta investigación se encontró que existe poca información acerca de las bacterias que existen en los cultivos frutales (Nogal) que es uno de los cultivos que ocupa más 133 mil hectáreas en la comarca lagunera (SIAP-SAGARPA, 2015) y es de suma importancia para los agricultores conocer este tipo de información para la producción de la nuez.

El microbiota encontrado con ayuda del equipo BIOLOG fue de 28 géneros con un total de 50 especies; el género bacteriano con mayor frecuencia dentro de las bacterias aisladas encontradas correspondió a *Pseudomonas* con un 16% (8 especies) En donde su enfoque en la parte ambiental estas se desempeñan en la producción de sideróforos, solubilización de fósforo, producción de fitohormonas, capacidad de fijar nitrógeno, biodegradación de insecticida y herbicida, biorremediación de metales pesados, biorremediación de sustancias químicas tóxicas en el suelo, promueven el crecimiento de las plantas y suprimen los patógenos vegetales.

Referencias

Ahemad, M. y. (2013). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University - Science*, 26(1), 1-20. .

Arellano, J. D. (2006). ASPECTOS SOBRE PRODUCCIÓN, ORGANIZACIÓN DE PRODUCTORES Y COMERCIALIZACIÓN DEL CULTIVO DE LA SANDÍA EN LA COMARCA LAGUNERA. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 10(19).

Baumann, P. (1968). Isolation of Acinetobacter from soil and water. *Journal of bacteriology*, 39-
. *Comité Editorial del Campo Experimental Edzná. Folleto Técnico. Serie INIFAP*, 35.

Carrillo, R. S. (2022). Pseudomonas spp. be néficas e n la a gricultura. *Revista Mexicana de Ciencias AgríColas*.

Chang, Y. C. (2015). Bio-augmentation of Cupriavidus sp. CY-1 into 2, 4-D contaminated soil: microbial community analysis by culture dependent and independent techniques. *PLoS One*.

NUTRI-ESTIMULACIÓN VEGETAL PARA INCREMENTAR LA CALIDAD DE NUEZ EN HUERTAS DE NOGAL EN DURANGO, MÉXICO

Donaji Sierra-Zurita[1]*, Rigoberto Rosales-Serna[1], Omar Castor Ponce-García[2]

[1]INIFAP - Campo Experimental Valle del Guadiana. Carretera Durango - El Mezquital km 4.5. Durango, Dgo., México. C. P. 34170. [2]INIFAP - Campo Experimental Delicias, km 2 Carretera Delicias - Rosales Centro, Cd. Delicias, Chih., México. C. P. 33000. *Autor de correspondencia: sierra.donaji@inifap.gob.mx

Introducción

El nogal (*Carya illinoinensis*) es una especie que requiere nutrición abundante y equilibrada; combinada, con un suministro adecuado de agua para producir nueces con valores altos de calidad comercial y nutricional. Se considera que los elementos más importantes para la nutrición de los árboles de nogal son el nitrógeno (N) y zinc (Zn). A pesar de lo anterior, la respuesta más evidente se observa con aplicaciones de nitrógeno en suelos deficientes para este elemento, aunque la respuesta es lenta y puede durar varios años en la manifestación de sus efectos (NMU, 2005).

La cantidad de fertilizante requerido por los árboles de nogal depende de la altura, edad, rendimiento esperado y tipo de suelo. Se considera que los árboles jóvenes y pequeños responden más rápidamente a las aplicaciones de nitrógeno; además, se debe considerar la esperanza de cosecha, entre más alta sea, se requieren cantidades mayores y se ha observado que en suelos arenosos se registra respuesta alta a las aplicaciones de este elemento.

La aplicación regular de zinc es necesaria, al igual que el hierro quelatado y fósforo, estos últimos especialmente en suelos con reacción alcalina, debido a que no están disponibles para la planta, aunque el análisis de suelo registre su presencia en cantidades adecuadas (NMU, 2005). Se han recomendado algunos equipos para determinar la situación actual de la nutrición (principalmente nitrogenada) de la planta, como es el caso del clorofilómetro, el cual determina la eficiencia de las aplicaciones de nitrógeno en cultivos agrícolas (Kamarianakis y Panagiotakis, 2023).

Se considera, que la aplicación de algunas hormonas en nogal, pueden atenuar los efectos de la alternancia productiva presente en árboles de nogal (Coronado et al., 2015; Kaur et al., 2021), al mismo tiempo que se favorecen incrementos en el tamaño de la nuez y almendra, con lo que, se mejora la calidad comercial y nutricional de este producto. Una de las hormonas más communes en el mercado son las giberelinas (ácido giberélico; AG_3), las cuales regulan diferentes rutas metábolicas, incluidas las que se relacionan con la inducción floral, respuesta al fotoperiodo y tolerancia al estrés ambiental.

La actividad más importante del ácido giberélico durante la floración es la inducción de la fertilidad, además influye en la división celular, dormancia de los brotes, tasa de división celular e inducción del crecimiento en temperaturas bajas (Kaur et al., 2021). En Durango, se desconoce el efecto de la fertilización y aplicación exógena de hormonas sobre el tamaño y calidad de la nuez producida localmente. Se han realizado algunos intentos para incrementar la calidad comercial de la nuez, mediante el aumento del tamaño. Con base en lo anterior, se buscó determinar la influencia de la fertilización y el suministro de agua sobre este atributo de la nuez en las variedades más populares en Durango, que son Western y Wichita. El objetivo fue evaluar los efectos de la nutrición y estimulación (nutri-estimulación) vegetal para incrementar la productividad y calidad de la nuez en huertas de nogal establecidas en Durango, México.

Materiales y métodos

Sitio de estudio. El estudio se llevó a cabo en 2024, en una huerta comercial establecida bajo condiciones de riego en J. Refugio Salcido, Municipio de Durango, Dgo., México. Las variedades evaluadas fueron Western y Wichita, con árboles de 24 años de edad, plantados en sistema de marco real a una distancia de 12 m x 12 m (70 árboles ha^{-1}). El suelo predominante es franco arcilloso, con capacidad intermedia para la retención de humedad, profundidad media (1.5 a 2.0 m), pH neutro (7.2) y niveles bajos de materia orgánica (0.8%), nitrógeno (12.2-27.2 kg ha^{-1}) y fósforo (6.5-10.3 ppm). El clima predominante es templado semiárido, con régimen de lluvias en verano y fluctuación fuerte de la temperatura, con un valor anual promedio de 17.4 °C. La lluvia acumulada durante el año alcanza un promedio de 476 mm, con valores altos entre junio y septiembre. Los tratamientos evaluados fueron: 1. Dosis baja de fertilización (180-30-61 N_2-P_2O_5-K_2O), 2. Dosis media de fertilización (200-50-100), 3. Dosis alta de fertilización (220-100-150), 4. Ácido giberélico (AG_3) en dosis de 25 ppm + Agromil plus ® 1 mL L^{-1}, 5. Ácido giberélico (AG_3) 25 ppm + Tidiazuron (TDZ) 20 ppm y 6. Testigo. Los tratamientos de fertilización vía soluble se aplicaron en combinación con el riego, el 19 de junio y 30 de julio; mientras que, los reguladores de crecimiento se asperjaron al follaje. Los tratamientos con reguladores de crecimiento se iniciaron a partir del amarre de fruto, con intervalos de 15 días (Pérez et al., 2009) realizándose aplicaciones al follaje con una aspersora de mochila con capacidad de 25 L.

Las mediciones se realizaron 15 (Muestreo 1) y 48 (Muestreo 2) días después del inicio de la aplicación de los tratamientos de fertilización y estimuladores del crecimiento. Las evaluaciones se realizaron en la etapa de desarrollo conocida como fructificación o “amarre de fruto” y se utilizaron las hojas generadas en los puntos de crecimiento del año 2024. Se determinó el contenido de clorofila (CC) en las dos variedades (Western y Wichita), con el clorofilómetro atLEAF CHL PLUS ver 1.2 (Wilmington, USA). Se seleccionó el tercer folíolo de hojas sanas y se evitaron las venas, sobre todo la central (Fernández et al., 2006). Se insertó el folíolo terminal en el medidor de clorofila y se registró el valor mostrado por el equipo. También, se midió la longitud (diámetro polar) y anchura (diámetro ecuatorial) de las estructuras reproductivas femeninas, ubicadas en la parte media del dosel de los árboles de la variedad Western. Las mediciones se realizaron con un vernier digital Mitutoyo® en un total de 20 nueces por árbol, con tres repeticiones.

El análisis de varianza de los datos obtenidos para cada muestreo se realizó en un diseño completamente aleatorio, con arreglo factorial (variedad y tratamiento de fertilización) y tres repeticiones por tratamiento. Cuando se registraron diferencias estadísticamente significativas se realizó la comparación de medias con base en la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). El análisis de varianza y la comparación de medias se realizaron mediante el uso del paquete estadístico Statgraphics versión plus 5.1 (Statistical Graphics Corp., Manugistics, Inc., Cambridge, MA, EUA).

Resultados y discusión

Contenido de clorofila. En ambas variedades de nogal, se observó igualdad estadística, entre tratamientos, para los valores de clorofila (Figuras 1). Lo anterior, se relacionó con la presencia de valores adecuados para el contenido de nitrógeno en los tejidos foliares de los árboles bajo estudio. Lo anterior, debido a que se ha demostrado que la aplicación de fertilizante, sin importar la dosis ni el método de aplicación, influye de manera limitada sobre la concentración total de macro y micronutrientes en las hojas (Cruz et al., 2020). Además, se demostró que la relación entre las lecturas de clorofila y el contenido de nitrógeno foliar depende de los factores ambientales y las características de las especies (Xiong et al., 2015).

Los resultados, mostraron que el equipo medidor de clorofila presentó sensibilidad limitada para diferenciar el nivel de nitrógeno en hojas de árboles de nogal que incluyen fertilización nitrogenada en su programa regular de manejo.

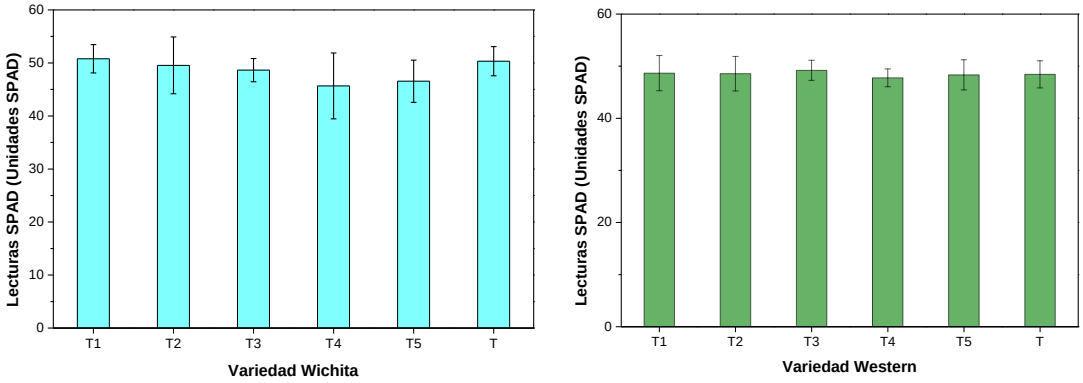


Figura 1. Contenido de clorofila evaluado en huertas de nogal con varios tratamientos de fertilización. Primer muestreo. T1. Dosis baja de fertilización (180-30-61 N_2, P_2O_5 y K_2O), T2. Dosis media de fertilización (200-50-100), T3. Dosis alta de fertilización (220-100-150), T4. Ácido giberélico (AG_3) + Agromil plus ®, T5. Ácido giberélico (AG_3) + Tidiazuron (TDZ) y T. Testigo del productor.

Variables morfológicas. El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) únicamente para el diámetro polar en el primer muestreo; mientras que, en el segundo muestreo se registraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para diámetro polar y ecuatorial (Cuadros 1 y 2). En el primer muestreo, la mayoría de los tratamientos mostraron igualdad estadística para el diámetro ecuatorial (12.4 a 12.8 mm) y únicamente la dosis media de fertilización (11.7 mm) presentó un valor significativamente inferior (Cuadro 1). En el mismo muestreo, se observó que la aplicación de giberelinas (T4 y T5) (34.4 a 35.6 mm) superaron de forma significativa al resto de los tratamientos bajo estudio (31.4-33.9 mm). En el segundo muestreo, se observó superioridad estadísticamente significativa de los tratamientos con giberelinas, tanto para el diámetro ecuatorial (20.8 a 21.6 mm) como para el diámetro polar (50.6 a 52.4 mm). El resto de los tratamientos mostraron un diámetro ecuatorial entre 20.2 y 21.2 mm; mientras que, para el diámetro polar se registraron valores entre 45.6 y 49.4 mm. Los resultados obtenidos coincidieron con los presentados en otros estudios, que mostraron la influencia de las giberelinas sobre el crecimiento de los meristemos apicales de los frutos del nogal.

Cuadro 1. Dimensiones de la nuez obtenida en árboles de nogal variedad Western con varios tratamientos de fertilización. Primer muestreo.

Tratamientos	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)
T1	12.4^{ab}	31.4^{d}
T2	11.7^{b}	32.1^{d}
T3	12.5^{a}	32.8^{cd}
T4	12.6^{a}	34.4^{ab}
T5	12.8^{a}	35.6^{a}
Testigo	12.8^{a}	33.9^{bc}

1. Dosis baja de fertilización (180-30-61 N2, P2O5 y K2O), 2. Dosis media (200-50-100), 3. Dosis alta (220-100-150), 4. Ácido giberélico (AG3) + Agromil plus ® 1 mL L-1, 5. Ácido giberélico (AG3) + Tidiazuron (TDZ) y 6. Testigo del productor. a-dLetras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa (Tukey, $p \leq 0.05$).

El incremento en el diámetro polar de la nuez se relacionó con la prioridad para incrementar el crecimiento en longitud (Byford, 2005), por la dominancia del ápice de cada fruto durante el periodo de alargamiento de la nuez. Posteriormente, se incrementó el diámetro ecuatorial durante el periodo de crecimiento del fruto, endurecimiento del endocarpo y acumulación de nutrientes y minerales en la almendra. Los fotoasimilados y materiales de reserva que se acumulan en la almendra son translocados a la nuez desde las hojas y tallos cercanos (Byford, 2005).

Cuadro 2. Dimensiones de la nuez obtenida en árboles de nogal variedad Western con varios tratamientos de fertilización. Segundo muestreo.

Tratamientos	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)
T1	21.2^{b}	47.2^{b}
T2	20.6^{bc}	45.6^{b}
T3	20.6^{bc}	46.6^{b}
T4	21.6^{a}	50.6^{a}
T5	20.8^{abc}	52.4^{a}
Testigo	20.2^{c}	49.4^{b}

1. Dosis baja de fertilización (180-30-61 N_2, P_2O_5 y K_2O), 2. Dosis media (200-50-100), 3. Dosis alta (220-100-150), 4. Ácido giberélico (AG_3) + Agromil plus ®, 5. Ácido giberélico (AG_3) + Tidiazuron (TDZ) y 6. Testigo del productor. $^{a\text{-}c}$Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa (Tukey, $p \leq 0.05$).

Conclusiones

La aplicación de gibelinas incrementó el diámetro polar y ecuatorial en frutos de la variedad Western. Las lecturas del contenido de clorofila medida en hojas de las variedades Western y Wichita, cultivadas en Durango, resultaron poco efectivas en la determinación del nivel de nutrición.

Agradecimientos

Se agradece al INIFAP el apoyo otorgado para el desarrollo del presente estudio a través del proyecto 11174536427: “Manejo nutrimental y aplicación de estimuladores para aumentar el tamaño del fruto en nogal pecanero en la zona productora de Durango”.

Referencias

Byford, R. 2005. Growth and development of pecan nuts. NMU (New Mexico State University). Guide H-618. Las Cruces, NM. USA. 4 p. Consultado en línea 16/08/2024. https://pubs.nmsu.edu/_h/H618/index.html

Coronado G., M. A., J. J. Meza M., M. García P., V. G. Santiago H., y A. Córdova Y. 2015. Análisis de la inversión bajo distintos esenarios productivos del nogal pecanero en la Sierra de Sonora. Revista Mexicana de las Ciencias Agrícolas 6(2): 407-415.

Cruz A., O., O. A. Hernández R., J. L. Jacobo C., G. Ávila Q., E. Morales M., R. A. Parra Q., L. Robles H., and D. L. Ojeda B. 2020. Nitrogen fertilization in pecan and effect on leaf nutrient concentration, yield and nut quality. Revista Chapingo Serie Horticultura 26(3): 163-173.

Fernández, V., V. del Río, J. Abadía, y A. Abadía. 2006. Foliar iron fertilization of peach (*Prunus persica* (L.) Batsch.): effects of iron compounds, surfactants and other adjuvants. Plant Soil 289: 239-252.

Kamarianakis, Z., and S. Panagiotakis. 2023. Design and implementation of a low-cost chlorophyll content meter. Sensors 23(5): 2699, 1-26.

Kaur, A., N. Maness, L. Ferguson, W. Deng, and L. Zhang. 2021. Role of plant hormones in flowering and exogenous hormone application in fruit/nut trees: a review of pecans. Fruit Research 1: 1-15.

NMU (New Mexico State University). 2005. 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.

Pérez B., M. H., V. Vázquez V., J. A. Osuna G. y M. A. Urías L. 2009. Incremento del amarre y tamaño de frutos partenocárpicos en mango 'Ataulfo' con reguladores de crecimiento. Revista Chapingo. Serie Horticultura 15(2): 183-188.

Xiong, D., J. Chen, T. Yu, W. Gao, X. Ling, Y. Li, S. Peng, and J. Huang. 2015. SPAD-based leaf nitrogen estimation is impacted by environmental factors and crop leaf characteristics. Scientific Reports 5: 13389, 1-12.

ESTUDIOS DASOMÉTRICOS EN RELACIÓN CON LOS NIVELES DE SOMBREADO EN HUERTAS DE NOGAL EN DURANGO, MÉXICO

Rigoberto Rosales-Serna[1], Donaji Sierra-Zurita[1]*, Juan José Trejo-Gaytán[2], Julio César-Ríos Saucedo[1]

[1]INIFAP - Campo Experimental Valle del Guadiana. Carretera Durango - El Mezquital km 4.5. Durango, Dgo., México. C. P. 34170. [2]TECNM-Instituto Tecnológico Superior de Santa María del Oro. Carretera a San Bernardo km 2, Fraccionamiento Puerto Pinto Santa María del Oro, Dgo., México. C. P. 35697. *Autora para correspondencia: sierra.donaji@inifap.gob.mx

Introducción

Se observa fuerte variación intra e inter - poblacional en huertas de nogal pecanero [*Carya illinoinensis* (Wangenh.) K. Koch] establecidas en Durango, México. Lo anterior, es debido a una compleja interacción entre diferentes factores genético-ambientales, que incluyen los materiales usados para el injerto de las variedades comerciales (Western y Wichita), factores agroclimatológicos y el manejo agronómico aplicado a la huerta. La cantidad acumulada de lluvia y patrones de temperatura son los factores agroclimatológicos más importantes en la producción de nuez en Durango, donde se obtienen nueces de tamaño reducido. La disponibilidad de agua de lluvia en el Altiplano Semiárido de México es limitada y se combina con irregularidad de ocurrencia y demanda hídrico-ambiental alta, ocasionada por los niveles altos de temperatura, lo que incrementa la necesidad de riego de auxilio. Se ha observado que además de la lluvia acumulada, se requieren por lo menos 6 riegos pesados (Lámina de riego = 20 cm), para abastecer las necesidades hídricas del nogal (1,363 mm a 2,100 mm) (Cruz et al., 2023). Las huertas establecidas en Durango, muestran niveles bajos e intermedios de supervivencia de plantas de nogal, por lo que se requiere reposición constante de individuos, por errores de plantación, manejo agronómico deficiente, falta de riego oportuno y presión fuerte de diferentes patógenos, causantes de las enfermedades. Además, se han modificado constantemente las distancias entre hileras y árboles, las cuales fluctúan entre 12 m x 12 m hasta 15 m x 25 m en huertas modernas, así como el tipo de poda de formación que realizan los productores.

Las variaciones genéticas, agroclimáticas y de manejo agronómico acentúan la alternancia productiva y fluctuación del rendimiento de las huertas de nogal; así como, en la calidad de la nuez, producida en Durango. En esta entidad, se busca la implementación de prácticas agronómicas que contribuyan a revertir la producción de nueces pequeñas y con ello, mejorar la calidad comercial del producto. El incremento del ingreso de luz a los estratos inferiores del dosel vegetal, fortalece la fuente de carbohidratos para abastecer la demanda generada por los frutos y al mismo tiempo, se puede mejorar el rendimiento y calidad de la nuez (Nesbitt et al., 2015). Las variaciones para la irradiancia registrada en los diferentes estratos de las huertas de nogal se relacionan con las distancias de plantación, edad de la arboleda y niveles de poda. La cantidad de radiación fotosintéticamente activa (RFA) que incide en las nogaleras es otro factor importante en la productividad de la huerta y calidad de las nueces. Por ello, se recomienda obtener un balance adecuado mediante la modernización de las huertas y manejo preciso de las podas de formación, fructificación y rejuvenecimiento. Para lograr lo anterior, se requiere un estudio encaminado al diagnóstico objetivo de las variables dasométricas más importantes en el estudio de especies arbóreas, en este caso aplicadas al nogal.

Se requieren diferentes instrumentos para la medición de la altura del árbol y otras variables dasométricas; así como, el nivel de irradiancia que ingresa al dosel vegetal en las huertas de nogal. El altímetro (Pistola Haga, Hípsómetro) es uno de los instrumentos más utilizados actualmente para la evaluación de la altura de árboles de especies forestales, el cual puede utilizarse en la medición de altura de árboles de nogal, que puede alcanzar entre 30 y 43 m de altura (Moore, 2001), dependiendo de la edad y manejo. La cinta diamétrica es utilizada para la evaluación de las dimensiones del tronco (fuste) (Izco y Artiz, 2022), en lo que es el diámetro normal (Dn), que se determina a una altura de 1.3 m; así como, el diámetro basal (Db) determiando cerca de la corona, es decir la unión entre la raíz y el tallo principal. Otras medidas, determinadas en especies arbóreas es la altura (longitud) de la copa, establecida con el altímetro desde el inicio de ramas bien definidas y hasta el ápice del árbol (Arias, 2005). Además, se mide el diámetro promedio de la copa con el uso del longímetro en dos direcciones y el cálculo del valor medio. El ceptómetro es un aparato que se utiliza para medir la incidencia de la radiación fotosintéticamente activa (RFA), con la finalidad de establecer el nivel de radiación que ingresa al dosel de los árboles establecidos en la huerta de nogal. Con ello, se pueden establecer los ajustes necesarios para optimizar la productividad en los árboles de nogal y al mismo tiempo obtener nueces de calidad alta desde el punto de vista comercial. El objetivo fue evaluar variables dasométricas y establecer su influencia sobre el nivel de sombreado en huertas de nogal establecidas en Durango, México.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio. El estudio se llevó a cabo en 2024, en tres huertas comerciales establecidas en el área del Valle del Guadiana en el Municipio de Durango, Dgo., México (Cuadro 1). Las variedades más comunes en las huertas de nogal fueron Western (60 a 80%) y Wichita (20 a 40%), con árboles de 24 a 60 años de edad, plantados en sistema de marco real a una distancia de 12 m x 12 m (70 árboles ha^{-1}) y hasta 10 m x 25 m (40 árboles ha^{-1}), entre árboles e hileras. El suelo predominante en la región es franco (Castañozem y Vertisol), con textura arenosa y arcillosa, con capacidad intermedia para la retención de humedad, profundidad media (1.5 m a 2.0 m), pH neutro a medio alcalino (7.2 a 8.2) y niveles bajos de materia orgánica (0.8%), nitrógeno (12.2-27.2 kg ha^{-1}) y fósforo (6.5-10.3 ppm). El clima predominante es templado semiárido, con régimen de lluvias en verano y fluctuación fuerte de la temperatura, con un valor anual promedio de 17.4 °C. La lluvia acumulada durante el año alcanza un promedio de 500 mm, con valores altos entre junio y septiembre.

Cuadro 1. Información proporcionada por los productores cooperantes de las huertas utilizadas en estudios dasométricos.

Huerta	Edad (años)	Superficie Utilizada (ha)	Distancia (m) entre árboles	Distancia (m) entre hileras	Poda
[1]GS1	60	5.6	20	20	[2]F y R
GS2	25-30	21.4	10	20	FO
JRS	24	5.4	12	12	FO

[1]GS1 = Gabino Santillán 1, GS2 = Gabino Santillán 2, JRS = José Refugio Salcido, Dgo. [2]F = fructificación, R = rejuvenecimiento y FO = formación.

Variables evaluadas. Se determinaron las variables altura total del árbol (h), diámetro basal (Db) y diámetro normal (Dn), altura de copa (AC), diámetro de copa (DC) y la radiación fotosintéticamente activa (RFA) incidente en interior de la huerta. La altura total (h) se determinó con el altímetro o telémetro (Pistola Haga), desde la superficie del suelo y hasta el ápice del árbol. La distancia de evaluación varió entre m 10 y 25 m, dependiendo de la altura de los árboles. Los diámetros del tallo se evaluaron con una cinta diamétrica a una altura de 1.3 m (Dn) y en la corona (Db), a 10 cm de la superficie del suelo. La AC se midió de la misma forma que la altura total, desde la primera rama distinguible en la parte basal del dosel y hasta el ápice del árbol. El DC se midió en dos direcciones, con la cinta métrica, en el sentido paralelo y trasversal a la hilera del árbol, para luego calcular el valor promedio. La radiación fotosintéticamente activa (RFA) se evaluó con el ceptómetro (PAR Sunfleck) en seis puntos equidistantes de cada huerta, intercalando una evaluación en la parte externa y otra en el interior de la huerta de nogales. Las mediciones se realizaron a las 9:00 h, 12:00 h y 15:00 h.

El análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó con base en estadística descriptiva (promedios y error típico o estándar de la media), mediante el uso del programa de cómputo Excel (Microsoft®).

Resultados y discusión

Variables dasométricas. La altura de los árboles de las variedades Western (22.5 m) y Wichita (23.0 m) fue mayor en la huerta de más edad (60 años), debido al manejo tradicional que se proporcionó al lote, donde hasta hace algunos años se inició la práctica de la poda de fructificación y rejuvenecimiento. También, se inició la plantación de árboles jóvenes e injertado en patrones ya establecidos, para recuperar la productividad de la huerta. En los otros lotes se observó altura menor (10 m a 16 m), con los árboles más altos en la variedad Western de la huerta GS2 y menor en Wichita (10.0 m a 10.4 m), debido a replantación en la huerta y tipo de poda realizado (formación, fructificación y rejuvenecimiento). En GS2, se observó menor altura en la variedad Wichita (Cuadros 1 y 2), debido a que se está tratando de incrementar la proporción de esta variedad mediante el injerto de patrones criollos, establecidos previamente para su uso como polinizadores.

Cuadro 2. Variables dasométricas evaluadas en tres huertas de nogal establecidas en tres sitios de Durango.

Huerta	[1]AP (m)	Dn (cm)	Db (cm)	AC (m)	DC (m)
	Western				
[2]GS1	22.5±1.0	64.7±1.7	72.8±1.6	19.6±1.0	16.5±0.4
GS2	16.6±0.8	50.1±2.4	55.0±2.6	13.9±0.7	15.5±0.7
JRS	10.8±0.3	31.4±0.9	33.8±0.8	9.6±0.3	10.7±0.3
	Wichita				
GS1	23.0±1.2	56.9±2.2	68.8±2.7	20.4±1.1	15.1±0.7
GS2	10.4±0.6	20.3±1.9	30.7±4.3	9.3±0.6	7.1±0.5
JRS	10.0±0.3	32.8±1.2	33.6±0.7	8.8±0.3	10.2±0.4

[1]AP = Altura de Planta, Dn = Diámetro Normal 1.3 m, Db = Diámetro Basal, AC = Altura de Copa y DC = Diámetro de Copa. [2]GS1 = Gabino Santillán 1, GS2 = Gabino Santillán 2, JRS = José Refugio Salcido, Dgo.

El diámetro normal (Dn = 56.9 cm a 64.7 cm) y basal (Db = 68.8 cm a 72.8 cm) del tronco fue mayor en los árboles de la huerta GS1, con edad mayor; mientras que en el resto de las huertas fluctuó entre 20.3 cm a 50.1 cm para Dn y 30.7 cm a 55.0 cm para Db. En la huerta GS2 se observaron variaciones considerables en ambos diámetros del tallo debido, especialmente en la variedad Wichita, debido a la presencia de injertos sobre patrones criollos de edad avanzada. La altura de la copa mostró correspondencia con la edad de la huerta, con valores más altos en la variedad Wichita (20.4 m) y Western (19.6 m) con 60 años de edad, aunque ésto se relacionó también con la falta de podas de formación.

El resto de las huertas mostraron entre 8.8 m a 13.9 m, debido a la modernización del manejo agronómico, que incluye la poda como práctica anual, realizada en febrero, antes de la brotación de los árboles de nogal. Por su parte, el diámetro de copa fue mayor en las huertas de edad mayor (60 años), con 15.1 m en Wichita y 16.5 m en Western. El nivel más bajo de esta variable se observó en la variedad Wichita en GS2, con 7.1 m, debido a la presencia de injertos en varios árboles con la finalidad de rejuvenecer la huerta, utilizar patrones criollos ya establecidos e incrementar la proporción de árboles de la variedad Wichita, por sus características de alternancia productiva menos marcada (comparada con Western) y valores altos para el rendimiento, combinados con la calidad comercial de la nuez. Las variaciones intra e interpoblacionales registradas en las las huertas de nogal, evaluadas en el presente estudio, dificultaron el uso de variables dasométricas para el desarrollo de ecuaciones alométricas que permitan predecir el rendimiento de nuez en Durango.

Se observó que la altura de la planta influyó de forma considerable sobre la cantidad de RFA que incide sobre el dosel vegetal y el suelo de las huertas de nogal en Durango (Figura 1). En los árboles de altura menor (10 m), se observaron dos grupos relacionados con la distancia entre los árboles de nogal, con valores de alrrededor de 65% de sombreado en arboledas plantadas a una distancia de 10 m x 20 m (GS2) y niveles de hasta 80% en la huerta plantada a 12 m x 12 m (JRS). Los valores superiores de sombreado se registraron en la huerta con árboles de altura y edad mayor (GS1), lo que se relacionó con copas más altas y con diámetro mayor, derivado del manejo agronómico tradicional que se aplicó durante décadas a la arboleda. Se debe considerar que, el nogal necesita una cantidad de luz adecuada, con intensidad fotosintética óptima, la cual supera a la de otros frutales, por lo que se le cataloga como un cultivo con poca tolerancia al sombreado (Gómez et al., 2006). La intercepción de la luz solar aumenta conforme la copa del árbol se expande y dicho incremento en área foliar, combinado con una distribución homogénea de luz en la copa del árbol y el incremento en la eficiencia fotosintética de la hoja, representan un factor importante en la producción de fotoasimilados y consecuentemente, sobre el crecimiento, desarrollo y productividad del árbol (Wood, 1996); así como en la calidad de la nuez obtenida.

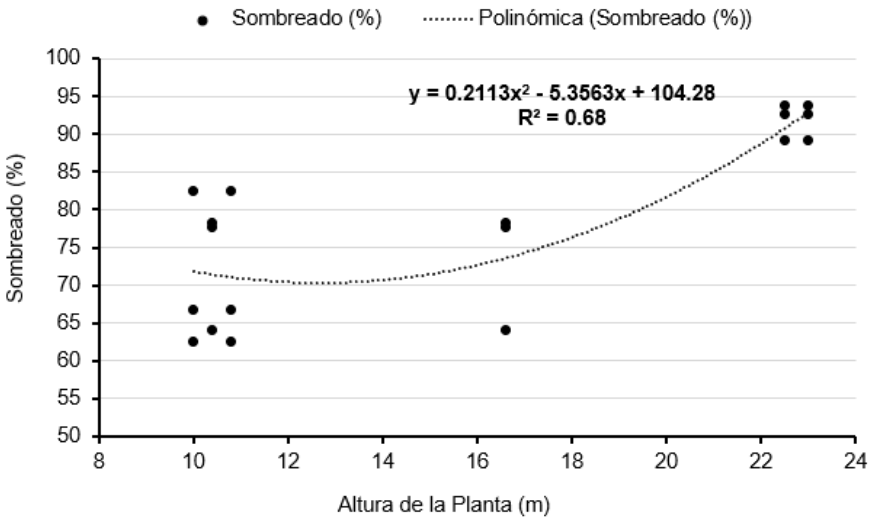


Figura 1. Modelo de predicción del nivel de sombreado en relación con la altura de los árboles en huertas de nogal establecidas en Durango.

Conclusiones

La variación intra e interpoblacional en las huertas de nogal dificultaron la caracterización dasométrica de la especie en Durango. El cultivo de árboles de nogal con altura mayor, favoreció la presencia de copas y doseles más robustos, lo que causó sombreado considerable de las hojas basales del dosel. El sombreado de las hojas basales puede limitar la producción de los fotoasimilados (fuente) utilizados para abastecer la demanda generada por las nueces en crecimiento (demanda), las cuales son más pequeñas y tienen almendras sin llenado pleno. Las variaciones causadas por los niveles de supervivencia, sistemas de plantación, variedades de nogal, poda y manejo agronómico dificultaron el establecimiento de modelos eficientes para la caracterización y predicción del rendimiento de los árboles de nogal (Wichita y Western) cultivados en Durango.

Agradecimientos. Se agradece al INIFAP el apoyo otorgado para el desarrollo del presente estudio a través del proyecto 11174536427: “Manejo nutrimental y aplicación de estimuladores para aumentar el tamaño del fruto en nogal pecanero en la zona productora de Durango”.

Referencias

Arias, D. 2005. Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 2(5): 1-13.

Cruz B., F., J. C. Rodríguez, D. G. Reyes M., J. E. López A., y S. Er-Raki. 2023. Cuánta agua requiere el nogal pecanero en la costa de Hermosillo. VIII Congreso Nacional y I Congreso Internacional de Riego, Drenaje y Biosistemas. Saltillo, Coah., Méx. 23007: 1-12.

Gómez J., G., J. G. Arreola Á., R. Trejo C., y A. Flores H. 2006. Efecto de niveles de radiación fotosintética sobre la producción de biomasa en árboles de nogal pecanero [*Carya illinoinensis* (Wangenh.) K. Koch]. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas 5(2): 179-184.

Izco C., F. y A. Ariz A. 2022. Manual de mediciones forestales. Foresna – Zurgaia. Navarra, España. 88 p.

Moore, L. M. 2001. Pecan *Carya illinoinensis* (Wangenh.) K. Koch. Plant Guide. USDA-NRCS. Baton Rouge, LA. USA. 2 p.

Nesbitt, M., L. Stein, and J. Kamas. 2015. Improved pecans. AgriLife Extension Service. Texas A&M. College Station, TX. USA. pp. 1-12.

Wood, B. 1996. Sunlight management. Proc. 38th Western Pecan Conference. Proc. Western Pecan Grow. Assoc. Las Cruces, NM. p. 98-107.

COMPARACIÓN DE LA MATERIA SECA EN DIFERENTES PARTES DE LA PLANTA DE MAÍZ FORRAJERO CON EL AIR FRYER Y LA ESTUFA DE AIRE FORZADO

Magali J. López Calderón[1*], Juan I. Sánchez Duarte[2], Jorge A. Granados Niño[1], Jorge A. Bustamante Andrade[1]

[1]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Durango. C.P. 35111. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias - Campo Experimental La Laguna. Matamoros. Coahuila C.P. 27440. *Autor de correspondencia: magali.lopez@ujed.mx

Introducción

El maíz (*Zea mays L.*) forrajero es un cultivo de gran importancia que se usa como ensilaje para alimentar el ganado en los sistemas de producción de rumiantes. La calidad del ensilaje de maíz depende en gran medida del punto óptimo de cosecha, específicamente enfocado en el contenido de materia seca (MS) del forraje. Una correcta determinación del contenido de materia seca (MS) del maíz al momento de la cosecha es crucial para maximizar la calidad fermentativa y nutritiva del ensilaje (de Ruiter et al*.,* 2002).

El contenido óptimo de MS para el ensilaje de maíz suele encontrarse en un rango del 30% al 35% (Swanckaert et al*.,* 2017). Este rango es ideal porque equilibra el contenido de humedad necesario para que se lleve a cabo una buena fermentación en el silo y existan pérdidas mínimas de nutrientes. El método estándar para medir la MS es mediante la estufa de aire forzado. Sin embargo, este método es algo impráctico para determinar el punto óptimo de cosecha en el campo porque se tiene que esperar entre 48 y 72 horas el resultado y se realiza con una estufa que solo se utilizan a nivel laboratorio. Por lo tanto, el tiempo que transcurre entre el muestreo en el campo y la entrega del informe a menudo limita la eficacia de estos análisis para prever el momento óptimo de cosecha, debido a la rápida maduración de los cultivos (De Ruiter et al*.,* 2004). Un método más práctico para determinar la MS en campo ya comparado con la estufa de aire forzado es el uso del Air Fryer (Granados et al*.,* 2021). No obstante, en esta técnica también se tienen que moler las plantas completas para determinar la MS; lo cual hace que muchos productores no utilicen esta última técnica. Una forma más practica de determinar la MS en el maíz forrajero podría ser utilizando solo alguna parte de la planta como hojas, tallos, mazorcas o brácteas. De esta manera, la MS podría predecirse sin tener que moler la planta completa. Sin embargo, este método de determinación de MS no ha sido comprobado. El objetivo de este estudio fue comparar el contenido de MS de diferentes partes de la planta de maíz determinado con el Air Fryer contra la MS determinada con la estufa de aire forzado utilizando la planta completa. La hipótesis fue que podría ser posible predecir el contenido de MS del maíz forrajero a partir de las hojas, tallos, bráctea o grano.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el Campo Experimental La Laguna del INIFAP en Matamoros, Coahuila, México. Se utilizaron seis híbridos de maíz forrajero con 4 repeticiones, dando un total de 24 parcelas de estudio. La siembra de los híbridos se realizó a tierra venida el 25 de marzo de 2024 garantizando una densidad de plantas de 90,000 por hectárea. La dosis de fertilización fue de 300-80-00 unidades de nitrógeno, fósforo y potasio por hectárea, respectivamente. Se aplicaron cinco riegos de auxilio a los 17, 36, 55, 72 y 84 y días después de la siembra (DDS).

Durante el desarrollo de los híbridos de maíz se aplicó Clorver® granulado planta por planta entre el primer y segundo riego de auxilio para el control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). Además, se realizaron aplicaciones de Exalt® (120 ml/ha) e Intrepid® 2300 ml/ha) para el control de esta misma plaga antes y después del primer y segundo riego de auxilio. Se realizó una aplicación con Zierra® (333 ml/ha) para el control de chupadores después del primer riego de auxilio. En floración se realizó una aplicación con Enable (500 ml/ha) para roya del tizón foliar. El control de la araña roja (*Tetranychus urticae)* se realizó con dos aplicaciones del insecticida Abamectina® (500 ml/ha). La cosecha se llevó a cabo cuando los híbridos estaban a 1/3 de avance en la línea de leche en el grano.

Los tratamientos para determinar la MS fueron: 1) el Air Fryer analizando hojas, tallos, brácteas y grano y 2) la estufa de aire forzado analizando planta completa molida (control). De cada parcela, se tomaron tres plantas que fueron trasladadas al laboratorio. Las plantas 1 y 2 se trituraron por completo con un molino mecanico y se secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C durante 72 horas para determinar el contenido de MS total (AOAC, 2000). La planta 3 se separó en tallo, hojas, brácteas y grano. Para medir el contenido de MS de estas partes se utilizó el Air Fryer conforme la metodología propuesta por Granados et al. (2021). Siguiendo la metodología, se pesó la canasta del Air Fryer con la malla metálica (diseñada para evitar la pérdida de la muestra), se añadieron 100 gramos de muestra a la canasta previamente triturada manualmente con unas tijeras para poda de jardinería de 6 pulgadas, se colocó la malla sobre la muestra, y se programó el Air Fryer a 121°C durante 25 minutos. Finalmente, se volvió a pesar la canasta con la muestra y la malla, y se registró el peso.

El cálculo del contenido de MS para ambos métodos se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{MS (\%)} = ((Peso\ seco\ final\ (g))/(Peso\ humedo\ inicial\ (g)) \times 100.$$

La información se analizó con el programa SAS versión 9.3. utilizando un análisis de varianza para comparar los porcentajes de MS entre las dos técnicas evaluadas. Se utilizó la prueba de Tukey a un nivel de significancia P<0.05.

Resultados y discusión

El Cuadro 1 muestra los efectos del método (estufa de aire forzado vs Air Fryer), el híbrido y la interacción método × híbrido. No hubo interacción método × híbrido para el contenido de MS (P>0.05). Sin embargo, hubo diferencias estadísticas para el método (P<0.05) y el híbrido (P<0.05). Las diferencias en MS entre híbridos encontradas son debido a que estos son genéticamente diferentes para tener diferentes días a cosecha. Por lo tanto, los resultados se describen y discuten solamente por el método.

Cuadro 1. Efectos del método, el hibrido y la interacción sobre la MS.

Efecto	Planta vs Grano	Planta vs Hojas	Planta vs Panoja	Planta vs Tallo
Método	<.0001	0.005	<.0001	<.0001
Híbrido	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Método × Híbrido	1.00	0.99	0.56	1.00

Al comparar el porcentaje de MS de toda la planta determinada con la estufa de aire forzado con el del grano determinado con el Air Fryer, se observó una diferencia estadísticamente significativa (P<.0001). el contenido de MS para la planta completa fue de 33.70%, mientras que para el grano fue de 67.39% (Figura 1). Según estos resultados, el grano no resulta ser un buen estimador del contenido total de materia seca de la planta.

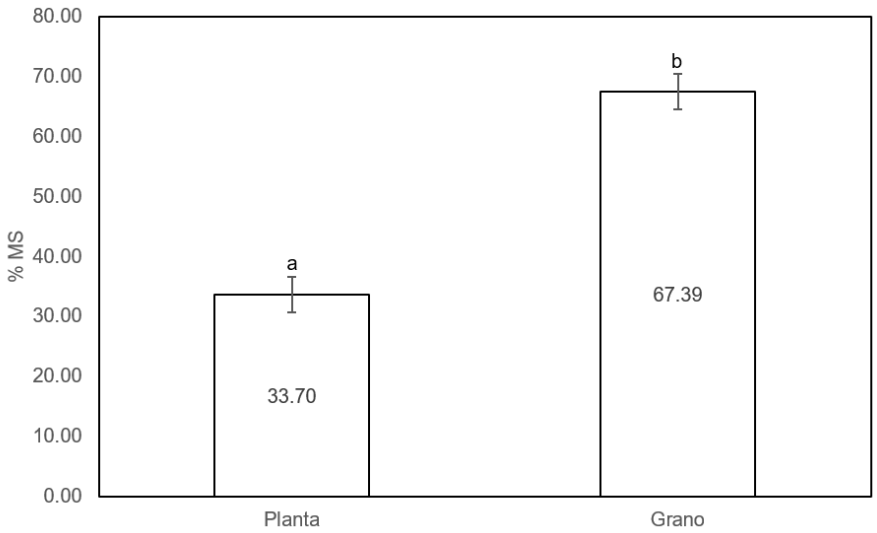


Figura 1. Contenido de MS (%) de la planta completa con la estufa de aire forzado vs el grano con el Air Fryer (P<.0001; EE=0.41).

La comparación de la MS de la planta completa con el de las hojas también indicó diferencia estadística (P=0.005), entre los dos métodos evaluados. Sin embargo, los porcentajes fueron bastante similares, con un 33.70% de MS para la planta completa y un 30.46% para las hojas (Figura 2). A pesar de esta similitud, los resultados sugieren que las hojas tampoco podrían ser un buen estimador del contenido total de MS de la planta.

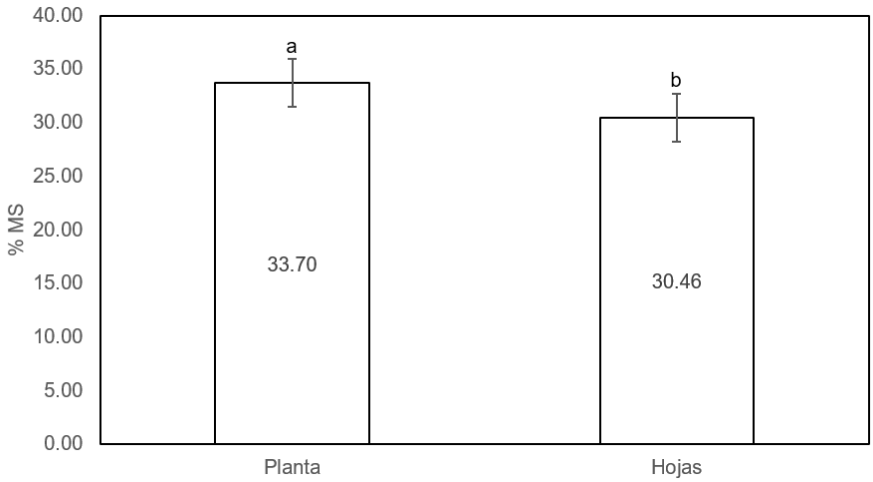


Figura 2. Contenido de MS (%) de la planta completa con la estufa de aire forzado vs las hojas con el Air Fryer (P=0.005; EE=0.40).

Al comparar el porcentaje MS de toda la planta con el de las brácteas, se observó una diferencia estadísticamente significativa (P<.0001). El contenido de MS para la planta completa fue de 33.70%, mientras que para las brácteas fue de 48.28% (Figura 3). Estos resultados indican que la panoja no es un buen indicador del contenido total de MS de la planta.

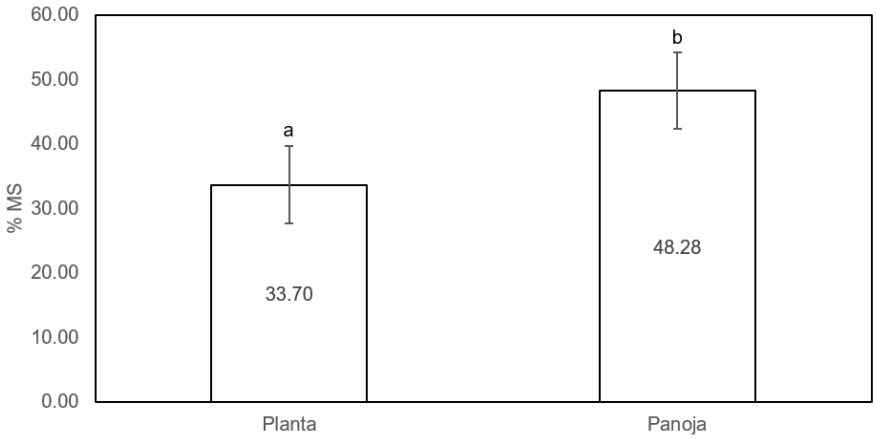


Figura 3. Contenido de MS (%) de la planta completa con la estufa de aire forzado vs las brácteas con el Air Fryer (P<.0001; EE=.44).

Otro componente evaluado del maíz fue el tallo. La Figura 4 indica una diferencia estadística significativa (<.0001) entre el porcentaje MS de toda la planta (33.70%) y el porcentaje de MS del tallo (47.71%). Por lo tanto, el tallo tampoco resulta ser un buen estimador del contenido total de MS de la planta.

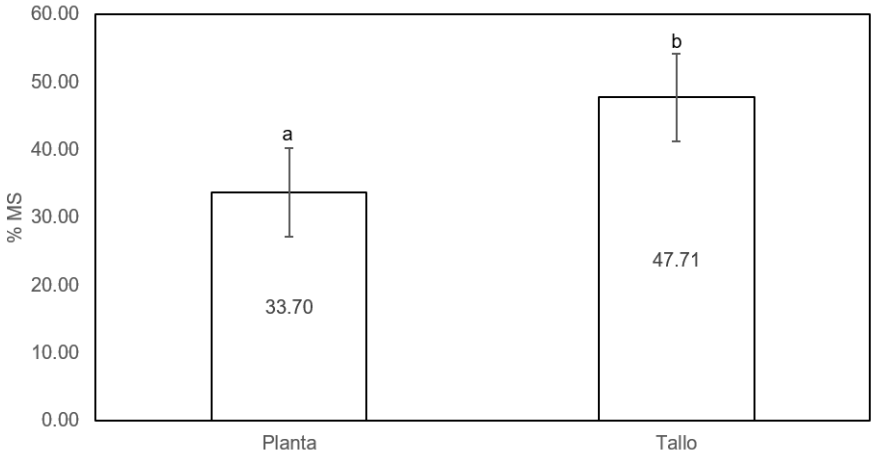


Figura 4. Contenido de MS (%) de la planta completa con la estufa de aire forzado vs el tallo con el Air Fryer (P<.0001; EE=.40).

Conclusiones

Al comparar el contenido de MS de toda la planta completa determinada con la estufa de aire forzado con el de sus componentes individuales como hojas, tallos, brácteas y grano determinado con el Air Fryer, se observó que ninguno de estos partes resulta ser un buen estimador del contenido total de MS del forraje. Aunque se encontró una diferencia estadísticamente significativa, el porcentaje de MS en las hojas fue bastante similar al de la planta completa. Por lo tanto, se recomienda repetir el estudio enfocándose únicamente en las hojas y utilizando un mayor número de muestras para obtener resultados más precisos.

Referencias

De Ruiter, J., Maley, S. y Robson, M. 2004. Optimising harvest timing by predicting dry matter content of whole-crop cereals for silage. Proceedings of the New Zealand Grassland Association. 83-83. 10.33584/jnzg.2004.66.2562.

Swanckaert, J., Pannecoucque, J., Van Waes, J., Haesaert, G., De Boever, J., & Reheul, D. 2017. The effect of ensiling on variety rank of forage maize. *The Journal of Agricultural Science*, *155*(8), 1253–1262. doi:10.1017/S0021859617000259

Granados-Niño, Jorge., Sanchez-Duarte, Juan., López-Calderón, Magali. y Díaz, Fernando. 2021. Use of an air fryer to determine dry matter in forage and diets for dairy cattle - Progressive Dairyman.

de Ruiter, J. M., Hanson, R., Hay, A. S., Armstrong, K. W. and Harrison-Kirk, R. D. 2002. Whole-crop cereals for grazing and silage: balancing quality and quantity. Proceedings of the New Zealand Grassland Association 64:181-189

AOAC International. 2000. Oficial Methods of Analysis. 17th ed. AOAC Int. Gaithersburg, MD. USA.

INOCULACION CON RIZOBACTERIAS PARA PROMOVER EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE MEZQUITE EN VIVERO

Celi Gloria Calixto-Valencia[1], José Ángel Sigala-Rodríguez[2]*, Miguel Ángel Ramírez-Fuentes[3], Erickson Basave-Villalobos[2], Homero Sarmiento-López[2], José Leonardo García-Rodríguez[2]

[1]Campo Experimental Iguala, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Carretera Iguala-Tuxpan, km 2.5. Col. Centro, C.P. 40000 Iguala de la Independencia, Guerrero, México [2]Campo Experimental Valle del Guadiana, INIFAP, Carr. Durango-El Mezquital km 4.5, 34170 Durango, México. [3]Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Sigma 119, Fracc. 20 de Noviembre II, 34220 Durango, México. *Autor de correspondencia: sigala.jose@inifap.gob.mx

Introducción

Los protocolos actuales de propagación y cultivo de mezquite (*Prosopis laevigata*) en vivero aun requieren ajustes para producir plantas con características morfológicas y fisiológicas idóneas, a fin de lograr un establecimiento exitoso en proyectos de reforestación. Un aspecto importante por atender es la necesidad de implementar esquemas de fertilización más eficientes e incorporar productos que reduzcan el impacto ambiental negativo sin demeritar el crecimiento y estado nutricional de las plantas. En este contexto, en diversos cultivos, la fertilización con productos orgánicos se ofrece como una opción para lograr dicho objetivo, mediante la sustitución parcial o como suplemento de los fertilizantes sintéticos (Tang et al., 2022). Sin embargo, su aplicación en la producción de especies arbóreas en vivero ha sido escasamente abordada.

Una alternativa de fertilización orgánica es el uso de rizobacterias promotoras del crecimiento, las cuales están vinculadas con la producción de fitohormonas (Castro et al., 2007) y otros mecanismos como la absorción de agua y nutrientes o la fijación de nitrógeno (N) (Cassán et al., 2020). Algunos estudios señalan que las plantas inoculadas con estas bacterias tienen mayor probabilidad de establecerse en el sitio de plantación (Aguirre-Medina et al., 2014) e, incluso, acelerar la recuperación de indicadores de salud del suelo (Bashan et al., 2012). En leguminosas arbóreas, como el mezquite, la inoculación con rizobacterias ha demostrado efectos positivos en el crecimiento de las plantas (Villegas-Espinoza et al., 2010; Quiñones-Gutiérrez et al., 2013). No obstante, no se ha estudiado en cuáles escenarios de fertilización (bajas o altas dosis) los beneficios de las rizobacterias podrían ser más patentes. Por lo tanto, el objetivo del trabajo fue estudiar el efecto de la inoculación con la rizobacteria *Rhizobium etli* en el crecimiento de plántulas de mezquite cultivadas en vivero bajo diferente esquema de fertilización (dosis altas y bajas de N).

Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en el vivero forestal del Campo Experimental Valle del Guadiana del INIFAP, bajo condiciones de invernadero. Se utilizaron semillas de mezquite colectadas de árboles adultos en poblaciones nativas. Las semillas se sembraron en envases de plástico rígido de 170 ml, con un sustrato compuesto de 50 % turba, 30 % corteza y 20 % perlita. Previo a la siembra, la semilla se sumergió en agua caliente (≈60°C) durante 20 minutos, como tratamiento para romper la latencia física. La emergencia de las plántulas ocurrió a los 4 y 5 días después de la siembra.

Una vez que aparecieron las primeras hojas verdaderas en la totalidad de las plantas, se estableció un experimento factorial de 2×2 en el que se incluyó dos dosis de fertilización: 1) baja (50 ppm N) y 2) alta (150 ppm N), y dos niveles de aplicación de biofertilizante con inoculo de *Rhizobium etli* (Rhizofer®, BioFáfrica Siglo XXI SA de CV, México): 1) sin inoculación y 2) con inoculación. Por una parte, la fertilización se realizó mediante fertilizante hidrosoluble Poly Feed® (19N-19P_2O_5-19K_2O), la cual se aplicó una vez por semana. Por otro lado, la inoculación se realizó también en el agua de riego a una concentración de 1.5 g L^{-1} y con aplicaciones de una vez cada cuatro semanas. En total periodo de cultivo de la planta en vivero duró 27 semanas.

Por cada combinación de dosis de N e inoculación, se establecieron cuatro repeticiones de ocho plantas, las cuales estuvieron distribuidas en un diseño completamente al azar. Durante el periodo de cultivo se realizaron monitoreos de crecimiento en diámetro (mm) y altura (cm). Al finalizar el periodo de cultivo se extrajeron al azar 15 plantas por tratamiento para la determinación de la biomasa, tanto aérea como de raíz. El efecto de la dosis de N y la inoculación con *R*. *etli*, sobre las variables de altura y diámetro, se evaluó a través de un ANOVA de medidas repetidas. En este análisis, se incluyó el tiempo (días después de siembra, DDS), los factores de estudio y sus interacciones como efectos fijos. Por otra parte, las variables de biomasa se analizaron mediante un ANOVA de dos vías. Cuando el efecto fue significativo, se realizó una comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey (α=0.05).

Resultados y discusión

La dosis de fertilización con N alto produjo mayor crecimiento en diámetro ($p<0.001$) y altura ($p<0.001$); aunque, las diferencias en diámetro se observaron principalmente a final del cultivo, a los 190 DDS (interacción DDS × Fertilización; $p<0.001$). Por otra parte, la inoculación con *R. etli* mejoró significativamente el crecimiento de las plantas, tanto en diámetro ($p<0.001$) como en altura ($p=0.013$), a lo largo del cultivo (Figura 1)

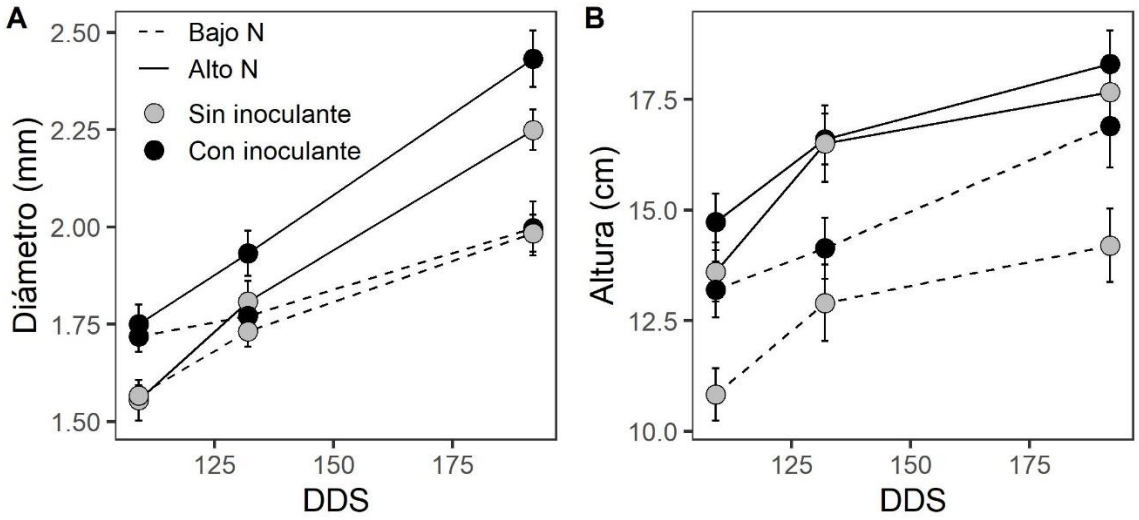


Figura 1. Crecimiento en diámetro (A) y altura (B) de plantas de mezquite (*Prosopis laevigata*) cultivadas en vivero con dos dosis de fertilización: 1) Baja (50 ppm N) y 2) alta (150 ppm N) en combinación con aplicación con baterías fijadoras de N (*Rhizobium etli*): 1) con inoculación y 2) sin inoculación. DDS = días después de siembra

Las plantas con la mayor dosis de fertilización produjeron significativamente mayor biomasa, tanto en parte aérea ($p<0.001$) como en raíz ($p=0.026$). Asimismo, las plantas que fueron inoculadas con *Rhizobium etli* presentaron mayor producción de biomasa aérea ($p=0.003$) y de raíz ($p=0.013$). Incluso, se observó que las plantas con dosis baja de N más inoculante tuvieron similar producción de biomasa de raíz que las plantas con dosis alta de N y sin inoculante (Figura 2).

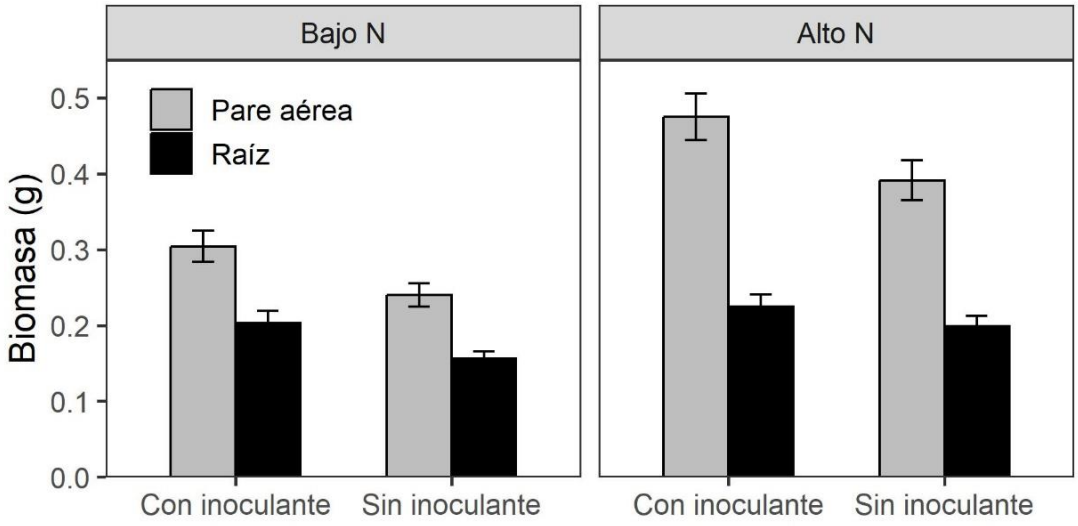


Figura 2. Valores promedio (±EE) de biomasa aérea y raíz de plantas de mezquite (*Prosopis laevigata*) cultivadas en vivero con dos dosis de fertilización: 1) Baja (50 ppm N) y 2) alta (150 ppm N) en combinación con aplicación con baterías fijadoras de N (*Rhizobium etli*): 1) con inoculación y 2) sin inoculación.

Además de su capacidad de fijar N atmosférico, se sabe que *Rhizobium* es un tipo de bacterias promotoras de crecimiento que producen diferentes fitohormonas, incluyendo auxinas, citosinas y giberelinas (Castro et al., 2007), las cuales estimulan el crecimiento de las plantas. En concordancia, los resultados del presente estudio muestran que la inoculación con la bacteria *Rhizobium etli* mejora el crecimiento de las plantas de mezquite en vivero. Incluso, con una dosis baja de N, la aplicación del inoculante generó resultados similares en altura y biomasa de raíz que la fertilización con altas dosis sin inoculación. Estos hallazgos coinciden con estudios en plantas del género *Prosopis*, donde la inoculación con rizobacterias muestra efectos positivos en el crecimiento aéreo y radical (Villegas-Espinoza et al., 2010; Quiñones-Gutiérrez et al., 2013), así como variables fisiológicas relacionadas con el estado hídrico de las plantas (Domínguez-Núñez et al., 2012). Por lo tanto, se sugiere que la aplicación de rizobacterias podría incorporarse en los protocolos de cultivo de mezquite en vivero, mejorando los atributos morfo-fisiológicos de las plantas y, eventualmente, la eficiencia del uso de fertilizantes sintéticos.

Conclusiones

La inoculación con rizobacterias mejora el crecimiento de *Prosopis laevigata* en vivero aun cuando estas reciben dosis bajas de fertilización, lo cual sugiere una mejora en la eficiencia en el uso de los fertilizantes. La inoculación con rizobacterias es una alternativa de fertilización orgánica en la producción de mezquite que contribuye a incrementar su calidad en vivero.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado con recursos fiscales del INIFAP mediante el proyecto "Integración de tecnologías para la restauración agroecológica de tierras marginales en ecosistemas semiáridos del Norte-Centro de México".

Referencias

Aguirre-Medina JF, Mina-Briones FO, Cadena-Iñiguez J, Dardó-Zunun JD, Hernández-Sedas DA (2014) Crecimiento de *Cedrela odorata* L. biofertilizada con Rhizophagus intraradices y Azospirillum brasilense en vivero. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 20(3): 177-186. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.01.001

Bashan LE, Hernández JP, Bashan Y (2012) The potential contribution of plant growth-promoting bacteria to reduce environmental degradation – A comprehensive evaluation. Applied Soil Ecology 61: 171-189. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.09.003

Cassán F, Coniglio A, López G, Molina R, Nievas S, de Carlan CLN, Donadio F, Torres D, Rosas S, Olivera-Pedrosa F, de Souza E, Díaz-Zorita M, de-Bashan L, Mora V (2020) Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. Biology and Fertility of Soils 56: 461-479. https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y

Castro-Sowinski S, Herschkovitz Y, Okon Y, Jurkevitch E (2007) Effects of inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria on resident rhizosphere microorganisms. FEMS Microbiology Letters 276(1): 1–11. https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2007.00878.x

Domínguez-Núñez JA, Muñoz D, Planelles R, Grau JM, Artero F, Anriquez A, Albanesi A (2012) Effects of inoculation with Azospirillum brasilense on the quality of *Prosopis juliflora* seedlings. Forest Systems 21(3): 364-372. https://doi.org/10.5424/fs/2012213-02135

Quiñones-Gutiérrez A., González-Ontiveros V, Chávez-Pérez JR, Vargas-Martínez A, Barrientos-Díaz F (2013) Evaluación de inoculantes promotores de crecimiento en la producción de plantas de mezquite [*Prosopis laevigata* (Humb. Et Bonpl. ex Willd.) MC Johnst.] en Durango. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 4(20): 42-80. https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i20.371

Tang Q, Cotton A, Wei Z, Xia Y, Daniell T, Yan X (2022) How does partial substitution of chemical fertiliser with organic forms increase sustainability of agricultural production? Science of the Total Environment 803:149933. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149933

Villegas-Espinoza JA, Rueda-Puente EO, Murillo-Amador B, Puente ME, Grimaldo-Juárez O, Avilés-Marín SM, Ponce-Medina JF (2010) Efecto de la inoculación de *Azospirillum halopraeferens* y *Bacillus amyloliquefaciens* en la germinación de *Prosopis chilensis*. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 12(1): 19-32. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93913074003

PRODUCCIÓN DE CHILE POBLANO *Capsicum annuum L.* EN ZONAS ÁRIDAS BAJO DISTINTOS COLORES DE ACOLCHADO PLÁSTICO

Jorge Osvaldo Ruelas Arroyo*, Derek Sebastián Gutiérrez Nevárez, Ricardo Trejo Calzada

Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Km. 40 Carr. Gómez Palacio Chihuahua Bermejillo, Durango, México C.P. 35230 * Autor de correspondencia: al21118817@chapingo.mx

Introducción

En la agricultura, el término de acolchado se usa para referirse a los mantos superficiales vegetales o sintéticos que se colocan sobre la superficie de los suelos agrícolas. Estos son usados con el motivo de mejorar la productividad con el control de malezas, temperatura del suelo, el aumento de la precocidad de cosecha y la disminución de la evaporación del agua del suelo. Estos también pueden tener desventajas como los riesgos medioambientales, ya que los residuos plásticos pueden contaminar los suelos al ser complicada su remoción y su reciclaje (Zribi, 2011).

El acolchado plástico es una técnica ampliamente utilizada en la agricultura para mejorar el rendimiento de los cultivos al modificar la condición microambiental, especialmente influyen en el intercambio de energía entre la planta y su entorno, determinando la temperatura del suelo e igualmente es importante su uso para reducir la evaporación. La elección del plástico debe guiarse por los efectos deseados sobre y debajo del suelo, que estan determinados por las propiedades ópticas del plástico (Tarara, 2000).

El chile es uno de los cultivos más importantes en México, tanto para el mercado interno como para la exportación. Una alta producción contribuye significativamente al PIB agrícola, generando empleo en zonas rurales y promoviendo el desarrollo de las comunidades productoras. Es un alimento básico en la dieta mexicana, siendo parte fundamental de la cultura gastronómica. La producción nacional de chile en México, según datos del cierre agrícola del SIAP (2023) fue de tres millones 681 mil toneladas; posicionando a nuestro país entre segundo y cuarto lugar a nivel mundial.

En el estudio realizado por Ibarra et al. (2007) con acolchados de distintos colores en chile Jalapeño demostró que el acolchado negro absorbe más radiación solar y la conduce posteriormente al suelo generando calentamiento, adelantando hasta 10 días a la cosecha. También, se observó que estas cubiertas reducen al mínimo la evaporación del suelo, aumentando la disponibilidad de agua e incrementando la producción y consecuentemente la eficiencia del uso del agua.

En el cultivo de chile ancho, la elección del tipo de acolchado puede influir significativamente en su desarrollo y productividad. El acolchado blanco y el negro tienen efectos contrastantes sobre la absorción y retención del calor en el suelo (Torres-Olivar et al., 2018). La característica de absorción de energía radiante por los acolchados negros pudiera ser contraproducente en regiones donde las temperaturas son altas y que eventualmente lo serán más por el cambio climático. Este experimento tuvo como objetivo comparar el rendimiento del chile ancho bajo dos tipos de acolchado, analizando la relación entre la temperatura del suelo y la productividad del cultivo, con el fin de identificar la mejor alternativa para optimizar el rendimiento en condiciones agrícolas de las zonas áridas.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el campo experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo ubicada en Bermejillo, Durango, México. El experimento estuvo situado en 25°53'33" LN y 103°36'09" LO. El clima es tipo árido, con régimen de lluvias en verano, 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).

Para la plántula se usó la semilla de la variedad Sequoia R F, fueron sembradas en semilleros de poliestireno expandido de 200 cavidades y se produjeron en el invernadero de cristal de la URUZA. El experimento se estableció de abril a agosto de 2024, el trasplante se realizó el día 15 de abril de 2024 con una distancia entre plantas de 40 cm y una distancia de 2 metros entre camas, se plantó a tresbolillo con una densidad de 25 000 plantas ha^{-1}. El área experimental abarcó una superficie de 50 $m^{2.}$

El sistema de riego fue por goteo, la fertilización fue vía riego y complementación de micronutrientes y reguladores de crecimiento fue vía foliar con aspersor manual de mochila. Para la prevención de hongos a nivel de plántula se utilizó Propamocarb y Fosetil y para prevención de ataques de plagas se uso Imidacloprid.

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con dos tratamientos (acolchado blanco y acolchado negro) y cuatro repeticiones. Se registró la temperatura del suelo durante el día (los muestreos se realizaban a las 9:00 a.m., 3 p.m., y 7 p.m.) a una profundidad de 15 cm, con un termómetro marca GENERAL modelo DSMM600. Así mismo, se cuantificó el rendimiento, de las tres cosechas, solo el producto comercial y se extrapoló a kg ha^{-1}. El análisis estadístico se efectuó en el programa SAS; los datos se analizaron mediante el análisis de varianza, bajo la prueba Tukey al 90%.

Resultados y discusión

El análisis de varianza de los datos de rendimiento muestra que existen diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre los tratamientos utilizados de tal manera que el tratamiento de acolchado blanco superó al de acolchado negro en más de un 300% (Cuadro 1.)

Cuadro 1. Rendimiento de chile poblano cultivado con acolchado negro y acolchado blanco en Bermejillo, Dgo. Comparación de dos colores de acolchado en rendimiento de chile poblano.

Color de acolchado	Rendimiento (Kg ha^{-1})	
Blanco (T1).	11,062.50	a.
Negro (T2).	2,650.00	b.

Letras minúsculas distintas muestran diferencias estadísticas significativas bajo la prueba tukey=90%.

El acolchado negro provocó una mayor temperatura del suelo a lo largo del día con más de dos grados Celsius que la temperatura registrada en el tratamiento con acolchado blanco. La diferencia de temperaturas se incrementó por la tarde (Figura 1).

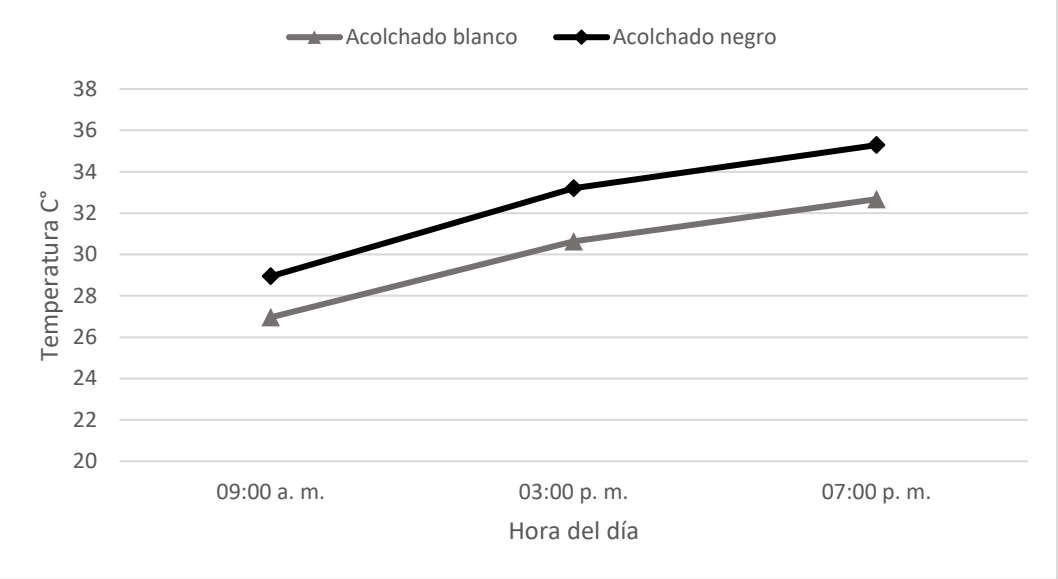


Figura 1. Comportamiento de la temperatura media (05/Julio – 20/Julio) del suelo a través del día en cultivo de chile poblano con acolchado blanco y negro en Bermejillo, Dgo.

La temperatura a la cual estuvieron sometidos ambos tratamientos sobrepasan el rango de temperaturas deseables para el desarrollo del cultivo tal y como lo plantea Hofmann et al. (2000) la cantidad de horas luz y temperaturas entre 24 y 26 °C influyen significativamente en el desarrollo de las plantas, y cuando no se dan estas condiciones se tienen plantas con tallos débiles. Lo anterior puede ser un signo de que las plantas con tallos débiles son más susceptibles a sufrir daños mecánicos al estar expuestas a fuertes vientos o condiciones adversas (Delgado & Lara, 2001), así como las que se presentan en las zonas áridas.

Además, de las diferencias de temperatura mostradas en la Figura 1, otro factor que puede ayudar a explicar la diferencia de rendimientos es el encontrado por Chávez et al. (2007), quienes determinaron que la mayor eficiencia productiva del agua en acolchado plástico se da en el color blanco comparado con el color negro, rojo, azul y verde.

Se requieren investigaciones que estudien el efecto de distintos colores de acolchado plástico en la incidencia de plagas y enfermedades, ya que en el presente estudio se observó que las plantas en acolchado negro mostraron un mayor número de síntomas relacionados con hongos patógenos, lo cual podría aportar a la explicación de los bajos rendimientos obtenidos y las diferencias entre tratamientos.

Conclusiones

El acolchado negro provocó una mayor temperatura del suelo superando en más de 2º C a la temperatura en el suelo con acolchado blanco. El rendimiento de chile poblano fue significativamente mayor en el tratamiento con acolchado blanco con más de 11 ton ha^{-1}

Referencias

Chávez Solis, A. L., Inzunza Ibarra, M. A., Mendoza Moreno, S. F., I. Sánchez Cohen, & A. Román López. (2007). Producción de chile jalapeño (*Capsicum annum L.*) con diferentes tipos de acolchado plástico y riego por goteo – cintilla. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, *VI* (1), 67–75. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545068008

Delgado M. A.; Lara H. A. (2001). Producción de chile (*Capsicum annuum L*.) con cubrimiento plástico del suelo y frecuencia de riego por goteo. Cinco jornadas de investigación. Universidad Autónoma de Zacatecas.

García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática Köppen. (Para adaptarlo a las condiciones climáticas de la república mexicana). Universidad Autónoma de México.

Hofmann, R. W.; Swinny, E. E.; Bloor, S. J; Markham, K. R.; Ryan, K. G.; Campbell, B. D.; Jordan, B. R.; Fountain, D. W. (2000). Responses of nine Trifolium repens L. populations to ultraviolet-B radiation: differential flavonol glycoside accumulation and biomass production. *Ann Bot.* 86 (3). https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1216

Ibarra, M. A. I., Moreno, S. F. M., Valencia, E. A. C., Castorena, M. M. V., Cohen, I. S., & López, A. R. (2007). Productividad del chile jalapeño en condiciones de riego por goteo y acolchado plástico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(4), 429-436. https://www.redalyc.org/pdf/610/61030410.pdf

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). Cierre Agrícola 2023. Gobierno de México. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Tarara, J. M. (2000). Microclimate modification with plastic mulch. *HortScience* 35: 169-179. https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=551c1615944f8f33820147b58ccdcd2f2c140207

Torres-Olivar, V., Ibarra-Jiménez, L., Cárdenas-Flores, A., Lira-Saldivar, R. H., Valenzuela-Soto, J. H., & Castillo-Campohermoso, M. A. (2018). Changes induced by plastic film mulches on soil temperature and their relevance in growth and fruit yield of pickling cucumber. A*cta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 68(2), 97-103. https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1367836

Zribi, W., Faci, J., & Aragüés, R. (2011). Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. Información Técnica Económica Agraria, 107, 148–162. http://hdl.handle.net/10532/1796

PRODUCTIVIDAD DE DOS VARIEDADES DE CHILE JALAPEÑO EN NUEVO CASAS GRANDES, CHIHUAHUA

Olga Bonilla-Barrientos[1], Enrique Hernández-Leal[1]*, Iván Franco-Gaytán[2], Jorge Maltos-Buendía[2], Beatriz Martínez-Yañez[3]

[1]Carretera Delicias-Rosales C.P. 33000, Centro, Cd. Delicias, Chihuahua, [2]Blvd. José Santos Valdés 1200 Pte. C.P. 27440, Matamoros, Coahuila, [3]Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. C. P. 56264. Montecillo, Texcoco, Estado de México. * Autor de correspondencia: hernandez.enrique@inifap.gob.mx

Introducción

El cultivo de chiles verdes es una de las actividades más importantes en el sector hortícola en México por la gran importancia económica y la mano de obra que utiliza durante el ciclo agrícola, generando muchos empleos a nivel local (Cedillo-Portugal et al., 2021). Además, su consumo es muy popular a nivel nacional e internacional, ya que se puede consumir en fresco, encurtido y como chipotle (Aguirre y Muñoz, 2015). Los principales estados productores son Chihuahua y Sinaloa quienes en conjunto en ciclo agrícola del 2022 produjeron el 50% de la producción nacional, el rendimiento promedio fue superior a las 35 ton/ha (SIAP, 2023). El estado de Chihuahua es uno de los principales productores usando diferentes grados de tecnología y variedades. El objetivo fue evaluar el comportamiento agronómico de dos variedades de chile jalapeño con dos productores cooperantes en el municipio de Nuevo Casas Grandes, Chihuahua.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó con dos productores cooperantes del Municipio de Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, el productor uno utilizo la variedad Mixteco® y el otro la variedad 8310®, las dos de la misma casa comercial (Harris Moran). La siembra fue la primera semana de febrero en charolas de poliuretano de 200 cavidades con Peat Moss como sustrato, y el trasplante lo realizaron el 5 y 6 de mayo, respectivamente a campo abierto y con cintilla, el manejo agronómico se dio de acuerdo a cada productor. Se eligieron 15 plantas con buena sanidad y con competencia completa de cada predio, donde se midió el Rendimiento (g), altura (cm) y diámetro de planta (mm), Número de frutos, Peso Promedio de cinco Fruto (g), Longitud de fruto (cm), Grosor del Pericarpio (mm), Grosor interno (mm) y Número de lóculos. El diseño experimental que se utilizó fue un bloque completo al zar con tres repeticiones. El análisis estadístico que se hizo fue con el procedimiento del Modelo Lineal General (GLM), así como un ANOVA y una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) en el programa estadístico SAS.

Resultados

El análisis de varianza general detectó significancia ($p \leq 0.05$) entre variedades en seis de ocho caracteres evaluados, solamente para altura de planta y Grosor del pericarpio no hubo (Cuadro 2). Los coeficientes de variación (C.V.) oscilaron entre 4.95 a 25.24 %. El C.V. varía de acuerdo con el tipo de experimento (Gómez y Gómez, 1984). Patel et al. (2001) mencionan que para evaluaciones de cultivares, como es en este caso los valores de C.V. deben de ser entre 6 a 8 % para ser aceptables. Solamente las variables rendimiento (25.24) y número de frutos (24.88) tuvieron un C.V mayor a lo recomendado, esto se debió a que el primer productor tuvo mayor rendimiento y menor número de frutos.

Cuadro 1. Cuadrados medios de dos variedades de chile jalapeño en Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, México.

F.V.	Variedad		Bloque	Error	C.V (%)
Rendimiento (g)	634251.77	**	31437.57	50036.082	25.24
Número de frutos	1417.36	**	24.62	33.64	24.88
Peso promedio de fruto (g)	2434.82	**	7.71	27.5	10.62
Altura (cm)	49.09		3.89	27.75	10.37
Diámetro (mm)	160.66	**	1.84	3.23	4.95
Longitud de fruto (mm)	2197.66	**	8.43	25.72	5.40
Grosor del pericarpio (mm)	1.37		0.5033	0.1807	10.97
Grosor interno (mm)	8.34	**	0.0507	0.1627	14.4
G.L.	1		2	40	

*, ** Significativo a P ≤ 0.05 y a P ≤ 0.01, respectivamente.

El productor dos quien utilizo la variedad Mixteco® tuvo el mayor rendimiento, peso promedio de cinco frutos (PPF), diámetro, longitud de fruto y grosor interno, el rendimiento y sus componentes son variables que nos permiten entender cuál fue la mejor variedad que se adaptó a la región, debido a que es posible observar todo su potencial genético de las plantas si las condiciones ambientales y/o factores externos son óptimos para su desarrollo ya que toda su expresión genética se podrá explotar si las condiciones climáticas son favorables (StollerMexico, 2020). Los frutos que tuvo el productor con esta variedad tuvieron la calidad para ser exportados o para su venta en fresco en el mercado nacional y pagarle un mejor precio.

Por el contrario, el productor uno presento el mayor número de frutos, lo que se traduce en frutos de menor calidad ya que sus frutos fueron más pequeños en diámetro, longitud y grosor interno. Sánchez-Toledano, (2021) encontró que factores como el color externo, el tamaño y la ausencia de lesiones son atributos de calidad que los consumidores en México toman en cuenta para su consumo en fresco. Además, atributos como la textura del fruto está estrechamente relacionada con la fuerza celular y la presión de turgencia (Álvarez et al. 2000).

Cuadro 2. Comparación de medias en dos variedades de chile jalapeño en Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, México.

F.V.	HÍBRIDO HM-8310®		VARIEDAD Mixteco®		DMS (0.05)
Rendimiento (g)	706.01	b	1110.25	a	198.8
Número de frutos	34.00	a	15.00	b	5.16
Peso promedio de fruto (g)	34.97	b	58.98	a	4.66
Diámetro (mm)	32.53	b	38.34	a	1.60
Longitud de fruto (mm)	80.09	b	99.25	a	4.51
Grosor interno (mm)	1.97	b	3.47	a	0.3585

*, ** Significativo a P ≤0.05) y a P ≤0.01, respectivamente. Medias con la misma letra en columna entre tratamientos, son estadísticamente iguales (α = 0.05).

Conclusión

La variedad Mixteco® fue la que se adaptó mejor a la región, al tener el mayor rendimiento y calidad de fruto (diámetro y longitud) para su venta en el mercado internacional o nacional, principalmente para fresco, por lo que podría ser utilizada por más productores para incrementar sus rendimientos y calidad de frutos. Por el contario el híbrido HM-8310® tuvo un mayor número de frutos por planta, pero de menor calidad, ya que fueron de menor tamaño y peso.

Referencias

Aguirre, H. E., Muñoz, O. V. (2015). El chile como alimento. Ciencia. Revista de la Academia Mexicana de Ciencias. 63(3),16-23.

Álvarez, M. D. Saunders, D. E.J. Vincent, J. F.V. (2000). Fracture properties of stored fresh and osmotically manipulated apple tissue. European Food Research and Technology. 211: 284–290. https://doi.org/10.1007/s002170000160.

Cedillo, P. E. Martínez, H. L.P, Casiano, H. H. Hernández, A. D.L. Padilla, M. C.M. Rodríguez, T. M.A. (2021). Manual de producción de chile jalapeño y poblano (capsicum annuum) bajo invernadero. Universidad Nacional Autónoma de México. 18 p.

Gómez, K.A. y Gómez, A.A. (1984). Statistical Procedures for Agricultural Research. 2nd edition John Wiley Inter Science: Hoboken, NJ, USA. 704 p.

Patel, J.K, Patel, N.M. Shiyani, R.L. (2001). Coefficient of variation in field experiments and yardstick thereof-an empirical study. Current Science 81(9): 1163–1164. https://doi.org/10.12706/itea.2021.009

Sánchez-Toledano, B. (2021). Variedades de melocotón con mayor potencial económico: Un estudio de caso en el norte de México. ITEA, información técnica económica agraria: revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA). 117 (5): 598–617.

SAS Institute. (2002). User´s Guide of SAS (Statistical Analysis System). SAS Institute Inc. Cary, N. C. USA. 550 p.

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023, 10 de julio). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Scribbr. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

StollerMexico. (2020, 29 de noviembre). Rendimiento y Calidad en el cultivo de Chile. Scribbr. https://stollermexico.com/2020/07/06/rendimiento-y-calidad-en-el-cultivo-de-chile/

CRECIMIENTO DE *Agave durangensis* Gentry EN VIVERO FERTILIZADO CON DIFERENTES DOSIS DE POTASIO

Homero Sarmiento López[1*], Miguel Ángel Ramírez Fuentes[2], Erickson Basave Villalobos[1], José Leonardo García Rodríguez[1], José Ángel Sigala-Rodríguez[1], María Gabriela Ramírez Valadez[1].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, México. Km 4.5 Carr. Durango-El Mezquital, Durango, Dgo. C.P. 34170. [2]Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el desarrollo Integral Regional, Unidad Durango. Sigma Núm. 119 Fracc. 20 de Noviembre II C.P. 34220 Durango, Dgo. *Autor de correspondencia: sarmiento.homero@inifap.gob.mx

Introducción

En Durango, el maguey cenizo de la especie *Agave durangensis*, se ha utilizado con fines de producción de bebidas alcohólicas de forma intensiva hace más de 50 años (Loera-Gallegos et al. 2018). El cultivo de planta de *Agave durangensis,* con la morfología adecuada para que pueda sobrevivir y desarrollarse en campo hasta alcanzar atributos para su aprovechamiento, es una práctica que se realiza en los viveros con la finalidad de aliviar la presión sobre las poblaciones naturales, las cuales en la actualidad se han reducido. El sistema tecnificado para producir especies de interés forestal consistente en uso de contenedores o envases, uso de sustratos basados en mezclas de materiales comerciales y alternativos y nutrición mediante el uso de fertilizantes hidrosolubles o con fertilizantes de liberación, se ha adecuado para producir plantas de *Agave durangensis* (Rodríguez-Reyes, 2023). La fertilización influye en las características morfológicas y fisiológicas porque controla su crecimiento (Heras, 2021). En la nutrición de las plantas, el potasio juega un rol fundamental en procesos metabólicos como la elaboración de proteínas, carbohidratos, y el funcionamiento enzimático (Rodríguez, 2005), además de ser junto con el nitrógeno y el potasio los elementos considerados como macronutrientes por su contenido relativamente alto comparado con otros nutrientes. Las plantas con falta de potasio muestran síntomas característicos como bajo vigor, su desarrollo normal se detiene, no acumulan reservas, disminuye su resistencia al frío y desciende su rendimiento (Navarro, 2003). Por ello es necesario conocer los niveles de los nutrimentos que se deben aplicar durante su cultivo en vivero para alcanzar los atributos que le permitan cumplir el objetivo de su producción. El objetivo de este experimento fue determinar la morfología y el contenido de nutrientes de *Agave durangensis* producido en sistema tecnificado y fertilizado con tres dosis de potasio.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en el Campo Experimental Valle del Guadiana (CEVAG) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Durango, en las coordenadas: 23° 58’23’’ N y 104°37’26’’ O, dentro de un invernadero multitunel baticenital cubierto con una película plástica calibre 720 de color blanco lechoso y 50 cm por debajo una malla sombra del 40 %, sistema de ventilación lateral, frontal y cenital provisto con malla antiáfidos y cortinas de polietileno blanco enrollables con malacate y cable acerado, sistema de riego manual asistido por una motobomba eléctrica marca Evans de 2 hp con tubería y manguera reforzada de ¾ “, mesas portacharolas de perfil zintro de 3 m de largo, 1.27 m de ancho y 70 cm de altura. Los contenedores utilizados para producir la planta fueron de 98 cavidades de tubete intercambiable con un volumen por cavidad de 168 mL. Como tratamiento pre germinativo, la semilla de *Agave durangensis* se dejó en remojo durante 24 horas, después se enjuagó, se sumergió durante 15 minutos en una solución desinfectante en una proporción de 10 % de hipoclorito de sodio comercial y 90 % de agua.

La mezcla de sustrato utilizada fue preparada con una proporción de 30 % corteza, 20% de perlita expandida y 50 % de peat moss. Al momento de la siembra, la semilla se depositó a una profundidad de 1 cm y se cubrió con la misma mezcla de sustrato. A partir del equilibrio entre cationes y aniones por puesto por Steiner (1997): 67%de K, 31% de Ca%, 2% de Mg, 79 % de NO3, 1.5 % de H2PO4 y 19.5 % de SO4) con un aumento y decremento del 30 % respecto al potasio, se seleccionaron las siguientes dosis: dosis baja con 183 ppm de potasio, la dosis media fue de 261 ppm de potasio y la dosis alta 340 ppm de potasio. Comenzó a fertilizarse dos meses después de la siembra con una frecuencia de 3 veces por semana y en tres etapas que se muestran en el Cuadro 1. El diseño experimental propuesto fue completamente al azar con 4 repeticiones y el tamaño de la unidad experimental fue de 12 plantas.

Cuadro 1. Tratamientos aplicados en plantas de *Agave durangensis* durante el desarrollo del experimento

Etapa	Tiempo de aplicación	Dosis baja ppm K	Dosis media (Steiner) ppm K	Dosis alta ppm K
Primera 1.0 dSm^{-1}	2 semanas	183.77	261.97	340.17
Segunda 1.5 dSm^{-1}	2 meses	273.7	394.91	512.21
Tercera 2 .0 dSm^{-1}	2 meses	367.54	523.94	680.34

La evaluación del efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de las plantas se realizó 286 días después de la siembra, para ello, se extrajeron seis plantas de cada unidad experimental y se midieron características morfológicas: diámetro de piña (mm), diámetro de la roseta (cm), altura (cm), número de hojas, biomasa fresca (g) fraccionando la planta en parte aérea y raíz, posteriormente las plantas fueron almacenadas en bolsas de papel estraza e introducidas en una estufa de secado marca Felisa® a 70° C durante 72 horas para determinar la biomasa seca (g). También se analizó tejido vegetal para determinar porcentaje en peso (% p/p) de Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S) y el contenido en mg kg^{-1} de Sodio (Na). Los datos obtenidos en unidades de porcentaje en peso, fueron transformados mediante la función arc-seno previo su análisis. Los resultados obtenidos de cada variable, se sometieron a un análisis no paramétrico mediante una prueba de Kruskall-Wallis y en caso de existir diferencias se realizó una comparación por pares a un nivel de significancia de 5 %. Los análisis de realizaron con ayuda del software Infostat® versión 2020.

Resultados y discusión

El resultado de las pruebas de Kruskal-Wallis para las variables morfológicas obtenidas en *Agave durangensis* al aplicar tres dosis de potasio, muestran que no se presentaron diferencias para las variables diámetro de la roseta, altura, biomasa de la parte aérea, biomasa de la raíz, y número de hojas (Cuadro 1). Solo en el diámetro de piña se observaron diferencias significativas en la cual el mayor diámetro se produjo donde se aplicó la dosis baja de potasio (183 ppm). Respecto al contenido de Fosforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg), Azufre (S) y Sodio (Na), no se presentaron diferencias significativas.

Solamente se presentaron diferencias en el contenido de Ca, donde el mayor contenido lo presentaron las plantas fertilizadas con la dosis baja de potasio, y el menor contenido de Ca lo presentó el tratamiento donde se aplicó la dosis alta de potasio. Debido a esto se sospecha un efecto inversamente proporcional o antagónico, es decir, al fertilizar con dosis crecientes de potasio, el contenido de calcio en las plantas disminuye. El nitrógeno presentó efecto marginal en su contenido y la tendencia fue similar al contenido de Calcio, se observa que, al incrementar la dosis de potasio al fertilizar, el contenido de nitrógeno en la planta tiende a bajar.

Cuadro 2. Significancia de las pruebas de Kruskall-Wallis para las variables analizadas en Agave durangensis.

Variable	Estadístico H	Estadístico p
Diámetro de piña	6.15	0.0461 *
Diámetro de la roseta	1.3	0.5205
Altura	3.7	0.1807
Biomasa aérea	1.81	0.4055
Biomasa raíz	1.15	0.5639
Número de hojas	2.97	0.1641
N % (p/p)	5.54	0.0519
P % (p/p)	0.76	0.6987
K % (p/p)	1.64	0.4712
Ca % (p/p)	6.43	0.0251 *
Mg % (p/p)	4.63	0.0944
S % (p/p)	0.88	0.6597
Na mg kg-1	5.35	0.0627

* Diferencias significativas.

El promedio general de las variables en *Agave durangensis* donde no se presentaron diferencias fue el siguiente: diámetro de la roseta fue de 7.97 cm, altura 3.99 cm, el número de hojas fue de 4.33, la biomasa de la parte aérea 1.02 g y la biomasa de la raíz de 0.28 g (Cuadro 3 y Cuadro 4).

Cuadro 3. Promedios obtenidos en las variables de morfología en planta de Agave durangensis fertilizado con tres niveles de potasio.

Tratamiento	Diámetro de piña (mm)	Diámetro de la roseta (cm)	Altura (cm)
Dosis baja	16.66 a	7.94	4.00
Dosis media	15.71 ab	8.36	4.17
Dosis alta	15.28 b	7.63	3.81

*Letras diferentes denotan diferencias significativas con base en la prueba de comparaciones por pares ($p<0.05$).

Cuadro 4. Promedios obtenidos en las variables de morfología en planta de Agave durangensis fertilizado con tres niveles de potasio.

Tratamiento	Número de hojas	Biomasa aérea (g)	Biomasa raíz (g)
Dosis baja	4.58	1.05	0.28
Dosis media	4.25	1.04	0.30
Dosis alta	4.17	0.97	0.27

El contenido general de nutrientes en plantas de *Agave durangensis* expresado en % en peso fue 1.18 % de Nitrógeno, 0.08 % de Fosforo, 2.22 % de Potasio, 0.68 % de Magnesio, 0.13 % de azufre y el contenido de sodio fue de 1575.66 mg kg^{-1} (Cuadro 5 y Cuadro 6).

Cuadro 5. Promedios obtenidos en el contenido de nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K) y calcio (Ca), en planta de Agave durangensis fertilizado con tres niveles de potasio.

Tratamiento	N % (p/p)	P % (p/p)	K % (p/p)	Ca % (p/p)
Dosis baja	1.25	0.09	2.25	1.22 a
Dosis media	1.18	0.08	2.18	1.09 b
Dosis alta	1.11	0.08	2.24	1.12 ab

*Letras diferentes denotan diferencias significativas con base en la prueba de comparaciones por pares ($p<0.05$).
p/p=porcentaje en peso.

Cuadro 6. Promedios obtenidos en el contenido de magnesio (Mg), azufre (S) y sodio (Na) en planta de Agave durangensis fertilizado con tres niveles de potasio.

Tratamiento	Mg % (p/p)	S % (p/p)	Na (mg kg-1)
Dosis baja	0.73	0.13	1571.25
Dosis media	0.66	0.14	1501.25
Dosis alta	0.67	0.13	1654.50

p/p=porcentaje en peso. mg kg-1= miligramos por kg.

Conclusiones

La dosis baja de potasio que consistió en la aplicación de 183 ppm al fertilizar plantas de *Agave durangensis* en sistema tecnificado produjo un incremento en el diámetro de la piña y en el contenido de Calcio. El contenido de Calcio en plantas de *Agave durangensis* disminuyó al aumentar la cantidad de potasio al fertilizar.

Agradecimientos

Se agradece al INIFAP por el financiamiento al Proyecto: 9261835730 “Eficiencia en el uso de agua y fertilizantes en la producción de planta forestal de especies de clima templado y semiárido en viveros del Norte-Centro de México”. Campo Experimental Valle del Guadiana, CIR Norte-Centro.

Referencias

Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. and Robledo, C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar.

Heras, M. M. 2021. Influencia de la fertilización en dos especies de pino en vivero y campo. Tesis de maestría. Colegio de Pstgraduados. Texcoco, México. 36 p.

Loera-Gallegos, H. M., Corral-Rivas, J. J., Montiel-Antuna, E., Solis-Moreno, R., Chávez-Simental, J. A., y González-Cervantes, G. 2018. Calidad de sitio para *Agave durangensis* Gentry en la Sierra de Registrillo, Durango. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 9(6), 1171-1180.

Navarro, G.G. 2003. Química Agricola. España, Ediciones Mundi-Prensa, 487 p.

Rodríguez-Reyes, J.U. 2013. Respuestas morfo-fisiológicas en plantas de *Agave durangensis* a diferentes condiciones lumínicas en vivero. Tesis de licenciatura. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, México. 38 p.

Rodríguez, S. F. 2005. Fertilizantes nutrición vegetal. México, AGT editor, 157 p.

EXPRESIÓN DIFERENCIAL DE PROTEÍNAS DURANTE LA GERMINACIÓN BAJO ESTRÉS SALINO EN DOS CULTIVARES DE ALGODONERO-INIFAP

Florencia García-Campusano[1*], José Luis Pérez García[1], Miguel Ángel Vallejo-Reyna[2], Jorge Herrera-Díaz[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Campana, Km. 33.5 Carretera Chihuahua-Ojinaga, Ciudad Aldama, Chih., México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, Ave. Progreso Núm. 5, Barrio de Santa Catarina, Coyoacán, Ciudad de México, México. [3]Unidad de Servicios a la Investigación e Industria, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. *Autor de correspondencia: garcia.florencia@inifap.gob.mx

Introducción

La salinidad es un problema que aqueja a más del 20 % de los suelos agrícolas irrigados a nivel mundial y representa una seria amenaza a la agricultura ya que disminuye significativamente el rendimiento de los cultivos en las áreas afectadas. Mundialmente se pierde entre el 1 y 2 % del suelo arable al año por esta causa (Wang et al*.,* 2003; Arzani, 2008) y, en conjunto con la sequía, afecta a más del 50 % de las áreas agrícolas (Jamil et al., 2011). Esta tendencia se acentúa en las regiones áridas y semi áridas del mundo, entre las que destaca el norte de México y la península de Yucatán, donde estimaciones recientes indican que presentan alto riesgo, con un aumento proyectado de salinización de 6.38 % para el 2100 (Hassani et al., 2021). Desarrollar variedades con mayor resistencia, capaces de crecer y retener su rendimiento productivo bajo condiciones de sal moderadas, representa un aspecto central de los programas de mejora de muchas especies cultivadas (Arzani, 2008).

El algodón, *Gossypium hirsutum* L., es la principal especie productora de fibra vegetal a nivel mundial, además de que su semilla, como subproducto del cultivo, forma parte de la industria alimentaria humana y animal. Este cultivo tiene una tolerancia moderada a la salinidad, con un umbral a 7.7 dSm-1, sobre el cual se afecta adversamente su crecimiento y productividad, aunque la suscepetibilidad difiere según cultivares y etapas de desarrollo (Munns, 2002; Dong, 2012). Este umbral es notablemente superior a otras especies de importancia agrícola, por lo que se contempla su potencial para incorporarse en programas de restauración de suelos salinizados y dunas costeras, así como un cultivo alternativo para ocupar sitios que han perdido sus cualidades por esta condición.

El INIFAP, a través de los programas de investigación de mejoramiento genético en algodón de los años 80 y 90, produjo diversas variedades convencionales, con buenas características productivas y adaptadas a las regiones algodoneras del país. Sin embargo, se desconoce su potencial para responder a diferentes estreses ambientales, como la salinidad. Por ello, se requiere incorporar estrategias que permitan explorar sus cualidades, con un enfoque que favorezca la selección de variantes con mayor aptitud considerando etapas clave de desarrollo. En el algodón, la susceptibilidad al estrés salino es mayor durante la germinación y el establecimiento de las plántulas.

La proteómica comparativa es una herramienta con gran potencial en el estudio del estrés en plantas ya que reflejan los mecanismos fisiológicos y moleculares que conducen su tolerancia o susceptibilidad. Las proteínas son caracteres heredables y están fuertemente ligados al genotipo, si bien su calidad y cantidad puede variar en respuesta a las condiciones ambientales (Wu et al., 2009; Bolek et al., 2016). Por ello, el objetivo de este trabajo fue caracterizar los cambios en el patrón de expresión de proteínas durante la germinación en dos cultivares de algodonero-inifap que difieren en su susceptibilidad al estrés salino. Se espera que esta información abone a la comprensión de mecanismos implicados en mantener la germinación bajo condiciones de estrés y apoye la continuidad de programas de mejoramiento genético.

Materiales y métodos

Se utilizaron semillas maduras de los cultivares: Cian 95 (C95) y Juárez 9 (J91), las cuales se cosecharon en 2017, de una siembra de multiplicación realizada en el CE Delicias (CIRNOC)-Inifap. Estudios previos habían mostrado que C95 presentaba mayor tolerancia a la salinidad que J91 (Carrillo-Cruz et al., 2023). Previo a su uso, toda la semilla se lavó en ácido sulfúrico para eliminar restos de fibra; posteriormente, se hizo selección por flotación. Las semillas se germinaron en agua destilada o en presencia de 120 mM de NaCl (tratamientos: C95_T0, J91_T0 y C95_T120, J91_T120). Para el análisis de proteínas se consideró semillas germinadas con una longitud de radícula entre 5 y 10 mm.

Para la extracción de proteínas se maceró un gramo de cada muestra utilizando un politrón en buffer de extracción (100mM tris HCl, pH 8.8, 10mM EDTA, 900 mM sacarosa y 0.4 % de 2-betamercaptoetanol) con fenol pH 8.8. El resto del procesamiento de las muestras y SDS-PAGE de una y dos dimensiones (1 y 2D), así como para identificación por espectrometría de masas se realizó según Herrera-Díaz et al. (2018). Para la adquisición de las imágenes y densitometría, se usó el sistema calibrado GS-900® (BioRad). El análisis se realizó con el software ImageLab® (BioRad). Se hicieron triplicados de todas las muestras. La identificación de proteínas por *shotgun* y de manchas específicas se realizó en el Laboratorio de Proteómica y Biología Molecular de la Unidad de Servicios a la Investigación e Industria (USAII) de la Facultad de Química de la UNAM. Para el procesamiento de datos e identificación de proteínas se utilizó el software global Protein Lynx versión 2.4 del servidor Protein Lynx Global Server (PLGS; Waters Corporation), en la cual se utilizó para la búsqueda la base de datos de Gossypium de UniProt. Se consideró como correctas aquellas identificaciones con un PLGS score de confiabilidad de 85 (OK=1) y mayor a 96% (OK=2).

Resultados y Discusión

Para la evaluación de la germinación se consideraron dos criterios: *sensu stricto* (emergencia de radícula hasta 2mm) y alargamiento inicial (radícula >5<10 mm). Bajo condiciones control, estos eventos ocurren entre las 18 y 72 h. Estudios previos (Carrillo-Cruz et al., 2023) mostraron que la incorporación de 120 mM de NaCl disminuye significativamente el porcentaje y velocidad de germinación *sensu stricto* en ambos cultivares, siendo más pronuciado en J91; sin embargo, el efecto del NaCl se acentuó posteriormente, al retrasar el alargamiento y el crecimiento en diámetro en J91 respecto a C95. La longitud de la radícula indica la capacidad de explorar el ambiente y captar agua y nutrimentos (Wu et al., 2016), por lo que durante la germinación refleja el potencial de la nueva plántula para establecerse. Por ello, se consideró que esta etapa pudiera ofrecer una mejor perspectiva de los procesos fisiológicos que conllevan al éxito germinativo en condiciones de estrés y se utilizó para el análisis de la expresión de proteínas, considerando a C95 como el cultivar con mayor tolerancia y a J91 como comparador susceptiible.

El análisis de las proteínas por doble dimensión mostró un patrón similar en ambos cultivares y tratamientos, donde la mayoría de las proteínas se presentan en un punto isoeléctrico (pI) entre 4.5 y 8.5. Si bien hay proteínas de alto peso molecular, son menos abundantes; la gran mayoría se concentra entre los 10 y los 50 kDa. A un pI entre 6-7 y peso molecular de 50 kDa, se observa un doblete muy característico que representa alrededor del 30 % de la proteína total. Análisis proteómicos en semillas del género *Gossypium* muestran que corresponden principalmente a proteínas de almacenamiento, del tipo leguminas y vicilinas (Hu et al., 2011). Por otra parte, entre las distintas condiciones se detectaron diferencias en el patrón de manchas que se tomaron como candidatas para su potencial identificación: I) en las coordenadas (kDa, pI): (25, 8.2), (32, 8.2) y (17, 7.6) manchas presentes en C95_Ty C95_T120 que no se detectan en J91; II) (30, 5), (25, 8) y (40, 7.6-8.2) son únicas o sobreexpresadas en la condición C95_T120; III) (12, 4.6) conjunto de manchas con patrones diferentes en todas las condiciones, de abundancia muy disminuida en J91_T120; y IV) (18, 8.4) mancha muy evidente en J91_T0 y T120, disminuida en C95_T0 y T120 (Figura 1).

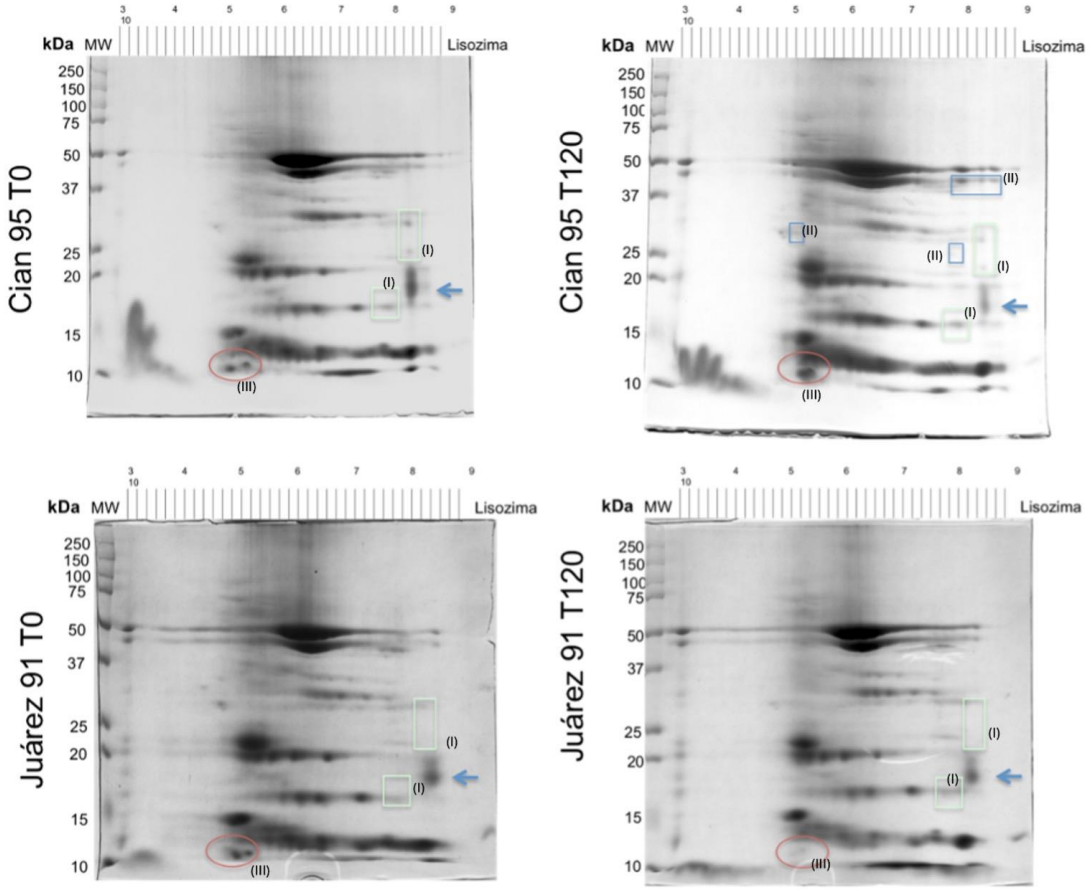


Figura 1. Separación de proteínas por 2D SDS/PAGE de semillas de los cultivares Cian 95 y Juárez 91 germinadas bajo condiciones control (T0) o en NaCl 120 mM (T120). (I) indican manchas únicas de C95_Ty C95_T120; (II) conjunto de manchas con patrones diferentes en todas las condiciones, de abundancia muy disminuida en J91_T120; (III) manchas únicas o sobreexpresadas en la condición C95_T120; flecha indica mancha evidente en J91, disminuida en C95.

De estas manchas candidatas, se secuenciaron aquellas pertenecientes al grupo II, ya que su expresión es mayor en el cultivar con mayor tolerancia (C95) bajo condiciones de estrés salino. Con alto grado de confiabilidad (PLGS score OK=2) se determinó que las aquellas en las coordenadas (25, 8) y (40, 7.6-8.2) corresponden a proteínas de almacenamiento, del tipo de las cupinas y vicilinas; es probable que reflejen dferentes isoformas o productos de su procesamiento. Estas proteínas son diversas y juegan un papel muy importante durante la germinación vigorosa; además de proveer una fuente de aminoácidos y contribuir al metabolismo de carbohidratos y la síntesis de pared celular, algunas participan en la defensa contra radicales libres, participando en la mitigación del daño oxidativo causado por el estrés abiotico (Dunwell et al., 2000).

La proteína en las coordenadas (30, 5) corresponde a una LEA-34. Estas proteínas proporcionan protección a otras proteínas bajo condiciones de estrés, como el osmótico y el salino. Se ha demostrado que su sobreexpresión en plantas como la alfalfa aumenta la tolerancia a dichos estreses, lo que promueve un mejor crecimiento y supervivencia durante la germinación, por lo que continuar su estudio puede resultar de gran interés en programas de mejoramiento (Lv et al., 2021).

Adicional a lo anterior, para obtener un panorama general de los procesos fisiológicos que ocurren en respuesta la salinidad se realizó un análisis de expresión de proteínas por *shotgun.* Basado en las anotaciones, se identificaron en la condición control (0 mM NaCl) 33 y 37 proteínas de C95 y de J91 que cumplieron los criterios de confiabilidad, respectivamente. Bajo condiciones de estrés sódico (120 mM), se identificaron 47 proteínas de C95 y 25 de J91. De las proteínas identificadas, ocho se comparten entre todas las condiciones, si bien su expresión difiere como lo constatan los valores PLGS (Figura 2). Predominan proteínas de almacenamiento de semillas, particularmente cupinas, proteínas 2S ricas en azufre, y una vicilina. Las cupinas tienden a disminuir su expresión bajo estrés salino, independiente del cultivar, mientras que las dos siguientes disminuyen en J91 y se mantienen constantes o aumentan en C95. Un patrón similar se observa para una peptidasa A1 (de aspártico); esta es una proteína clave para la protolisis de proteínas de almacenamiento, por lo que su expresión diferencial pudiera ser indicativo de diferencias en el procesamiento de proteínas en respuesta al estrés. Además, se identificó una proteína DC8, de la familia de las LEA (Late Embryogenesis Abundant), las cuales son de gran importancia para mantener la homeostasis celular durante la maduración de las semillas y la posterior germinación; esta proteína se mantiene a niveles constantes en todas las condiciones. Cabe recalcar que para C95_T120 se confirma la presencia de dos isoformas de LEA-34, que no se observa en otras condiciones, lo cual sustenta su potencial como candidato para futuros estudios, ya que es considerda como clave para incrementar la tolerancia a estreses, previniendo la agregación de otras proteínas, actuando como escudos moleculares y a través de su participación en la regulación de la expresión de genes de respuesa a estrés (Lv et al., 2021).

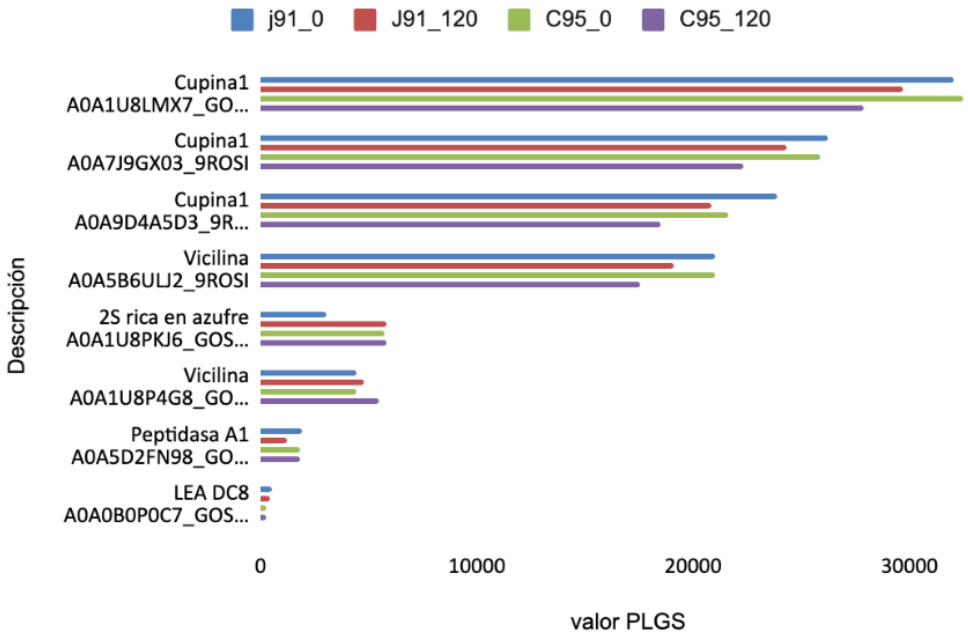


Figura 2. Proteínas compartidas entre cultivares y condiciones representadas por sus valores PLGS calculado con un alto valor de confianza (OK=2) por Protein Lynx Global Server (PLGS; Waters Corporation).

Conclusiones

La comparación de proteínas por 2D/SDS-PAGE y *shotgun* reveló cambios en la expresión de proteinas de almacenamiento, principalmente cupinas y vicilinas. Además, se identificó una proteína LEA-34 que aumenta su expresión en el cultivar con mayor tolerancia (C95) cuando es sometido a estrés salino. Profundizar en su caracterización podría proveer de información valiosa, no solo respecto a los mecanismos que conllevan a incrementar la tolerancia del algodón al estrés salino, sino también potenciales marcadores para selección dentro de un esquema de mejoramiento asistido.

Referencias

Arzani, A. (2008). Improving salinity tolerance in crop plants: a biotechnological view. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant, 44, 373-383. https://doi.org/10.1007/s11627-008-9157-7

Bolek Y., H. Tekerek, K. Hayat & A. Bardak. (2016). Screening of cotton genotypes for protein content, oil and fatty acid composition. Journal of Agricultural Science, 8, 107-121. https://doi.org/10.5539/jas.v8n5p107

Carrillo-Cruz, J., F. García-Campusano, J. L. García Pérez, J. L. Félix Fuentes. (2023). Germinabilidad de cinco cultivares de algodonero-inifap convencional bajo estrés salino. Memoria de la Reunón Nacional de Investigación Agrícola. ISSN 2954-4173. Chihuahua, México. 8 a 11 de noviembre. pp. 439-441.

Dong, H. (2012). Technology and field management for controlling soil salinity effects on cotton. American Journal of Crop Science, 6, 333-341. https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.054789177704118

Herrera-Díaz, J., M. K. Jelezova, F. Cruz-García, T.D. Dinkova. (2018). Protein Disulfide Isomerase (PDI1-1) differential expression and modification in Mexican malting barley cultivars. PLoS ONE, 13(11): e0206470. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206470

Hu, G., N. L. Houston, D. Pathak, L. Schmidt, J.J. Thelen & J. F. Wendel. (2011). Genomically biased accumulation of seed storage proteins in allopolyploid cotton. Genetics, 189, 1103-1115. https://doi.org/10.1534/genetics.111.132407

Dunwell, J., S. Khuri, & P. Gane. (2000). Microbial Relatives of the Seed Storage Proteins of Higher Plants: Conservation of Structure and Diversification of Function during Evolution of the Cupin Superfamily. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 64, 153 - 179. https://doi.org/10.1128/mmbr.64.1.153-179.2000

Lv, A., L. Su, W. Wen, N. Fan, P. Zhou & Y. An. (2021). Analysis of the function of the alfalfa MsLEA-D34 gene in abiotic stress responses and flowering time. Plant & cell physiology, 62(1), 28-42. https://doi.org/10.1093/pcp/pcaa121

Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell and Environment, 25, 239-250. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x

Wang, W., M. Scali, R. Vignani, A. Spadafora, E. Sensi, S. Mazzuca & M. Cresti. (2003). Protein extraction for two-dimensional electrophoresis from olive leaf, a plant tissue containing high levels of interfering compounds. Electrophoresis, 24(14), 2369-2375. https://doi.org/10.1002/elps.200305500

Wu J., J. N. Jenkins, J. C. McCarty & P. Thaxton. (2009). Seed trait evaluation of Gossypium barbadense L. chromosomes/arms in a G. hirsutum L. background. Euphytica, 167, 371-380. https://doi.org/10.1007/s10681-009-9896-5

EFECTO DE LA SODICIDAD EN EL DESARROLLO AÉREO DE VARIEDADES CONVENCIONALES DE ALGODONERO-INIFAP

Florencia García Campusano, José Luis García Pérez*, Gabriel Sosa Pérez, Claudia Meraz Martínez

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Campana, Km. 33.5 Carretera Chihuahua-Ojinaga, Ciudad Aldama, Chih., México. *Autor de correspondencia: garciap.luis@inifap.gob.mx

Introducción

La salinidad se refiere a la acumulación excesiva de sales en la solución del suelo, con predominio de calcio, magnesio y sodio. Es un problema que restringe gravemente la capacidad productiva de muchas especies agrícolas de interés. Alrededor de 400 millones de hectáreas a nivel mundial están afectadas por esta condición; particularmente, en México la sodicidad afecta al 60 % de la superficie de riego y casi el 20 % de la superficie de temporal (SADER, 2021). Se considera que es un problema que aumentará en las siguientes décadas a causa del cambio climático, particularmente en las regiones áridas y semiáridas, donde su efecto es mayor por las altas tasas de evapotranspiración y baja precipitación (Hassani et al., 2021). Por ello, como una estrategia adicional a programas de manejo de suelos y riego, es importante potenciar la capacidad de tolerar condiciones crecientes de salinización en cultivos de interés con capacidad moderada de sobrevivir y mantener su producción bajo estas condiciones.

El algodón, *Gossypium hirsutum* L. es una especie moderadamente tolerante a la salinidad, con un umbral a 7.7 dSm-1, el cual es notablemente superior a otras especies de importancia agrícola. Se considera que tiene un gran potencial para ser utilizada en programas de restauración de suelos salinizados y dunas costeras, así como un cultivo alternativo para ocupar suelos que han perdido sus cualidades por esta condición. No obstante, su tolerancia natural, a concentraciones crecientes de sodio, se observan efectos adversos que merman su desarrollo y afectan su productividad (Munns y Tester, 2008).

Durante los años 80 y 90, el Inifap, a través de los programas de investigación de mejoramiento genético en algodón produjo diversos cultivares convencionales, con buenas características productivas y adaptadas a las regiones algodoneras del país. Existe un creciente interés por retomar estos programas a través de la evaluación de sus capacidades para responder a condiciones ambientales adversas, como la salinidad. Por ello, se considera realizar investigaciones que permitan explorar las cualidades de los diversos cultivares, con un enfoque que favorezca la selección de variantes con mayor aptitud.

La tolerancia del algodonero a la salinidad difiere entre cultivares y etapas de desarrollo, siendo la germinación y el establecimiento las etapas de mayor sensibilidad, logrando estabilizarse a medida que avanza la madurez del cultivo, no obstante, el impacto negativo sobre su potencial productividad. En el presente trabajo se buscó explorar el efecto de concentraciones crecientes de sodicidad sobre el crecimiento aéreo de tres cultivares de algodonero-Inifap (Cian 95, Cian Precoz y Juàrez 91) así como de un cultivo comercial (Delta Pine) durante etapas tempranas del crecimiento bajo condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

Se utilizaron semillas maduras de los cultivares: Cian Precoz (CP), Cian 95 (C95), Juárez 9 (J91), las cuales se cosecharon en 2017, de una siembra de multiplicación realizada en el CE Delicias (CIRNOC)-Inifap. Asimismo, se utilizó semilla de un material comercial Deltapiine (DP) como comparador. La semilla se germinó en charolas con microceldas de poliestireno expandido de 46 cm^3, sobre una mezcla de turba:agrolita:vermiculita (2:1:1) y se regaron con agua cada tercer día. Cuando las plántulas alcanzaron la etapa de dos hojas se trasplantaron a contenedores tubulares de 60 x 10 cm (alto x diam) y 4.71 L, las cuales se llenaron con una mezcla de perlita:vermiculita (1:1) y solución Hoagland (SH) al 50% (Hoagland y Arnold, 1950).

En total se utilizaron 72 plantas provenientes de cuatro cultivares, las cuales se repartieron aleatoriamente en dos tratamientos formados por dos concentraciones crecientes de cloruro de sodio (NaCl) y un control. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Cada combinación de estos factores (Cultivar*Sodicidad) se conformó por seis plantas. Las concentraciones de NaCl se ajustaron según la conductividad eléctrica (CE): T0 (control, SH 50 %); T12 (NaCl 12 dS/m + SH 50 %); T20 (20 dS/m). En los tratamientos de mayor sodicidad, la concentración de NaCl se ajustó paulatinamente en el transcurso de una semana hasta alcanzar el nivel deseado.

El experimento se realizó en un invernadero de malla sombra y las plantas se regaron diariamente con su respectivo medio. Transcurrido tres semanas, se realizaron las siguientes mediciones morfológicas: altura y diámetro al cuello de la planta, número de nudos, área foliar, área foliar específica, biomasa seca de hoja y tallo, índice de vigor (altura/núm.nudos). Previo al procesamiento destructivo se tomaron fotos aéreas con una cámara MAPIR con tres filtros (Rojo + Verde + Infrarrojo Cercano). Con estas imágenes se calcularon estadísticas del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) por cada grupo con la misma variedad y nivel de salinidad. El procesamiento de imágenes se realizó con el software QGIS v. 3.2815.

El análisis de las variables morfológicas y de crecimiento se hizo mediante análisis de varianza de dos vías mediante modelos mixtos, donde los factores fijos, fueron las variedades y los niveles de sodicidad, así como su interacción. Como factor aleatorio se introdujo la bandeja. Cuando hubo significación estadística se aplicaron pruebas de Tukey ($p<0.05$), utilizando el paquete *"emmeans"* (Lenth, 2024). Previo a ello se hizo la comprobación de supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. Todos los análisis se hicieron con el programa R versión 4.4.1 (R Core Team, 2024).

Resultados y discusión

La selección de cultivares del presente estudio derivan de una evaluación previa que mostró que, durante la etapa de germinación y alargamiento inicial de la radícula, los cultivares C95 y CP presentaron la mayor tolerancia a concentraciones altas de NaCl (hasta 18 dS/m), mientras que J91 reflejaba el cultivar más susceptible (Carrillo-Cruz et al., 2023). El presente estudio buscó conocer si esta tendencia se mantenía en una etapa posterior y caracterizar los cambios morfológicos y de crecimiento que se asocian a una mayor o menor tolerancia.

Durante el periodo de experimentación se observó la sobrevivencia del 100 % de las plantas incluso a los 20 dS/m. Tanto la sodicidad como el cultivar tuvieron un efecto significativo sobre las variables morfológicas analizadas; no obstante, la interacción de ambos factores no fue significativa (Cuadro 1). El aumento en la sodicidad provocó la reducción del crecimiento de las plantas, que mostraron valores menores de altura, diámetro, alargamiento de entrenudos (como muestra el índice de vigor), biomasa de tallo y hojas, así como de área foliar; no obstante, se mantuvo sin cambios el área foliar específica (Figura 1). Esto sugiere que el estrés sódico limita el crecimiento general de la planta (al reducir la producción de biomasa), pero las hojas que sí se producen siguen teniendo una relación área/peso similar, lo que indica que están priorizando mantener una capacidad fotosintética eficiente, que en sí puede representar una estrategia compartida de adaptación para enfrentar el estrés (Munns y Tester, 2008).

Cuadro 1. Significación estadística para las variables morfológicas e índice de vigor en cuatro variedades de algodón en respuesta a diferentes niveles de sodicidad. Se muestra el valor de F y entre paréntesis la probabilidad asociada. Los datos en negrita indican efectos significativos.

Factor	Altura	Diámetro	BSH	BST	BSA	AF	AFE	IV
Cultivar (C)	12.89 (<0.001)	5.68 (<0.001)	8.16 (<0.001)	8.49 (<0.001)	10.60 (<0.001)	8.74 (<0.001)	3.11 (<0.034)	9.59 (<0.001)
Sodicidad(S)	84.51 (0.002)	17.19 (0.023)	41.30 (0.006)	44.66 (0.005)	57.73 (<0.004)	10.75 (<0.042)	0.32 (<0.743)	44.16 (0.005)
C*S	1.56 (0.173)	0.98 (0.44)	1.13 (0.35)	1.10 (0.37)	1.39 (<0.234)	1.93 (<0.092)	0.81 (<0.559)	1.40 (0.228)

BSH=Biomasa seca en hojas; BST= Biomasa seca en tallos; Biomasa seca aérea (BSH+BST); AF= área foliar, AFE= Área foliar específica; IV= Índice de vigor.

Cuando se observa el efecto del cultivar, se obtiene que para todas las variables de crecimiento los cultivares de algodonero-Inifap presentaron un comportamiento similar, con una tendencia aparente de CP y J91 de exhibir una mayor robustez que CP (en diámetro y área foliar específica); esto contrasta con observaciones de la etapa germinativa, donde J91 exhibe una respuesta más lenta con el aumento de los niveles de sodicidad y un crecimiento de radícula también inferior a los otros cultivares (Carrillo-Cruz et al., 2023).

Lo anterior muestra que son las etapas más tempranas, la germinación y establecimiento inicial, como esenciales para definir la susceptibilidad de estos cultivares ya que en la etapa posterior operan mecanismos compensatorios que le permiten a la planta joven ajustar su crecimiento para contender con el estrés (Munns y Tester, 2008). Finalmente, las plantas de DP fueron más pequeñas y menos robustas que los otros, aunque al final mantienen una área foliar específica similar a C95 y J91 (Figura 1).

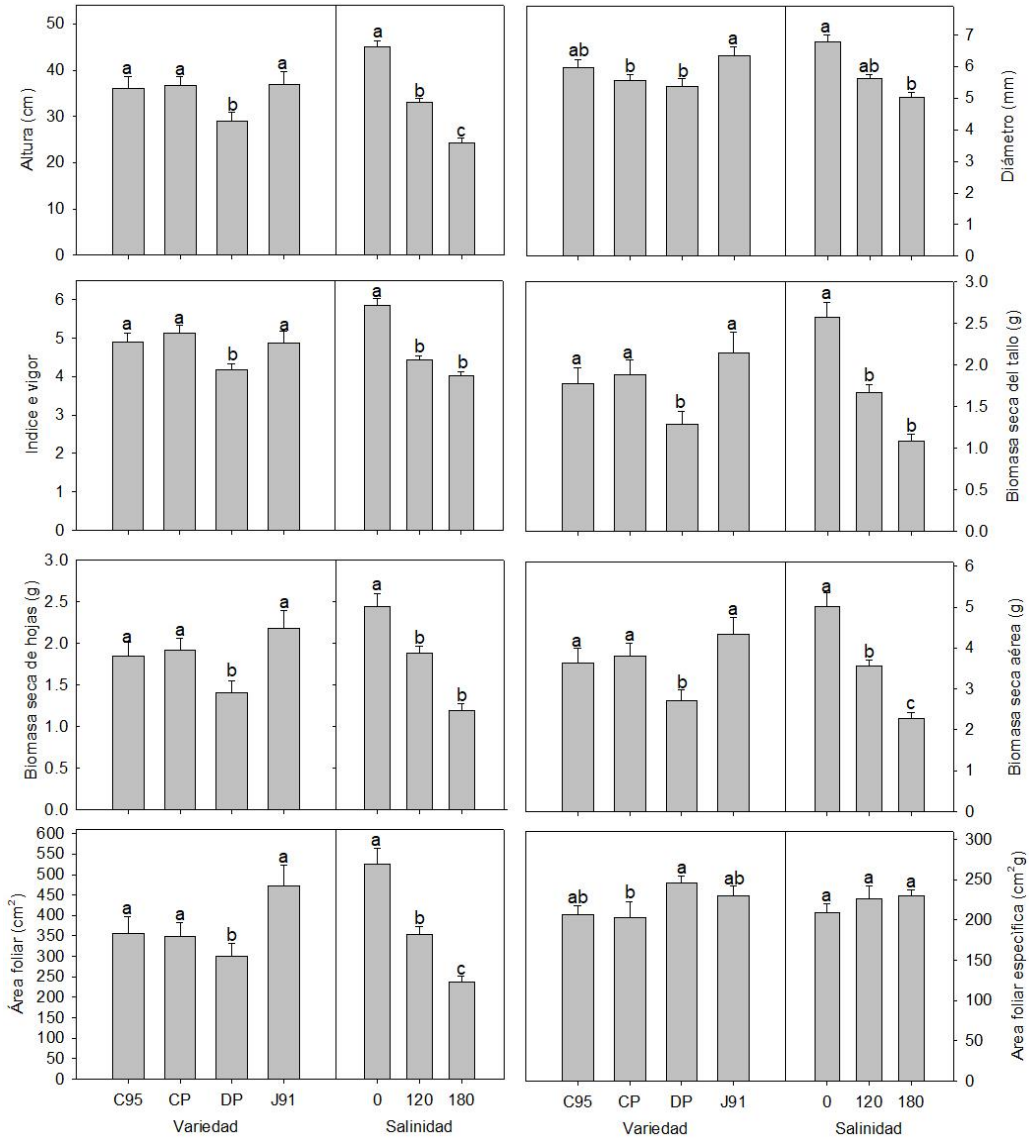


Figura 1. Características morfológicas de cuatro cultivares de *Gossypium hirsutum* L., en respuesta a un gradiente de sodicidad. Medias ± ES. Letras diferentes dentro de cada factor indican diferencias significativas Tukey HSD, α =0.05.

El índice de NDVI se utiliza como una medida para estimar la salud de las plantas en función de la actividad fotosintética (Earth Observing System [EOS], 2019). Esto se evidencia a través de cambios en la cantidad de clorofila captada por cámaras equipadas con filtros para luz infrarroja, que se muestran como alteraciones en la absorción y reflectancia de la luz entre hojas y plantas. La mediana de los datos de NDVI de seis plantas por cultivar y nivel de sodicidad mostraron un rango entre 0.73 y 0.89 (donde 1 indica valor máximo de una planta sana), con una tendencia donde los valores menores estuvieron generalmente asociados a las condiciones de mayor sodicidad. Los índices fueron similares entre cultivares, lo cual es consistente con los resultados obtenidos para las variables de crecimiento, particularmente área foliar y área foliar específica (Figura 2).

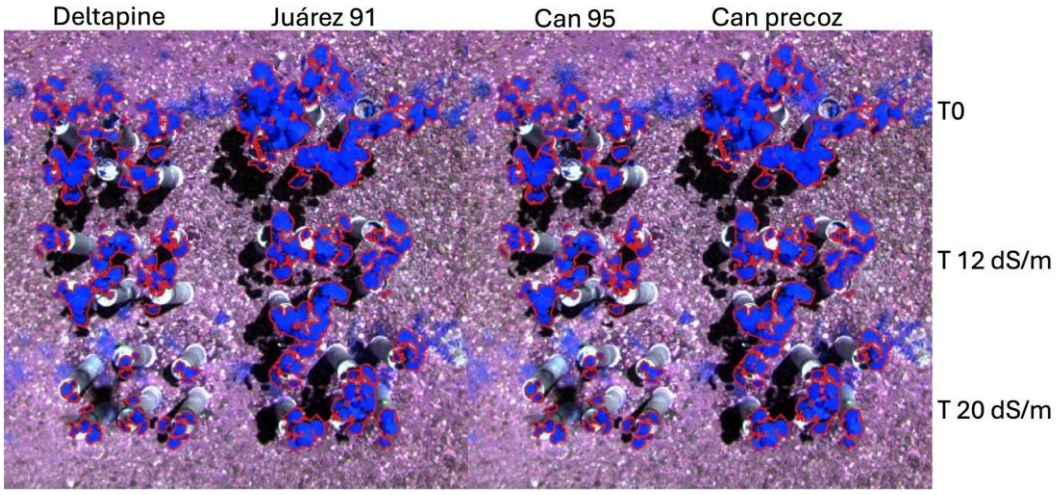


Figura 2. Fotografía con la combinación de bandas Rojo + Verde + Infrarrojo Cercano de la cual se obtuvo el NDVI para cada grupo de plantas por cultivar y nivel de sodicidad.

Conclusiones

Los cultivares de algodonero-Inifap Cian 95, Cian precoz y Juárez 91, mostraron ser capaces de sobrevivir y crecer a altas concentraciones de NaCl (20 dS/m) durante la etapa de planta joven. No obstante, se observó una reducción en el tamaño y biomasa. La capacidad de las plantas de mantener su área foliar específica y el índice de NDVI sugieren un efecto compensatorio entre el crecimiento de la planta y mantenimiento de la capacidad fotosintética, que pudiera reflejar una estrategia para sobrellevar el estrés.

Referencias

Carrillo-Cruz, J., F. García-Campusano, J. L. García Pérez, J. L. Félix Fuentes. (2023). Germinabilidad de cinco cultivares de algodonero-inifap convencional bajo estrés salino. Memoria de la Reunón Nacional de Investigación Agrícola. ISSN 2954-4173. Chihuahua, México. 8 a 11 de noviembre. pp. 439-441.

Dong, H. (2012). Technology and field management for controlling soil salinity effects on cotton. American Journal of Crop Science, 6, 333-341. https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.054789177704118

Earth Observing System. (2019). NDVI FAQ: All You Need To Know About Index. https://eos.com/blog/ndvi-faq-all-you-need-to-know-about-ndvi/

Hassani, A., A. Azapagic & N. Shokri. (2021). Global predictions of primary soil salinization under changing climate in the 21st century. Nature Communications, 12, 6663. https://doi.org/10.1038/s41467-021-26907-3

Hoagland, D. R., & D. I. Arnon. (1950). "The water-culture method for growing plants without soil." California Agricultural Experiment Station Circular, 347, 1-32.

Lenth R (2024). _emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means_. R package version 1.10.4, <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>.

Munns, R. & M. Tester. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59, 651-81. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911.

R Core Team (2024). _R: A Language and Environment for Statistical Computing_. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

PARA EFICIENTAR EL CRECIMIENTO DE SORGO SE PUEDEN USAR FUNCIONES DE CRECIMIENTO

Arturo Chong Eslava

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Autor de correspondencia: achonge@chapingo.mx

Introducción

La producción de sorgo es todavía muy importante en sobre todo las regiones del norte de México, para la industria de los alimentos balanceados. Como el cultivo de sorgo es especialmente rústico para regiones de temporal limitado, es preferido por muchos productores para lograr una cosecha que después sin duda se venderá. Para incrementar su productividad se propone el uso de funciones matemáticas de su crecimiento.

Los modelos matemáticos se han desarrollado para expresar el funcionamiento, el crecimiento y desarrollo de las plantas (Soltani y Sinclair, 2012). Igualmente, las matemáticas ayudan a unificar la biología por identificar principios dinámicos que subrayan la gran diversidad de los procesos biológicos (Adler, 1997). Simulando el crecimiento y desarrollo del sorgo usando modelos matemáticos proporciona una forma para evaluar consecuencias de las decisiones de las opciones de manejo (Hammer et al., 2019).

El objetivo es proponer la utilización de modelos matemáticos de crecimiento para el cultivo de sorgo y predecir su crecimiento. Se desarrolló modelos de crecimiento del sorgo utilizando regresiones no lineares a través de medir el peso seco cada semana en el ciclo de crecimiento de sorgo. Estas funciones pueden ser utilizadas para predecir el crecimiento del sorgo, lo que se puede usar para optimizar la aplicación de riegos o nutrimentos.

Materiales y métodos

Se estableció un cultivo de sorgo de una variedad híbrida, Cobalto de Asgrow, en el Campo Experimental de Chapingo, de la cual se tomaron muestras de la masa total cada 10 días, hasta los 130 días. La unidad experimental fue una planta con cuatro repeticiones. El cultivo se estableció en junio, terminando el ciclo en octubre. Se aplicó una formulación normal de 120-60-40, hecha de los fertilizantes urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio.

Los datos fueron organizados con respecto al tiempo del cultivo, 0 a 130 días después de la siembra con la aplicación de Excel (Office 365, 2024). Se graficó los datos, después, se utilizó la herramienta de Línea de Tendencia para determinar la ecuación matemática en función del tiempo, determinándose la R^2. La función matemática es determinada por la aplicación por medio del método estadístico de cuadrados medios de los datos que describen la curva de la gráfica, integrado como herramienta en la aplicación.

Para lograr la descripción de todo el ciclo de crecimiento, tuvo que dividirse en tres etapas, ya que la gráfica presentaba diferente comportamiento según transcurrió el tiempo, no encontrándose una sola función que pudiera explicar el ciclo completo. La primera etapa correspondió a la etapa de lento crecimiento de la planta, hasta alcanzar la diferenciación floral. La siguiente desde la diferenciación floral hasta la floración. La tercera de la floración hasta la madurez.

Resultados y discusión

Los datos según el tiempo transcurrido se presentan en la Figura 1. Como era de esperarse conforme pasaron los días después de siembra la masa de las plantas se incrementó. La acumulación de la materia seca mostró la clásica forma del crecimiento de las plantas. Primero un crecimiento lento, en la etapa inicial, cuando las plántulas diferencian los nudos y la formación de materia seca es lenta, hasta la diferenciación floral. En seguida, la acumulación de materia seca incrementa su velocidad, hasta alcanzar una tasa exponencial, cuando los nudos están formando las raíces, las hojas, entrenudos y ramas, para cerca de floración disminuir la tasa de acumulación. La tercera flecha de la Figura 1, muestra la etapa de llenado de grano, donde la tasa de acumulación va disminuyendo, hasta detenerse al alcanzar la madurez fisiológica o máxima acumulación de materia seca. En esta última etapa, ocurre la traslocación de materia seca de las estructuras vegetativas a la semilla (Vanderlip, 1993).

Se determinó las funciones matemáticas para cada una de las etapas por separado, por mostrar la acumulación de masa un comportamiento variable, por lo que no se encontró una sola función para todo el ciclo.

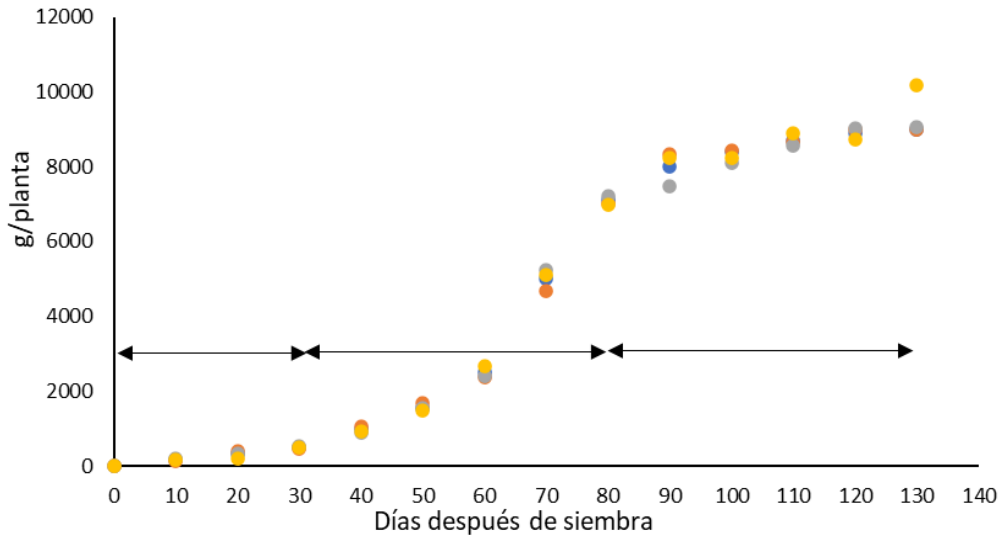


Figura 1. Gráfica de la masa de las plantas de sorgo en función de los días después de siembra.

En la primera etapa se utilizó una función de segundo grado para los primeros treinta días que representa el crecimiento inicial lento de las plantas de sorgo. Como son solo los primeros 30 días, la función presenta la elevación inicial, atemperada por los coeficientes, principalmente 0.0692 de la x^2.

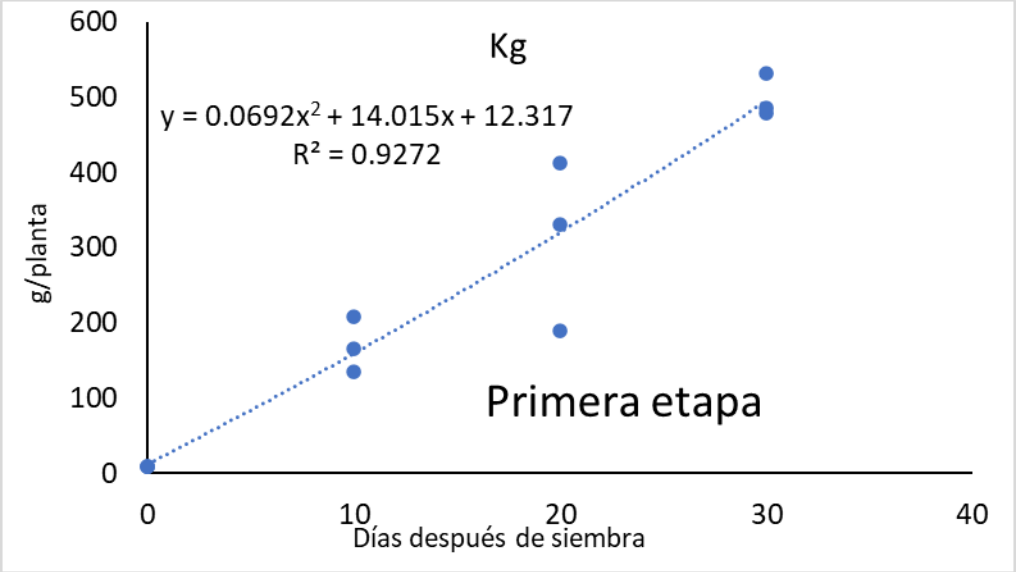


Figura 2. Primera etapa. La acumulación es lenta, lo que se describió con una función de segundo grado

En la segunda etapa también una ecuación de segundo grado se determinó, Figura 3, pero con un coeficiente de 2.799 para la x^2, lo que representa el incremento exponencial observado en esta fase. Recordemos que el crecimiento exponencial de esta etapa corresponde a la acumulación rápida de materia seca dado que los nudos producen nuevas estructuras, las que al mismo tiempo incrementa la demanda de más fotosintatos. La ecuación representa aceptablemente este comportamiento de la planta en esta etapa.

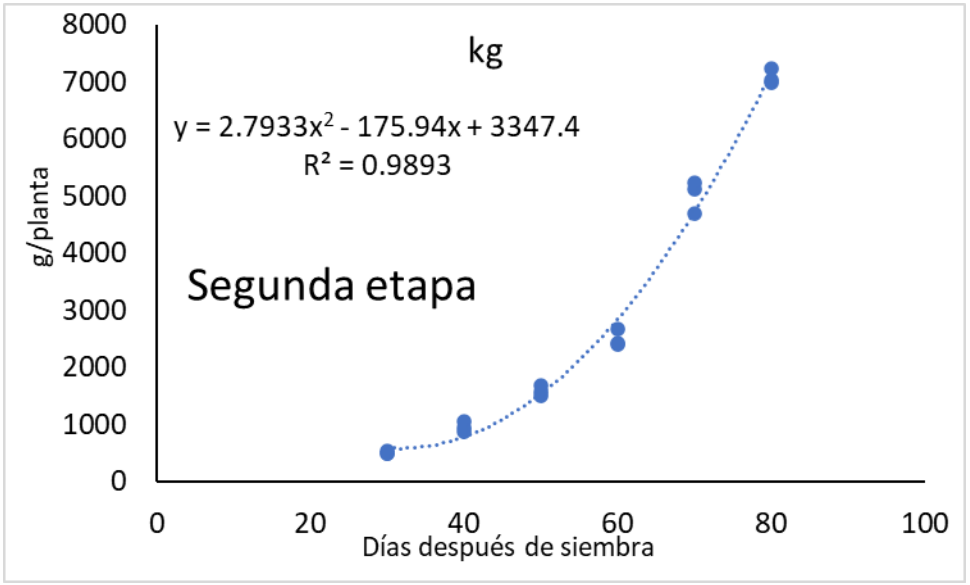


Figura 3. Etapa segunda. El crecimiento es exponencial debido a la rápida acumulación de materia seca.

En la tercera etapa se definió el crecimiento igualmente con una función de segundo grado, aunque con signo negativo del coeficiente en x^2, -0.5117, con curva inversa, como se muestra en la Figura 4. La función representa la acumulación cada vez más lenta, hasta alcanzar la madurez fisiológica.

La Figura 5 muestra todas las funciones unidas para representar todo el ciclo. Para cerrar los espacios entre cada etapa se extendió cada una diez días. Se ha caracterizado el crecimiento del sorgo con tres funciones matemáticas en relación con los días del cultivo, como se estableció con la hipótesis.

Estas funciones matemáticas tienen el potencial de poderse usar en la agricultura moderna al añadir un aspecto de mayor control. Se podrán usar para predecir el crecimiento del cultivo de sorgo y eficientizar su crecimiento con mejor determinación de las fertilizaciones y riegos y otros aspectos de su proceso de trabajo.

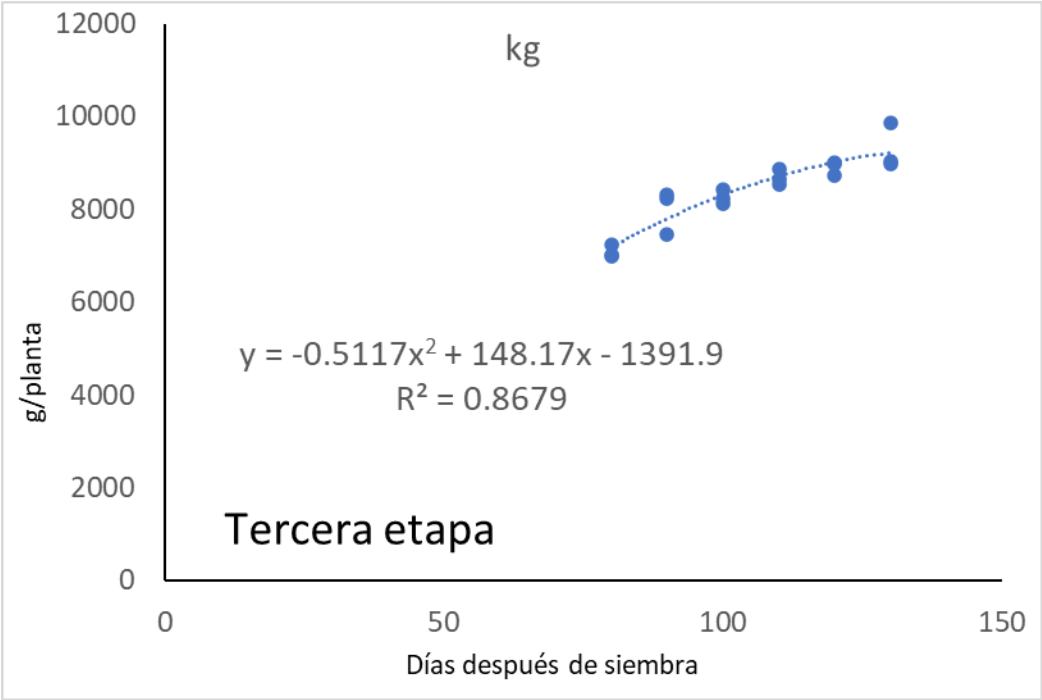


Figura 4. Tercera etapa. El crecimiento disminuye hasta detenerse. La curva es inversa.

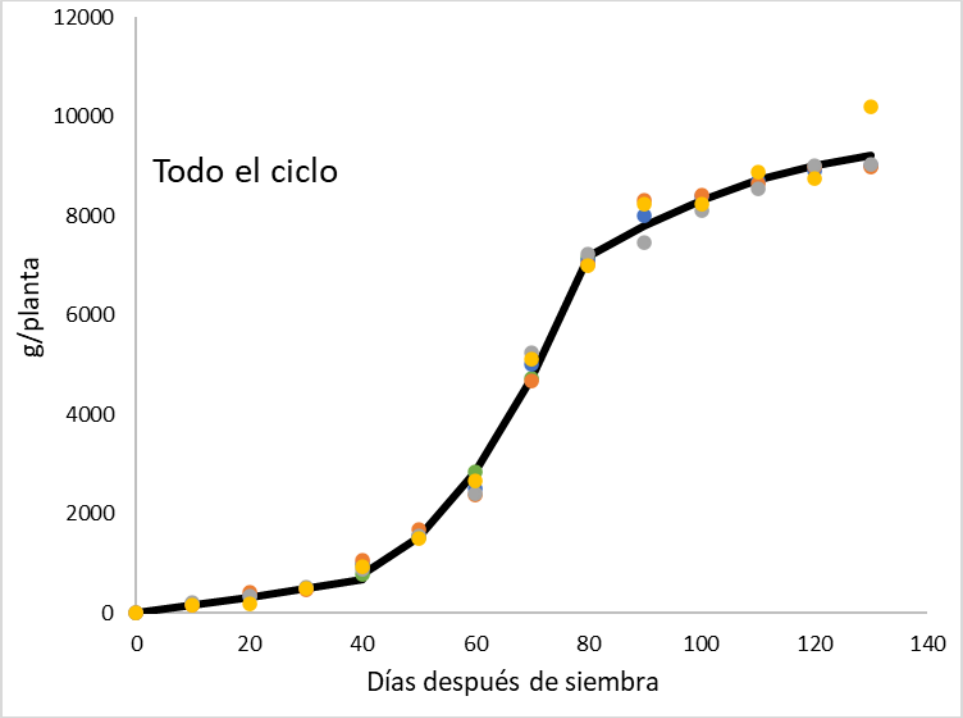


Figura 5. Todas las etapas, donde cada función representa el crecimiento del sorgo hasta la madurez.

Conclusiones

El crecimiento del sorgo se caracterizó o modelo con tres funciones matemáticas, desde la siembra hasta la madurez. Cada función representó una etapa del comportamiento de la acumulación de la materia seca del cultivo. Estas funciones pueden modelar el crecimiento del ciclo, con lo cual se suma un aspecto más al conocimiento del crecimiento del sorgo, que podría usarse para predecir su crecimiento y eficientizar sus procesos de producción.

Literatura Citada

Adler, Frederick R. 1997. Modeling the dynamics of life. GWO. USA. ISBN 0-534-34816-5. 784 pp.

Hammer, G., Greg McLean, Al Doherty, Erik van Oosterom, Scott Chapman. 2019. Sorghum crop modeling and its utility in agronomy and breeding. Agronomy Monographs. Doi.org/10.2134/agronmonogr58.c10.

Office 365. 2024. Microsoft. Windows.Co.

Soltani, Afshin and Thomas R. Sinclair. 2012. Modeling physiology of crop development, growth and yield. CABI, USA. ISBN-13: 978 1 84593 970 0. 322 pp.

Vanderlip, R. L. 1993. How a Sorghum Plant Develops. Contribution No. 1203, Agronomy Department, Kansas Agricultural. Experiment Station, Manhattan, 66506.

EFECTO DE LA INOCULACIÓN DE RIZOBACTERIAS EN EL DESARROLLO DEL NOGAL PECANERO (*Carya illinoinensis*) (W.) K.

Diana Ivonne Banderas-Sánchez, Rubén Palacio-Rodríguez*, Jesús Josafath Quezada-Rivera, Jorge Sáenz-Mata, Perla Patricia Ochoa-García

Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad, Fracc. Filadelfia, 35010, Gómez Palacio, Durango, México. *Autor para correspondencia: biol.palacio@hotmail.com

Introducción

El nogal pecanero (*Carya illinoinensis*), de la familia Juglandaceae, es un cultivo de nuez de alto valor económico, ampliamente cultivado en México y el sur de los Estados Unidos. A pesar de su relevancia, existe una notable escasez de estudios sobre sus interacciones ecológicas, especialmente con microorganismos beneficiosos como las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) (Flores-Estrada, 2019). Aunque algunas especies de Juglandaceae establecen asociaciones simbióticas con hongos ectomicorrícicos que facilitan la absorción de agua y nutrientes, se sabe poco sobre las relaciones entre el nogal pecanero y las rizobacterias, lo que limita el conocimiento de su potencial biotecnológico (Bakht, 2020).

Las PGPR desempeñan un papel fundamental en el desarrollo vegetal, optimizando el crecimiento de las plantas mediante varios mecanismos biológicos y químicos. La interacción entre los exudados radiculares del nogal pecanero y las PGPR no solo estimula el crecimiento, sino que también reduce la incidencia de patógenos, proporcionando una alternativa sostenible para mejorar la salud del cultivo (Velasco-Jiménez, 2019). El objetivo de este estudio es explorar el impacto de las PGPR en el desarrollo del nogal pecanero, ofreciendo alternativas que potencien el crecimiento y disminuyan la dependencia de fertilizantes químicos.

Materiales y métodos

Se emplearon semillas de *Arabidopsis thaliana* Col-0 y de *Carya illinoinensis* (nuez criolla) para evaluar la influencia de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR). Las cepas de rizobacterias utilizadas, identificadas como CR1 a CR11, pertenecen al ceparío del Laboratorio de Ecología Microbiana de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango y fueron aisladas de las "cluster roots" de *Distichlis spicata*.

Las semillas de *Arabidopsis thaliana* se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 20%, enjuagadas con agua destilada estéril y vernalizadas a 4°C durante 48 horas. Posteriormente, se germinaron en cajas Petri con medio MS 0.2X. Cuatro días después de la germinación, la inoculación se realizó mediante una estría de la bacteria en la parte inferior de la caja Petri, utilizando una suspensión bacteriana ajustada a 2.5 x 10^8 UFC/ml para evaluar la interacción entre las plantas y las rizobacterias.

Las semillas de *Carya illinoinensis* se obtuvieron de una huerta en Nazas, Durango (25°15′08″ N, 104°06′09″ W, altitud 1240 msnm) y fueron trasladadas al laboratorio para su uso en los experimentos. Las semillas se lavaron y desinfectaron en una charola con una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 20% durante 5 minutos. Posteriormente, se germinaron en charolas con sustrato de Peat moss y, al germinar, fueron transferidas a macetas de plástico con una mezcla de Peat moss, perlita y vermiculita en proporción 3:1:1. La inoculación de las plántulas de nogal pecanero se llevó a cabo en la base del tallo, aplicando 10 ml de la suspensión bacteriana ajustada a 2.5 x 10^8 UFC/ml.

Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software GraphPad Prism 7. Se consideraron diferencias estadísticamente significativas cuando $p < 0.05$.

.

Resultados y discusión

Los resultados mostraron que las raíces y la parte aérea de las plántulas inoculadas todas superaron al control sin inoculación (Figura 1). Las bacterias que más destacaron fueron, CR10 (K) y CR11 (L), las cuales mostraron un mayor número de raíces secundarias y un notable crecimiento en la parte aérea en comparación con el control (A).

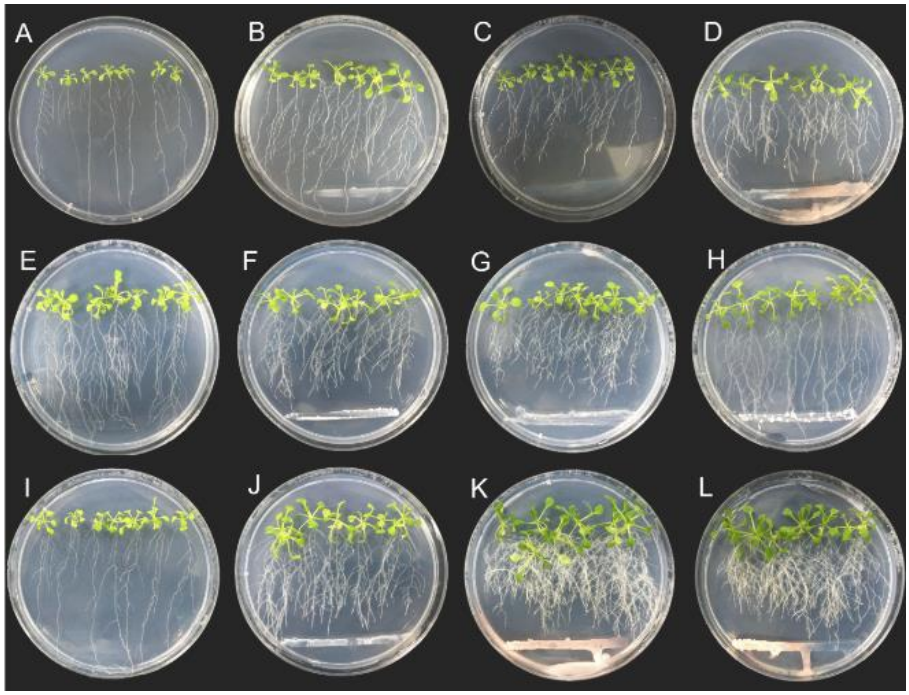


Figura 1. Fotografías de las confrontaciones de las 11 rizobacterias sobre *A. thaliana*. Después de los 11 días de interacción plántula-bacteria en estría inferior de la caja petri. A: Control B: CR1 C: CR2 D: CR3 E: CR4 F: CR5 G: CR6 H: CR7 I: CR8 J: CR9 K: CR10 L: CR11

Efecto de las Rizobacterias en *Arabidopsis thaliana.* En cuanto al parámetro de raíces secundarias, la Figura 2 muestra que la mayoría de las rizobacterias evaluadas presentaron diferencias significativas en comparación con el control, indicando un efecto positivo en este parámetro. Solo la rizobacteria CR8 no mostró una diferencia significativa.

En el caso del peso total de la plántula de *A. thaliana*, los análisis revelaron que las rizobacterias CR3, CR5, CR6, CR7, CR9, CR10 y CR11 presentaron diferencias significativas en comparación con el control sin inocular (Figura 3). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Palacio-Rodríguez (2017), quien observó efectos positivos en plántulas de *Arabidopsis* cultivadas in vitro, evidenciando un notable crecimiento en las raíces primarias y un incremento en el número de raíces secundarias.

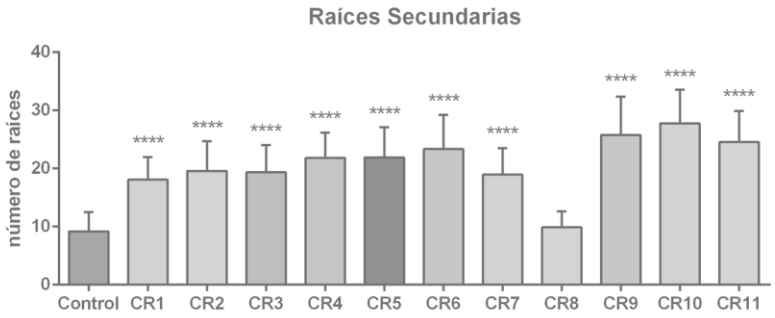


Figura 2. Efecto de la inoculación con diferentes cepas de rizobacterias (CR1 a CR11) en el número de raíces secundarias de *Arabidopsis thaliana*. Los valores representan el promedio ± error estándar de tres repeticiones. Las barras marcadas con asteriscos (****) indican diferencias estadísticamente significativas en comparación con el control sin inoculación ($p < 0.05$).

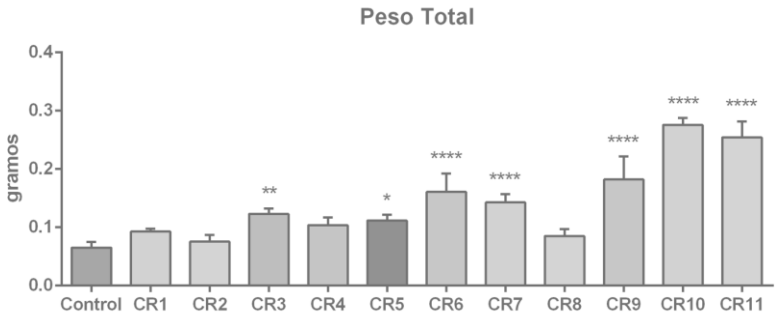


Figura 3. Efecto de la inoculación con diferentes rizobacterias (CR1 a CR11) en el peso total de las plántulas de *A. thaliana*. Los valores representan el promedio ± error estándar de tres repeticiones. Las barras marcadas con asteriscos (****) indican diferencias estadísticamente significativas en comparación con el control sin inocular ($p < 0.05$.).

Confrontación de las PGPR en *C. illinoinensis*

Peso de la Raíz Principal. Los resultados representados en la (Figura 4), revelaron diferencias significativas en el peso de las raíces principales. Las plantas tratadas con CR4 mostraron un aumento del 76% en el peso de la raíz principal en comparación con el control, mientras que las plantas inoculadas con CR10 alcanzaron un incremento del 106%.

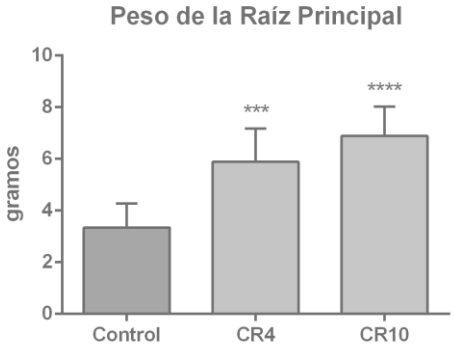


Figura 4. La figura muestra las barras de 3 grupos de plantas, indicando un aumento significativo en el peso de la raíz principal en las plantas inoculadas con CR4 y CR10 en comparación con el control. Las barras representan la media con su respectiva barra de desviación estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas respecto al control.

Peso de las Raíces Secundarias. La rizobacteria CR4 aumentó el peso en un 246.7% y la rizobacteria CR10 en un 167% en comparación con el control sin inoculación bacteriana, lo que evidencia una diferencia significativa, (Figura 5). Estos resultados indican que las plantas de nogal inoculadas con estas rizobacterias generaron un mayor peso y un mayor número de raíces secundarias, mejorando su capacidad para captar nutrientes.

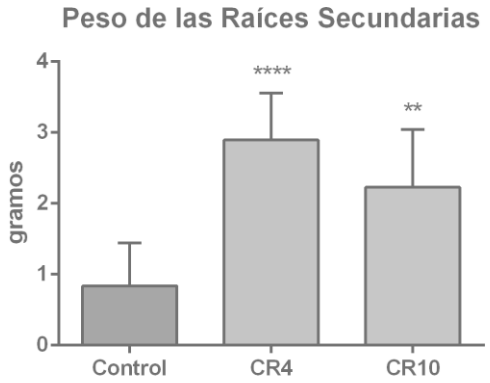


Figura 5. La figura muestra las barras correspondientes a los 3 grupos de tratamiento, donde se observa un incremento significativo en el peso de las raíces secundarias en las plantas inoculadas con CR4 y CR10. Las barras representan la media con su respectiva barra de desviación estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas respecto al control.

Peso de las Hojas. El peso de las hojas mostró resultados positivos con ambas rizobacterias en comparación con el control. La rizobacteria CR4 destacó significativamente, mostrando la mayor diferencia en comparación con el control no inoculado (Figura 6)

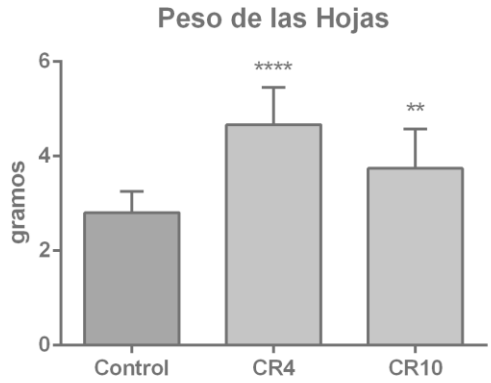


Figura 6. La figura muestra las barras correspondientes a los 3 grupos de tratamiento, donde se observa un aumento significativo en el peso de las hojas en las plantas inoculadas con CR4 y CR10. Las barras representan la media con su respectiva barra de desviación estándar. Los asteriscos indican diferencias significativas respecto al control.

Peso del Tallo. Los resultados reflejados en la (Figura 7) indican que no hubo diferencias significativas en comparación con el control sin inoculación bacteriana. Aunque CR4 mostró un aumento del 17.5% y CR10 un ligero incremento del 8.7% en el peso del tallo respecto al control, estos incrementos no alcanzaron significancia estadística.

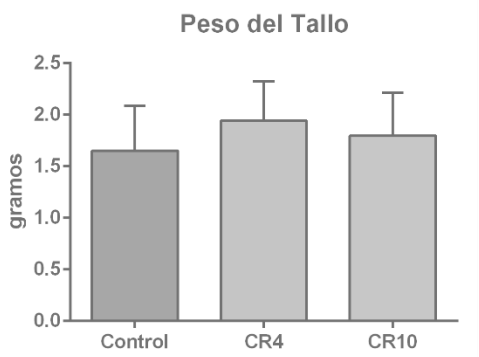


Figura 7. Efecto de las rizobacterias CR4 y CR10 en el peso del tallo de las plantas de nogal en comparación con el control sin inoculación. La figura muestra las barras correspondientes a los 3 grupos de tratamiento, donde no se observa un aumento significativo en el peso del tallo en las plantas inoculadas con CR4 y CR10 en comparación con el control. Las barras representan la media con su respectiva barra de desviación estándar.

Conclusiones

Los resultados de este estudio demuestran que la inoculación con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) tiene un efecto positivo en el desarrollo de *Arabidopsis thaliana*, tanto en el crecimiento radicular como en la parte aérea. En particular, la cepa CR4 destacó significativamente al promover un mayor número de raíces secundarias y un incremento en el peso de las hojas, superando al control no inoculado y a otras cepas evaluadas. Estos hallazgos sugieren que la aplicación de rizobacterias como CR4 puede ser una estrategia eficaz para mejorar el crecimiento y la productividad de las plantas, lo que podría tener implicaciones importantes para su uso en la agricultura sostenible y en la reducción de la dependencia de fertilizantes químicos. Futuros estudios deberán explorar el impacto de estas rizobacterias en otras especies vegetales y en condiciones de campo para validar su potencial como biofertilizantes.

Referencias

Bakht Dalir, S. J., Djahaniani, H., Nabati, F., & Hekmati, M. (2020). Characterization and the evaluation of antimicrobial activities of silver nanoparticles biosynthesized from Carya illinoinensis leaf extract. *Heliyon*, *6*(3).

Flores-Estrada, R. A., Gámez-Meza, N., Medina-Juárez, L. A., Castillón-Campaña, L. G., Molina-Domínguez, C. C., Rascón-Valenzuela, L. A., & García- Galaz, A. (2020). Chemical Composition, Antioxidant, Antimicrobial and Antiproliferative Activities of Wastes from Pecan Nut [Carya illinoinensis (Wagenh) K. Koch]. *Waste and Biomass Valorization, 11*, 3419-3432.

Palacio-Rodríguez, R., Coria-Arellano, J. L., López-Bucio, J., Sánchez-Salas, J., Muro-Pérez, G., Castañeda-Gaytán, G., & Sáenz-Mata, J. (2017). Halophilic rhizobacteria from Distichlis spicata promote growth and improve salt tolerance in heterologous plant hosts. *Symbiosis,* 73, 179-189.

Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., & Rodríguez-Sahagún, A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana,* 38(2), 333-3445.

LA INOCULACIÓN DE PLANTAS DE FRIJOL PINTO SALTILLO CON *Fusarium* INDUCE UN INCREMENTO EN EL RENDIMIENTO

Mayra Denise Herrera*, José Ángel Cid Ríos, Getsemaní Alejandra Ibarra Vázquez, Silvia Salas Muñoz, Luis Roberto Reveles Torres

[1]INIFAP-CEZAC. Carretera Zacatecas-Fresnillo, km. 24.5, Calera de V.R., Zacatecas, México. C.P. 98500. *Autor de Correspondencia: mayradherrera@gmail.com

Introducción

Las plantas interactúan con diferentes microorganismos de la rizosfera, reportados como patógenos o beneficiosos para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Hassan et al., 2019). El interés en los microorganismos beneficiosos ha aumentado debido a los efectos beneficiosos reportados cuando se inoculan en plantas de cultivo. El frijol común (*Phaseolus vulgaris*) es la leguminosa de grano más importante para el consumo humano directo (Herrera et al., 2019). Se han realizado pocos estudios relacionados con microorganismos promotores del crecimiento en este cultivo. Se han utilizado micorrizas arbusculares, para inducir respuestas de las plantas (Abdel-Fattah et al., 2011) y *Beauveria bassiana* para acelerar el crecimiento de las plantas (Afandhi et al., 2019). Parsa et al. (2016) realizaron un estudio de hongos endófitos en semillas germinadas de 11 cultivares diferentes de la Unidad de Recursos Genéticos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ubicado en Colombia, esto resultó en 394 aislamientos endófitos pertenecientes a 42 taxones. *Aureobasidium pullulans* fue el endófito dominante; *Xylaria* sp., *Cladosporium cladosporioides* y *Fusarium oxysporum* fueron comunes. En el caso de *Fusarium*, este es un hongo que se caracterizan por ser un grupo importante de patógenos para una gran diversidad de plantas, y se reportan como generadores de micotoxinas. Sin embargo, existen algunas cepas no patógenas con actividad benéfica, aunque el estilo de vida de estas especies se conoce muy poco (Summerell et al., 2010). Actualmente, existen pocos reportes del género de *Fusarium* sp como promotor de crecimiento vegetal, tal es el caso de *F. oxysporum* y *F. equiseti*, que promueven el crecimiento en *Lectuca sativa* y *Cucumis sativus*, respectivamente (Thongkamngam y Jaenaksorn, 2017, Saldajeno y Hyakumachi, 2011). Por la importancia del cultivo del frijol en la Zacatecas, el objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de cepas del hongo *Fusarium* como estimulantes de crecimiento de plantas de frijol.

Materiales y métodos

Establecimiento de la parcela experimental. Los trabajos de investigación se realizaron en terrenos del Campo Experimental Zacatecas (Calera, Zacatecas), ubicado a 22° 54' latitud Norte, y 102° 39' longitud Oeste a una altitud media de 2,197 msnm. La evaluación de las cepas se realizó en dos años consecutivos, en el ciclo primavera verano de 2022 y 2023. La parcela se estableció con la variedad de frijol Pinto Saltillo en surcos de 0.76 m y 10 cm entre plantas, bajo condiciones de riego por goteo.

Para la evaluación de hongos promotores de crecimiento, se utilizó una suspensión de esporas fúngicas que se ajustó a 1 x 10^6 esporas por mL. El aislamiento de las cepas y trabajos *in vitro* previos a su evaluación en campo están previamente reportados (Reveles-Torres et al., 2019). Esta suspensión de esporas fue posteriormente utilizada para la inoculación de las plantas de frijol. Para visualizar el efecto de las cepas, no se aplicó fertilización química en este estudio. No se utilizó ningún tipo de herbicida o insecticida.

Diseño experimental e inoculación de platas de frijol. Se trabajó con tres cepas de Fusarium aisladas de plantas de *Zea maiz*: a) Cepa 1: Fusarium (M10.2.T), b) Cepa 2: Fusarium (M10.2.R) y c) Cepa 3: Fusarium (P119). Se siguió un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las parcelas (bloques) constaron de cuatro surcos con 4 m de longitud, en las que todas las plantas fueron inoculadas. Adicionalmente se incluyó un testigo sin aplicación de cepa. Para los muestreos de las plantas de Pinto Saltillo, cada planta se consideró como una unidad experimental (UE). La inoculación se realizó de forma manual. Se vertió cuidadosamente una alícuota de 50 mL de la suspensión de esporas fúngicas sobre el suelo, cerca del cuello de la raíz de cada planta de frijol.

Componentes de crecimiento. A los 55 días después de la siembra, dentro de cada repetición se seleccionaron cinco UE consecutivas con competencia completa, donde se midió la altura de planta, esta se tomó comenzando desde la superficie del suelo hasta llegar a la parte superior de la planta, para el registro de este dato se utilizó una regla graduada en cm; la cobertura se midió en cm donde solo se consideró la cobertura de las hojas en el acho del surco, para el registro de este dato se utilizó una regla graduada en cm. Adicionalmente, se contabilizó el número de vainas por planta en cada tratamiento y repetición. Cuando el cultivo llego a madurez fisiológica se realizó la cosecha de los dos surcos centrales colectando 4 m lineales de cada tratamiento con las cepas, y testigo, en cada repetición. Después del trillado y limpieza, se determinó el peso de cien semillas y el rendimiento por hectárea.

Análisis estadístico. Los datos se analizaron mediante la comparación múltiple de medias con el paquete estadístico SAS (SAS Institute ver. 9.3, 2002-2010, Cary, NC, EE. UU.). Las medias de tratamiento se agruparon por la prueba estadística de Tukey con $p<0.05$.

Resultados y discusión

Una vez que las plantas de frijol llegaron a madurez fisiológica, y se cuantificó el número de vainas por planta (Figura 1), los resultados mostraron un aumento en esta variable cuando las plantas fueron inoculadas con las cepas de *Fusarium*. En las plantas tratadas en 2022, se observa un ligero incremento de número de vainas por planta, cuando estas fueron inoculadas principalmente con M10.2.T (Figura 1a), mientras que para el año 2023, el efecto fue más importante, no encontrando diferencias significativas entre las tres cepas evaluadas (Figura 1b). Los resultados obtenidos pueden ser atribuidos a lo señalado por López-Gómez et al. (2014), quienes señalan que la capacidad de adaptación y colonización de las cepas es notoria después de los 30 días, después de la inoculación de las mismas. Varios estudios han reportado el impacto de la inoculación de microorganismos benéficos en el crecimiento, desarrollo, y mejora del rendimiento del cultivo de frijol común (Camacho et al., 2001; Figueiredo et al., 2008; Yadegari & Rahmani, 2010). Esto pudiera estar relacionado con los resultados obtenidos en el conteo de número de vainas, ya que un incremento en el número de vainas está asociado al rendimiento del cultivo.

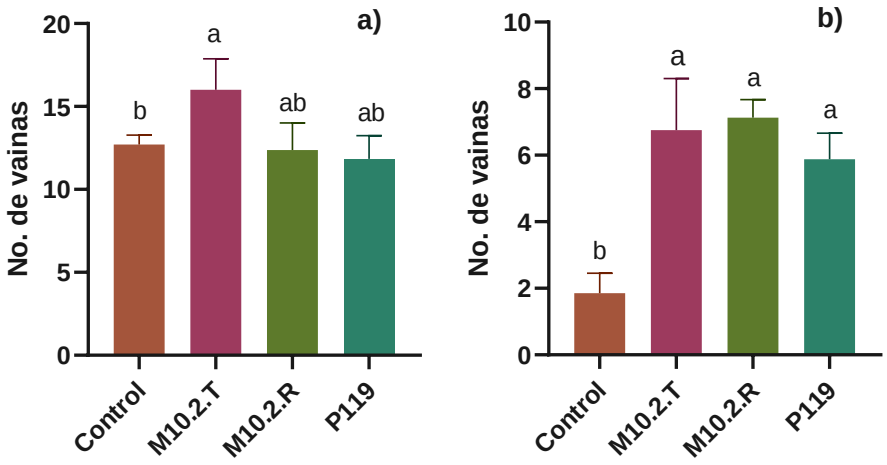


Figura 1. Conteo del número de vainas en plantas de frijol inoculadas con cepas de Fusarium en a) 2022 y b) 2023. Los datos se muestran como la media ± el error estándar. Letras diferentes entre barra indican diferencia significativa ($p<0.05$) con la prueba de Tukey.

En la Tabla 1 se observa el rendimiento estimado por hectárea de frijol Pinto Saltillo inoculado con cepas de Fusarium, cosechas 2022 y 2023. Los resultados muestran que para el rendimiento por hectárea de 2022 se encontraron diferencias altamente significativas (P=0.002), donde M10.2.T presentó un incremento de rendimiento del 4.19% con respecto al grupo control, y superior en rendimiento respecto al resto de las cepas.

Tabla 1. Comparación de medias para el rendimiento por hectárea de frijol Pinto Saltillo de plantas inoculadas con cepas de Fusarium, en el ciclo primavera verano 2022-2023 dentro del CEZAC.

Tratamiento	2022	2023
	kg/ha	kg/ha
Control	2,170.0 a	1,168.0 b
M10.2.T	2,265.0 ab	1,703.0 a
M10.2.R	1,879.0 ab	1,191.0 b
P119	1,728.0 b	1,175.0 b

Para el rendimiento por hectárea del año 2023, se encontraron diferencias significativas (P=0.024) donde se encontró nuevamente que M10.2.T fue la cepa que mejoró el rendimiento con 1,703.0 kg/ha, por lo que se considera que la inoculación no afecta la fisiología de la planta de frijol Pinto Saltillo, por el contrario, se muestra una tendencia a favorecer el crecimiento de la planta, y la calidad comercial.

Otros microorganismos, incluidos *Rhizobium, Bradyrhizobium, Agrobacterium, Sinorhizobium* y *Pseudomonas*, han demostrado efectos positivos sobre la nodulación, el crecimiento y el rendimiento en cultivos de leguminosas a través de la fijación de nitrógeno, la producción de fitohormonas como el ácido indol acético y la solubilización de fosfato (Ndakidemi et al., 2006; Rosas et al., 2006). En cuanto a las cepas de *Fusarium*, existen pocos reportes del género de *Fusarium* sp. como promotor de crecimiento vegetal, tal es el caso de *F. oxysporum* y *F. equiseti*, que promueven el crecimiento de diferentes cultivos (Thongkamngam y Jaenaksorn, 2017, Saldajeno y Hyakumachi, 2011).

Conclusiones

Se ha incrementado el interés de determinar si los microorganismos aislados de un cultivo en específico, los cuales han mostrado ser benéficos y/o patogénicos para este cultivo o incluso una variedad específica, tienen la capacidad de actuar de manera similar en un cultivo diferente (coadyuvante), ya que se ha demostrado que tanto el efecto benéfico como patogénico depende directamente de la afinidad del microorganismo al cultivo e incluso a la variedad de este.

Referencias

Abdel-Fattah, G. M., El-Haddad, S. A., Hafez, E. E., & Rashad, Y. M. (2011). Induction of defense responses in common bean plants by arbuscular mycorrhizal fungi. Microbiological Research, 166(4), 268–281.

Afandhi, A., Widjayanti, T., Emi, A. A. L., Tarno, H., Afiyanti, M., & Handoko, R. N. S. (2019). Endophytic fungi Beauveria bassiana Balsamo accelerate the growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 6(1), 1–6.

Camacho, M., Santamaria, C., Temprano, F., Rodriguez-Navarro, D. N., & Daza, A. (2001). Co-inoculation with Bacillus sp. CECT 450 improves nodulation in *Phaseolus vulgaris* L. Canadian Journal of Microbiology, 47(11), 1058–1062.

Figueiredo, M. V. B., Martinez, C. R., Burity, H. A., & Chanway, C. P. (2008). Plant growth-promoting rhizobacteria for improving nodulation and nitrogen fixation in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). World Journal of Microbiology and Biotechnology, 24, 1187–1193.

Herrera, M. D., Acosta-Gallegos, J. A., Reynoso-Camacho, R., & Pérez-Ramírez, I. F. (2019). Common bean seeds from plants subjected to severe drought, restricted, and full-irrigation regimes show differential phytochemical fingerprints. Food Chemistry, 294, 368–377.

Parsa, S., García-Lemos, A. M., Castillo, K., Ortiz, V., López-Lavalle, L. A. B., Braun, J., & Vega, F. E. (2016). Fungal endophytes in germinated seeds of the common bean *Phaseolus Vulgaris*. Fungal Biology, 120(5), 783–790.

Reveles-Torres, L.R., Herrera, M.D., Salas-Muñoz, S., Salazar-Badillo, F.B., Mauricio-Castillo, J.A. (2019). Evaluación de la capacidad benéfica e identificación molecular de cepas de *Fusarium* spp aisladas de plantas de maíz. Folleto Técnico Núm. 105. Campo Experimental Zacatecas, CIRNOC-INIFAP, 29p.

Rosas, S. B., Andrés, J. A., Rovera, M., & Correa, N. S. (2006). Phosphate-solubilizing Pseudomonas putida can influence the rhizobia–legume symbiosis. Soil Biology and Biochemistry, 38(12), 3502–3505.

Saldajeno, M.G.B., Hyakumachi, M. (2011). The plant growth promoting fungus *Fusarium equiseti* and the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* stimulate plant growth and reduce severity of anthracnose and damping-off diseases in cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings. Annals of Applied Biology. 159: 28–40

Summerell, B., Laurence, M., Liew, E. & Leslie J. (2010). Biogeography and phylogeography of Fusarium: a review. Fungal Diversity. 44, 3–13.

Thongkamngam. T., and Jaenaksorn. T. (2017). *Fusarium oxysporum* (F221-B) as Biocontrol Agent against Plant Pathogenic Fungi in Vitro and in Hydroponics. Plant Protect. Sci. 53(2): 85–95.

Yadegari, M., & Rahmani, H. A. (2010). Evaluation of bean (*Phaseolus vulgaris*) seeds' inoculation with Rhizobium phaseoli and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components. African Journal of Agricultural Research, 5(9), 792–799.

EVALUACIÓN FORRAJERA DE MAICES REGIONALES EN EL RANCHO EL CARMEN

Miguel Angel Mata-Espinosa[1]*, Jaime Noe Carrillo-Avila[1], José Ramón Hernández-Salgado[1], Gonzalo Hernández-Ibarra[1], Mauricio Velázquez-Martínez[2], David Hernández-Sánchez[3], Neiry Manuel Alvarado-Ruacho[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]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. [3]Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Edo. México. CP 56230. *Autor de correspondencia: mata@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

La recolecta y el estudio de los maíces nativos de México ha sido de interés, debido principalmente a que proporcionan alelos que pueden ser útiles para el mejoramiento genético en diferentes regiones del país y su contribución a la diversidad genética mundial donde los procesos biológicos y antropocéntricos, además de la selección y adaptación a través de regiones, condiciones socioeconómicas y biotipos ecológicos distintos, han generado diferentes combinaciones que incrementan la diversidad de maíz (González-Martínez et al., 2020). Se proyecta que a consecuencia del cambio climático aumentará la temperatura y cambiarán los patrones de precipitación pluvial, que afectará la producción de maíz en muchas regiones de México. Bajo ese escenario, los maíces mejorados podrían ser más afectados; mientras que los nativos y adaptados a diversas regiones agroecológicas que aún conservan sus características genéticas ancestrales, podrían ser una alternativa para la producción de maíz como fuente de grano y forraje a mediano plazo (Conceicao-Dos Santos et al., 2019). Por lo anterior es importante identificar y evaluar materiales vegetales con características agronómicas y fisiológicas que favorezcan el desarrollo de nuevas variedades mejoradas o se puedan utilizar en sustitución de los materiales mejorados usados en la actualidad.

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 los 101° 41’ y 104° 61’ LO y 24° 22’ y 26° 23’ LN, a 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 (Medina et al., 2005). 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 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 primavera 2024, la siembra se realizó en tierra venida el día 21 de marzo 2024 con una sembradora mecánica de 4 hileras, a una profundidad de 5 cm, a una densidad de 8 plantas por metro lineal y fertilización base de 150 kg de fertilizante MAP por hectárea (12-52-00). Las variedades que se establecieron se indican el Cuadro 1. El riego de aniego se realizó el 17 de marzo de 2024, con una duración de 3.3 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 10 de abril de 2024, 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 10 de mayo de 2024 y el tercer riego de auxilio de 18.35 cm el 15 de junio de 2024.

Cuadro 1. Variedades de maíz y procedencia, utilizadas en la evaluación forrajera.

No.	Nombre común	Procedencia
1	Perla*	Jerez, Zacatecas
2	Aventurero[£]	Poanas, Durango
3	Amarillo JH-23[£]	Poanas, Durango
4	Pipitilla[£]	Poanas, Durango
5	Exclusivo 23[£]	Poanas, Durango
6	ASH 1045 (Híbrido comercial[€])	Comercializado en la Región lagunera

*Donado por el Sr. Oscar Sabag del Rancho El Manicomio. [£]Donado por el MC Gonzalo Hernández Ibarra. [£]Empresa La Hacienda.

Diseño experimental y de tratamientos. Se establecieron parcelas con 6 tratamientos (variedades de maíz), cada tratamiento consistió en 3 parcelas de 4 hileras de plantas con una longitud de 30 m y 80 cm entre hileras (surcos). A los 100 dds, de cada parcela (variedades) se realizó un muestreo que consistió en ubicar 1 m lineal y cortar a una altura de 2 cm del suelo, las plantas que se encontraran en esa línea. Después las plantas cortadas se pesaron en una báscula digital Torino® para registrar su peso en fresco o materia verde (MV). Para determinar el contenido de materia seca (MS), se tomaron submuestras de 150-200 g de materia verde (MV) previamente picado a 2 cm con ayuda de una guillotina manual y se deshidrato el forraje en una estufa de aire forzado (BINDER®), por 48 horas a 65°C, hasta obtener peso constante. Posteriormente, las muestras fueron pesadas en una báscula granataria OHAUS® y por diferencia de peso, se obtuvo la cantidad de MS. Las muestras deshidratadas fueron molidas en un molino Thomas Willey® utilizando un tamaño de criba de 2 mm. Luego se colocaron en bolsas de papel previamente identificadas para su análisis en el laboratorio de la institución. De las plantas obtenidas en cada muestra, se les midió la altura con la ayuda de una cinta métrica, desde la base hasta la inflorescencia masculina (espiga).

Análisis estadístico. La información obtenida se analizó considerando un modelo completamente al azar (SAS, 2014), donde hubo 6 tratamientos (material genético) y 3 repeticiones para cada uno (2 surcos de 5 m lineales por 0.80 m de ancho). La comparación de medias para los deferentes tratamientos se realizó mediante la prueba de Tukey con un $\alpha=0.05$ (Steel y Torrie, 1980).

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se muestran los resultados para el contenido de MS al momento del corte para los diferentes maíces evaluados. El intervalo encontrado fue de 23.46% para la variedad Perla y 31.37% para la variedad Pipitilla, los cuales mostraron diferencias significativas entre ellos ($P\leq0.05$); las demás variedades tuvieron un comportamiento intermedio entre estos dos valores.

Cuadro 2. Contenido de materia seca (MS) al momento del corte para los diferentes maíces evaluados.

No. Variedad	Nombre común/comercial	Contenido de MS, %	Desviación estándar
1	Perla	23.46^{c}	0.605
2	Aventurero	27.44^{abc}	0.552
3	Amarillo JH-23	29.69^{ab}	0.576
4	Pipitilla	31.37^{a}	2.880
5	Exclusivo 23	25.64^{bc}	0.627
6	ASH 1045 (Híbrido comercial)	28.56^{ab}	2.610

^{a,b,c}Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($P\leq0.05$).

Tomando en consideración que el maíz forrajero para ensilar debe de contener de un 30 a 35% de MS al momento del corte y picado, ninguno de los materiales evaluados cumple con esta condición, solamente la variedad Pipitilla (31.37%) se aproxima a este valor seguida por el Amarillo JH-23 (29.69%), Testigo (comercial, 28.56 %) y Aventurero (27.44 %). Las otras variedades; Perla (23.46 %) y Exclusivo 23 (25.64 %) no cumplen con esta condición en mayor grado. Es decir, si se pretende conservar el forraje de estos materiales mediante la elaboración de ensilados, se obtendrán pérdidas mayores por lixiviación. En un estudio realizado por Espíritu (2023) en el Rancho El Carmen con un hibrido de maíz comercial, informa de un 19.78 % de MS, valor inferior a los obtenidos en el presente estudio.

El rendimiento de MS está relacionado con el contenido de humedad de las plantas de maíz al momento del corte y el peso total de la biomasa producida. Los resultados para esta variable indican que no hubo diferencias significativas al comparar el rendimiento para las variedades evaluadas (Cuadro 3). Sin embargo, la variedad Perla fue la que tuvo el valor mas bajo con 3.20 Ton/ha y la variedad que resulto mayor fue Exclusivo 23 con 6.40 Ton/ha. Las variedades que se comportaron casi similares a lo obtenido con el maíz comercial fue Pipitilla (5.6 Ton/ha) y Exclusivo 23 (6.40 Ton/ha) con un rendimiento mayor al registrado por el testigo (híbrido comercial).

Cuadro 3. Rendimiento de materia seca (MS) para los diferentes maíces evaluados.

No. Variedad	Nombre común/comercial	Rendimiento de MS, Ton/ha	Desviación estándar
1	Perla	3.20[a]	0.515
2	Aventurero	4.94[a]	0.466
3	Amarillo JH-23	3.91[a]	1.335
4	Pipitilla	5.60[a]	0.727
5	Exclusivo 23	6.40[a]	0.201
6	ASH 1045 (Híbrido comercial)	6.18[a]	2.580

[a]Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (P≤0.05).

Aún con el rendimiento mayor (Exclusivo 23; 6.40 Ton/ha), este valor esta muy por debajo de los que se obtienen en la Comarca Lagunera, que son del orden de la 19 Ton MS/ha (De La Torre, 2014). Aún comparando los resultados del presente estudio, resultan menores a los que se han registrado en el Rancho El Carmen (promedio de 7.8 Ton MS/ha en el ciclo primavera-verano 2024) con maíces comerciales (Alvarado, 2024). En este mismo rancho, Espíritu (2023) obtuvo un rendimiento de 5.61 Ton MS/ha, valor similar a los obtenidos en el estudio presente con las variedades que tuvieron los resultados más altos (Cuadro 3).

El rendimiento de biomasa (MV) tiene gran trascendencia si el forraje producido se va a conservar mediante la elaboración de ensilados. Para el presente estudio, esta variable tuvo un intervalo de 13.15 Ton MV/ha (Amarillo JH-23) a 24.98 Ton MV/ha (Exclusivo 23), siendo valores con diferencia significativa (P≤0.05). Considerando los rendimientos mayores y que son estadísticamente similares fueron para Exclusivo 23 (24.98 Ton/ha), Comercial (21.39 Ton/ha), Aventurero (18.05 Ton/ha) y Pipitilla con 17.85 Ton MV/ha. La producción de MV obtenida en El Rancho El Carmen, en el ciclo primavera-verano, fue de 26 Ton /ha valor muy similar al obtenido con la variedad Exclusivo 23 (Alvarado, 2024).

Cuadro 4. Rendimiento de materia verde (MV) para los diferentes maíces evaluados.

No. Variedad	Nombre común/comercial	Rendimiento de MV, Ton/ha	Desviación estándar
1	Perla	13.70[b]	2.39
2	Aventurero	18.05[ab]	1.86
3	Amarillo JH-23	13.15[b]	4.25
4	Pipitilla	17.85[ab]	1.60
5	Exclusivo 23	24.98[a]	0.97
6	ASH 1045 (Híbrido comercial)	21.39[ab]	7.37

[a, b]Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (P≤0.05).

Similar al rendimiento de MS/ha, para rendimiento de biomasa (Ton MV/ha) las mejores variedades fueron Exclusivo 23, Comercial, Aventurero y Pipitilla (Cuadro 4).

No se encontraron diferencias significativas para la altura de la planta, los valores registrados estuvieron en un intervalo de 1.27 m (Perla) a 1.65 m en Exclusivo 23 (Cuadro 5). Sin embargo, las plantas con altura mayor son aquellas que tuvieron el mejor comportamiento productivo tanto para rendimiento de MS y MV (Exclusivo 23, Comercial, Pipitilla y Aventurero).

Cuadro 5. Altura de planta para los diferentes maíces avaluados.

No. Variedad	Nombre común/comercial	Altura de planta, m.	Desviación estándar
1	Perla	1.27[a]	0.200
2	Aventurero	1.40[a]	0.107
3	Amarillo JH-23	1.29[a]	0.213
4	Pipitilla	1.54[a]	0.040
5	Exclusivo 23	1.65[a]	0.053
6	ASH 1045 (Híbrido comercial)	1.64[a]	0.237

[a]Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (P≤0.05).

En estudios hecho con maíz forrajero, De La Torre (2014) informa de una altura promedio de plantas de 2.50 m y una producción de MV de 84.5 Ton/ha y MS de 19.0 Ton/ha.

Conclusiones

El comportamiento productivo de las diferentes variedades evaluadas fue afectado por las temperaturas altas registradas en el periodo de evaluación y problemas de tipo operativo en el suministro del agua de riego. Los mejores rendimientos de MS y MV fueron menores a los obtenidos en la región lagunera, pero similares a los obtenidos en el Rancho El Carmen para los años 2023 y 2024 en el ciclo primavera-verano. En comparación con el híbrido comercial, las mejores variedades del presente estudio fueron: Exclusivo 23, Pipitilla y Aventurero. Se recomienda verificar los resultados del presente estudio repitiendo el ensayo tanto en el ciclo otoño-invierno 2024 como el de primavera-verano 2025.

Referencias

Alvarado, R. N. M. (2024). Comunicación personal. Encargado del área de la producción de forrajes del Rancho El Carmen.

Conceicao-Dos Santos, L. F., Garruña, R., Andueza-Noh, R. H., Latournerie-Moreno, L., Mijangos-Cortés, J., & Pineda-Deporto, A. (2019). *Comportamiento agronómico y fisiológico de maíces nativos del sureste de México. Rev. Mex. Cienc. Agric.* Vol (10) 6:1247-1258. doi.org/10.29312/remexca.v10i6.908

De La Torre, L. G. (2014). *Rendimiento de maíz forrajero (Zea mays L.) y valor nutritivo de ensilados en el Rancho El Carmen.* Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Durango, México.

Espíritu, R. J. C. (2023). *Rendimiento y valor nutritivo de Girasol* (*Helianthus annuus*) *y Maíz (Zea mays L.) bajo condiciones similares de manejo en el Rancho El Carmen*. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Durango, México.

García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática Köppen. (Para adaptarlo a las condiciones climáticas de la república mexicana). Universidad Autónoma de México. Obtenido de https://www.igg.unam.mx/geoigg/biblioteca/archivos/memoria/20190917100949.pdf

González-Martínez, J., Rocandio-Rodríguez, M., Contreras-Toledo, A. R., Joaquín-Cancino, S., Vanoye-Eligio, V., Chacón-Hernández, J. C., & Hernández-Bautista, A. (2020). *Diversidad morfológica y agronómica de maíces nativos del altiplano de Tamaulipas, México*. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 43 (4):361-370. doi.org/10.35196/rfm.2020.4.361

Medina-Guillermo, G., Díaz-Padilla, G., López-Hernández, J. A., Ruíz-Corral, J.A y Marín-Silva, M. (2005). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango. (Periodo 1961 – 2003). Libro Técnico № 1. Campo Experimental Valle del Guadiana. Obtenido de https://docplayer.es/53782106-Estadisticas-climatologicas-basicas-del-estado-de-durango-periodo.html

SAS Institute Inc. (2014). SAS/STAT, Ver 9.3 User Guide. Cary, NC.

Steel, R., & Torrie, J. (1980). *Principles and procedures of statistics a biometrical approach*. Michigan, E.U.A.: McGraw-Hill.

DINÁMICA DE CAMBIO EN EL USO DE SUELO Y VEGETACIÓN EN LA CUENCA PRESA LÁZARO CÁRDENAS EN EL PERIODO DE 1993-2018

Ramón Trucíos-Caciano[1], Jesús Arcadio Muñoz-Villalobos[2*], Clementina Aracely-Sandy Pacheco[3], Nuria Aide López-Hernández[1], Aldo Rafael Martínez-Sifuentes[1], Juan Estrada-Ávalos[1]

[1]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. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Delicias. Km. 2 Carretera Delicias-Rosales C.P. 33000, Centro, Delicias, Chih. [3]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas,Km. 40 Carr. Gómez Palacio Chihuahua Bermejillo, Durango, México * Autor de correspondencia: munozarcadio@inifap.gob.mx

Introducción

El cambio de uso de suelo y vegetación o, de forma general, cambio de uso de suelo, es la modificación en superficie de un estrato específico, ya sea de uso (ganadería, agricultura, entre otros) o vegetación (bosque, pastizal, matorral, vegetación de galería, entre otros) a través del tiempo. Esta forma de describir un cambio es el resultado de cambios en procesos naturales que desarrollan impactos en el ambiente. De acuerdo con García (2015), es la práctica que significa la principal amenaza para el futuro a nivel global, debido a que ejerce una presión sobre la pérdida de la biodiversidad, disminución en la generación de servicios ambientales, fragmentación de hábitats silvestres, pérdida de la cubierta arbolada, modificaciones al clima, entre otros (Antonio et al., 2008). Lo anterior, puede desarrollar la degradación de la calidad de los recursos naturales en general, a través de una implementación inadecuada de sus factores más conocidos, como la agricultura, ganadería, apertura y ampliación de infraestructura para asentamientos humanos, comerciales e industriales (Juan-Pérez, 2021). Para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el uso del suelo hace referencia a la función para la cual el suelo es utilizado por la población y se puede definir como las actividades humanas que se realizan sobre el suelo, haciendo uso de sus recursos naturales (Briassoulis, 2019). El INEGI, ha desarrollado un conjunto de datos sobre el uso del suelo y cuenta con siete series temporales, las cuales muestran los usos de suelo y vegetación para en un periodo de 1980 a 2021, realizando la clasificación mediante un proceso de fotointerpretación de imágenes satelitales, además la interpretación fue corroborada con datos de campo. Con el fin de brindar a los usuarios continuidad en la situación de los recursos existentes, con este estudio se pretende dar información a investigadores en áreas de protección ambiental y reforestación. El objetivo de este estudio es conocer la dinámica de cambio en la vegetación y uso de suelo en la Cuenca Presa Lázaro Cárdenas, que es la parte alta de la Región Hidrológica 36, en el periodo comprendido entre las series temporales de Uso de Suelo y Vegetación existentes, empleando sistemas de información geográfica para el análisis, generando así respuestas al cambio provocado en actividades del sector agropecuario.

Materiales y métodos

El área de estudio fue la Parte Alta de la RH36, o Cuenca Presa Lázaro Cárdenas (CPLC) conformada por las subcuencas Río Ramos-Potrillos, Río del Oro, Tepehuanes, Rio de Santiago y Matalotes-Río Sextín. Estas 5 subcuencas se encuentran por completo en el estado de Durango y suman una superficie de 1.94 millones de ha. La topografía es accidentada y comprende altitudes desde 1400 hasta 3100 msnm. La información de Uso de suelo y Vegetación (USV), corresponde a la información desarrollada por el INEGI con las siete series de USV.

Se realizó un análisis cuantitativo de cambio de uso (CUS) de suelo de las series de vegetación, que como información general la Serie I (SI) tuvo 1985 como, SII (1993), SIII (2002), SIV (2007), SV (2011), SVI (2014) y SVII (2018). Para este estudio, se homogeneizaron los tipos de series de vegetación para realizar este estudio comparativo, los tipos de vegetación se agruparon a nivel estrato quedando de la siguiente forma: Agricultura de riego (AR), agricultura de temporal (AT), asentamientos humanos (AH), bosque templado (B), chaparral (CH), cuerpos de agua (CA), desprovistos de vegetación (DV), vegetación de galería (GA), matorral (MA), mezquital (ME) y pastizal (PZ).

El Cuadro 1, muestra la superficie por estrato de USV para las siete Series. Si tomamos en cuenta la SVII, la más actual, el USV con mayor superficie es el Bosque Templado con el 57.9%, seguido del Pastizal con 31.6% y en tercer lugar la agricultura (riego y temporal) con 8.5%. Lo cual, significa que estos tres USV comprenden el 98% de las actividades y tipos de vegetación en la parte alta de la CPLC.

Cuadro 1. Superficie en hectáreas por estrato de uso de suelo para las siete Series de USV de INEGI.

Series y años de referencia	1985 S1	1993 S2	2002 S3	2007 S4	2011 S5	2014 S6	2018 S7
USV	Hectáreas (ha)						
AR	7571	10332	10051	10178	10241	10241	9621
AT	141163	139945	146939	157226	158002	159636	155902
AH	0	951	952	1236	1305	1495	2911
B	1193043	1089272	1126862	1121700	1121548	1117878	1125527
CH	149711	3381	2711	2741	2741	2741	2512
CA	10946	8974	8974	8974	8974	9046	10518
DV	1550	1592	1551	1551	1561	21	65
GA	3407	3240	0	0	0	0	0
MA	22809	22142	21874	21388	21232	21232	20798
ME	1283	1144	1144	1155	1168	1168	1249
PZ	412672	663182	623097	618006	617383	620697	615052

Para realizar un análisis de CUS para las seis series de tiempo (II-VII), se aplicó la metodología propuesta por la FAO (Albornoz et al., 2021). Tomando en cuenta que en su mayoría provienen de interpretación visual de imagen satelital, con excepción de la SI, que proviene de interpretación de fotografía aérea, fue excluida del análisis comparativo. Para el análisis, se utilizó el programa de licencia libre QGis 3.38 y se empleó una estadística básica incluida en el proceso de análisis de CUS.

Resultados y discusión

Un primer resultado del análisis de CUS se muestra en el Cuadro 2. Esta información es un análisis de cambio en la superficie, expresado en hectáreas, que muestra el incremento/disminución de las superficies por tipo de uso de suelos considerando pares de series de vegetación. El cuadro 2 muestra cambios sustanciales en las primeras Series, probablemente debido a la diferencia en la fuente de información de referencia e incluso, debido también al cambio en los criterios de interpretación.

Estos cambios comprenden la disminución de superficie de Bosque templado y chaparral en casi 250,000 ha en conjunto, y que se vieron reflejadas en un incremento superficie de pastizales. Este cambio es importante resaltarlo como una clara práctica hacia el incremento de área de pastizales por parte del sector pecuario de ganadería extensiva. Posterior a la conferencia de Río se incrementaron las políticas de protección ante este tipo de incrementos por parte de esta actividad pecuaria (Perez, 2008).

Cuadro 2. Comparación de superficies (expresadas en hectáreas) de estratos de USV por pares de Series de USV en relación a la superficie.

Series y años de comparación	S1-S2 85-93	S2-S3 93-02	S3-S4 02-07	S4-S5 07-11	S5-S6 11-14	S6-S7 14-18
USV	8	9	5	4	3	4
AR	2762	-281	127	64	< 1	620
AT	-1218	6994	10287	776	-1633	3734
AH	952	< 1	284	69	-190	-1416
B	-103771	37590	-5162	-152	3670	-7650
CH	-146330	-670	30	< 1	< 1	230
CA	-1973	< 1	0	< 1	-72	-1472
DV	42	-40	< 1	9	1540	-44
GA	-167	-3240	0	0	0	0
MA	-667	-268	-486	-156	< -1	434
ME	-139	< 1	11	13	< -1	-81
PZ	250510	-40085	-5091	-623	-3314	5645

A continuación, se muestra la matriz de transición de CUS, para verificar la dinámica de cambios entre los estratos de las Serie II (1993) y la Serie VII (2018).

Cuadro 3. Matriz de transición de CUS de 1993 – 2018 para los estratos de la Cuenca Presa Lázaro Cárdenas.

	USV 2018										
USV 1993	AR	AT	AH	B	CH	CA	DV	GA	MA	ME	PZ
AR	8830	650	274	< 1		331			37	101	109
AT	253	130332	793	2256		317			120	< 1	5873
AH	< 1	< 1	950	< 1							1
B	67	9616	206	1042536		2	65		< 1		36780
CH		13		772	2506	< 1			< 1		90
CA		< 1		2	1	8958			1		11
DV	< 1	1589							< 1		2
GA	27	3181		1							31
MA	73	853	69	< 1		200			20623	106	218
ME		63							< 1	1038	43
PZ	370	9604	618	79960	5	711	< 1		16	3	571895

La información en negritas (que describe una diagonal inversa), corresponde al área que no cambio entre las dos Series. Para esta comparación, la superficie que se mantuvo en la Serie VII (2018) en comparación con la Serie II (1993) fue el 92% de la superficie, por lo cual, e 8% de la superficie tuvo cambio de estrato, ya sea en uso de suelo o vegetación. Destaca la dinámica que ha tenido la agricultura, específicamente la de temporal que ha interactuado con todos los estratos a través de los 25 años de análisis. Esta matriz de transición, nos permite responder, por ejemplo, lo observado en el cuadro 1, en donde la Agricultura de Temporal (AT) cambia de 139945 ha, en 1993, a 155902, en 2018. Lo anterior, se complementa con un análisis visual que se presenta en la Figura 1, en donde se puede observar las áreas que han sufrido cambios, y la magnitud de estos. Esta figura muestra como los cambios han ocurrido en su mayoría en las subcuencas Río de Oro y Río de Ramos-Potrillos; ambas subcuencas cercanas a la Presa Lázaro Cárdenas.

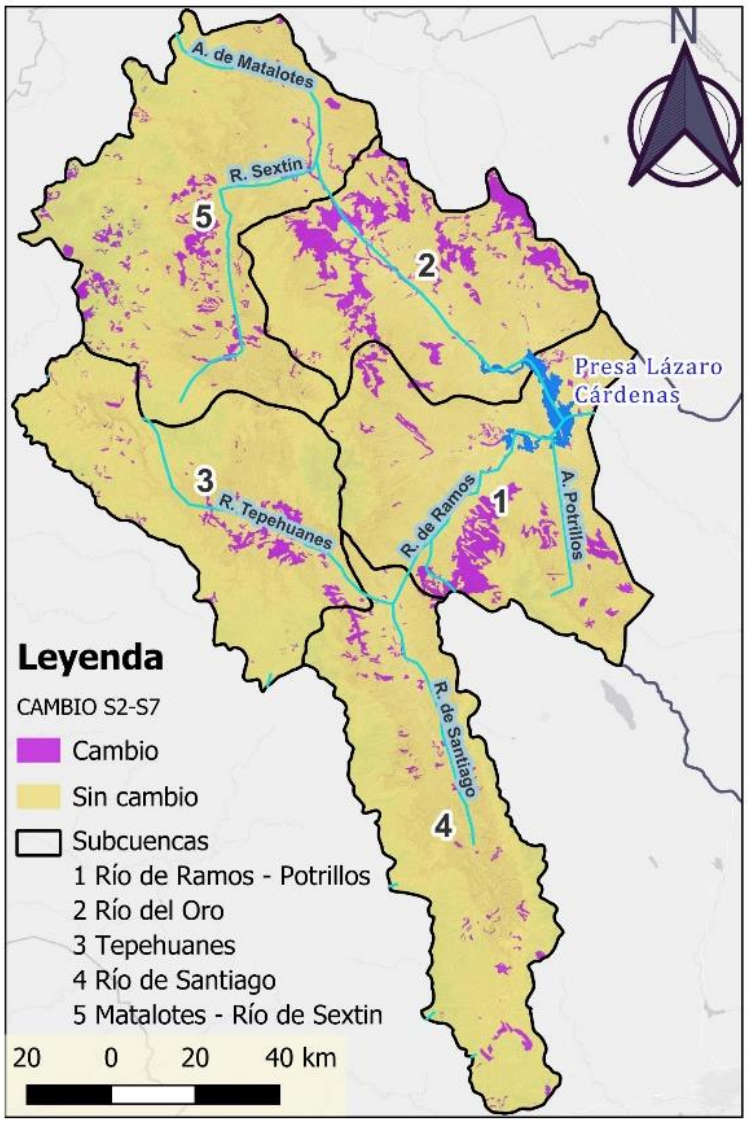


Figura 1. Superficie con cambio/sin cambio de la Cuenca Alta de la RH36 o Cuenca Presa Lázaro Cárdenas.

Conclusiones

Este estudio nos muestra dos elementos para mostrar el cambio en el uso de suelo y vegetación. El primero, se refiere a un cambio absoluto, sin importar el origen de dicho cambio, se contabiliza la superficie para cada serie y se reporta, aquí se obtiene el incremento y/o disminución de superficies de vegetación y uso de suelo. El segundo elemento, se refiere a la matriz de transición, en donde se puede observar el uso o vegetación del cual proviene el cambio. Al combinarse estos dos elementos permiten conocer no solo la magnitud del cambio, sino la fecha o periodo, y también la relación de este cambio con la forma en la cual impactará los recursos naturales, mismas que pueden ser positivas (reforestación, revegetación, etc.) o negativas (deforestación, pérdida de suelo, etc.) Lo anterior, destaca la importancia de continuar con el desarrollo de las series de uso de suelo y vegetación del INEGI, que se consideran como herramientas de alto grado de consulta e impacto para manejadores y administradores tanto de recursos naturales como de actividades que implementen uso de los mismos o que administren actividades antropogénicas.

Referencias

Albornoz, A., Alegría D., Cortés, F. y Moya, J. (2021). Protocolo metodológico para la elaboración de cartografías de usos y cambios de usos de la tierra. FAO y MINAGRI. https://doi.org/10.4060/cb0845e

Antonio N., Treviño, E., & Jurado, E. (2008). Fragmentación forestal en la subcuenca del río Pilón: diagnóstico y prioridades. Madera y Bosques, 14(3), 5-23.

Briassoulis, H. (2019). Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. USA. Regional Research Institute, West Virginia University. Editado por Scott Loveridge and Randall Jackson. Consultado el 15 de marzo de 2020 en: https://researchrepository.wvu.edu/rri-web-book/3

García, G. (2015). Cambio de uso del suelo y grado de cobertura arbolada en el Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México: 1989–2012. Tesis de Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática. Toluca, México: Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.

Juan-Perez, J. I. (2021). Estudio de los procesos de cambio de uso del suelo en México Fundamentos teóricos y metodológicos. 1a. edición. CONACYT. pp. 153

Perez Espejo, Rosario. (2008). El lado oscuro de la ganadería. Problemas del Desarrollo Revista Latinoamricana de Economía. Vol. 39, Num. 154, julio – septiembre.

VARIABILIDAD EN LA INFORMACIÓN REGISTRADA POR SENSORES REMOTOS DE DIFERENTE ESCALA EN ESTIMACIÓN DE VARIABLES AGRONÓMICAS

Ramón Trucíos-Caciano[1], Nuria Aide López-Hernández[1*], Cristo Omar Puente-Valenzuela[1], Iván Franco-Gaytán[2], Marco Antonio Inzunza-Ibarra[1]

[1]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. [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 de correspondencia: lopez.nuria@inifap.gob.mx

Introducción

El uso imágenes de sensores remotos, en el monitoreo de actividades agrícolas es cada vez mayor. Tomando en cuenta su facilidad de obtención (gratuitas en el caso de Sentinel, Landsat, entre otros), la amplia gama de análisis y estimaciones que se puede desarrollar con ellas, y el rápido procesamiento de las mismas en ordenadores personales. Además, también se ha extendido el uso de drones o RPAS (*Remotely Piloted Aircraft*) para el desarrollo de ortofotos con un incremento en precisión en las imágenes con pixeles menores a 20 cm, en comparación con las de satélite. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que una mayor precisión, está relacionada con mayor captación de variabilidad. Lo anterior, pone a prueba el muestreo que desarrollamos en campo para toma de datos y su relación (representatividad) con la escala del sensor que utilicemos para explicar el tópico bajo estudio, tales como: evapotranspiración, incremento en biomasa, fenología, rendimiento, entre otros. El objetivo de este estudio fue determinar la variabilidad en el registro de información en función del tamaño de pixel y su importancia en el muestreo de variables agronómicas, considerando como objeto de estudio cultivo de maíz forrajero de ciclo primavera.

Materiales y métodos

El sitio de estudio de este trabajo, está ubicado en el área experimental del CENID-RASPA, en el Municipio de Gómez Palacio, Durango (coordenadas UTM ITRF2008: 655752 E, 2830950 N, 1150 msnm). La información de campo, corresponde al registro del cultivo de maíz forrajero, ciclo primavera 2024. Las fechas de registro de variables de campo, se seleccionaron tomando en cuenta el re-muestreo de la imagen Sentinel (2a y 2b), mismo que tiene fecha de re-muestreo cada 5 días y con resolución de 10 m/pixel (ESA, 2024). La información registrada en campo, en parcelas de 1 metro cuadrado, para las cuatro fechas del vuelo de RPAS fueron: individuos por metro, individuos por metro cuadrado, número de hojas, diámetro de la base del tallo, altura de planta, clorofila en hoja bandera (SPAD), NDVI a 50 cm de altura del cultivo (GreenSeeker), peso verde, peso seco y biomasa (materia seca). Los días en que se registraron los datos en campo, se realizó el vuelo y registro de ortomosaicos con imágenes multiespectrales utilizando un RPAS (bandas: verde, borde rojo, infrarrojo cercano) con una resolución de 18 cm/pixel. Además, se utilizaron imágenes Planet con 8 bandas (cyan, azul, verde-L, verde, amarillo, rojo, borde rojo, infrarrojo cercano) con resolución de 3.7 m/pixel y re-muestreo diario. Las imágenes y ortofotos empleadas en este estudio se enlistan a continuación en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Fechas de re-muestreo de las imágenes y ortofotos empleados en este estudio.

Sentinel 2		**Vuelo de dron**		**Planet**
11 de abril	21 de mayo	11 de abril	21 de mayo	*Abril*: 2, 3, 4, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 18, 19, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30 *Mayo*: 1, 7, 9, 10, 14, 15, 17, 18, 21, 22, 25, 27, 29, 30 *Junio*: 1, 2, 3, 8, 12, 13, 16, 19, 22, 23, 25.
16 de abril	26 de mayo	16 de abril	27 de mayo *	
21 de abril	31 de mayo	22 de abril *	31 de mayo	
26 de abril	5 de junio	29 de abril *	5 de junio	
1 de mayo	10 de junio	2 de mayo *	10 de junio	
6 de mayo	15 de junio	6 de mayo	14 de junio *	
11 de mayo	20 de junio	10 de mayo *	21 de junio *	
16 de mayo	25 de junio	15 de mayo *	25 de junio	

Los vuelos de RPAS, en ocasiones (fechas con asterisco -*- al final) no se realizaron en la misma fecha del registro de la imagen de Sentinel 2, lo cual, obedece a que la fecha de la imagen de Sentinel fue registrada en sábado o domingo, o debido a que las condiciones de viento o presencia de lluvia, no fueron las adecuadas para el vuelo del dron, en esos casos se registró la información en campo y el vuelo de RPAS un día antes o un día después del registro de la imagen Sentinel.

El programa empleado para la extracción de los datos y el cálculo de índices de vegetación, de las imágenes obtenidas por drones fue el emotion 3.5 ® y el QGIS 3.36 para las imágenes satelitales, tanto de Sentinel como de Planet Scope.

Los índices calculados fueron: NDRE (Diferencia Normalizada de Borde Rojo), NDVI (Diferencia Normalizada), SAVI (Ajustado a Suelo), SR (Radio Simple), SER (Radio Simple Borde Rojo), WDRBI (Amplio Rango Dinámico); sin embargo, en este trabajo (por su extensión) solo se mostrará la relación observada entre el NDVI y su relación con la escala de los sensores remotos estudiados (IDB, 2024).

Resultados y discusión

Los resultados de este estudio son preliminares debido a que no se ha terminado el ciclo del cual se registra la información, maíz forrajero primavera 2024. Como entrenamiento preliminar de las imágenes satelitales y ortofotos se han realizado comparaciones entre las mediciones de biomasa (variable respuesta) con los datos de los sensores remotos (variable explicativa) para las fechas de muestreo. En la figura 1, se muestra un comparativo de la información registrada por los sensores en el área de estudio.

El área que se muestra en la figura 1, forma parte del experimento en campo del proyecto fiscal 00000000. En este experimento, se planeó la toma datos completos en parcelas del tamaño del pixel de Sentinel 2. El cuadro 2, que se muestra a continuación, contiene información estadística de la superficie de 4 pixeles de Sentinel. La información contenida en este cuadro, establece un comparativo para los tres sensores considerados en este estudio.

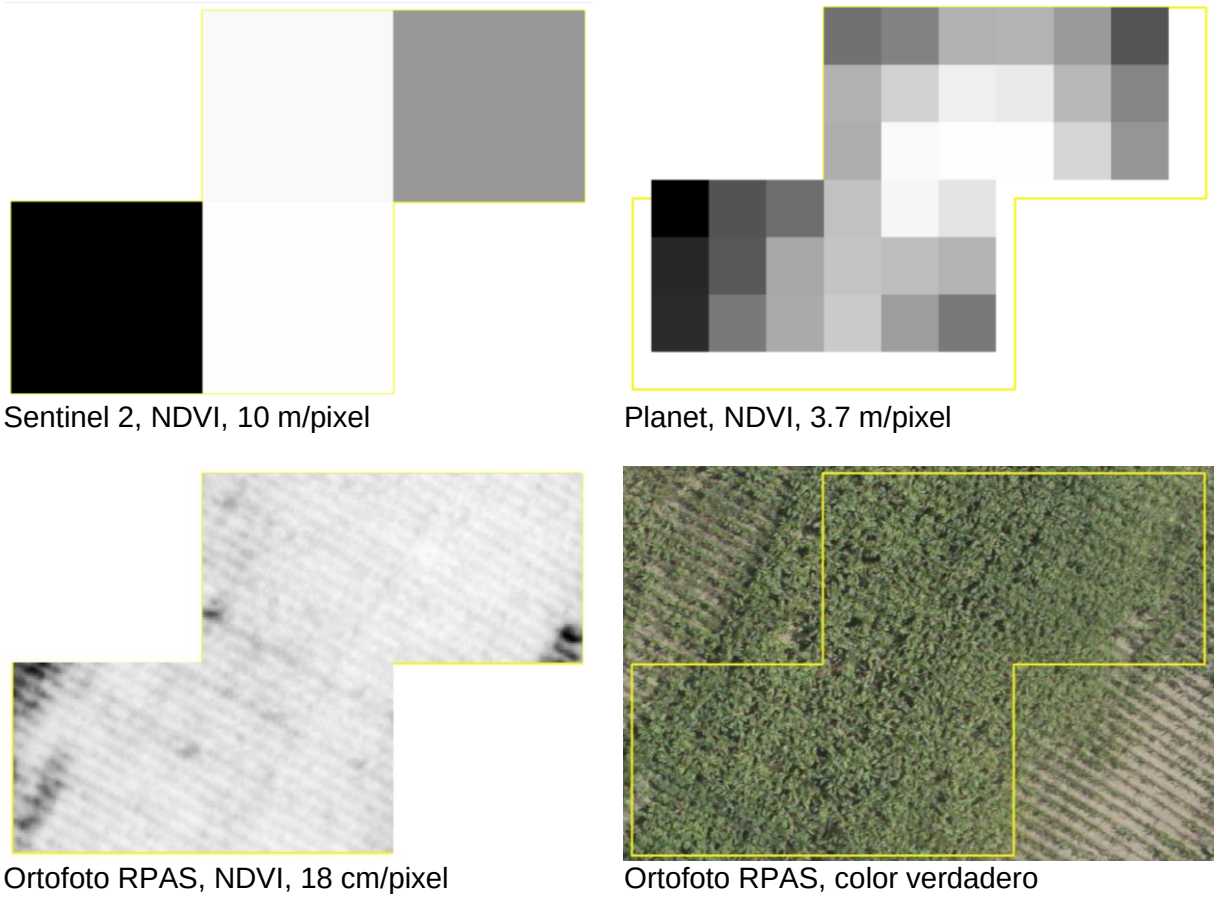


Figura 1. Recorte de Ortofoto e imágenes satelitales del sitio de estudio para las fechas 3 y 5/jun/2024.

Cuadro 2. Estadísticas básicas por sensor para tres fechas del ciclo de cultivo Primavera 2024. Valores de NDVI.

	Pixeles	Media	Max	Min	Fecha	Etapa fenológica
Sentinel	4	0.0996	0.1045	0.0929	11.04.24	V1, V2
Planet	36	0.1615	0.1740	0.1463	11.04.24	
RPAS	23793	0.0841	0.1934	0.1092	11.04.24	
Sentinel	4	0.2986	0.3132	0.2723	11.05.24	V6, V7
Planet	36	0.3828	0.4212	0.3248	11.05.24	
RPAS	22275	0.4498	0.7174	0.1913	10.05.24	
Sentinel	4	0.5015	0.5484	0.4622	05.06.24	V8, V9
Planet	36	0.6251	0.6765	0.5345	05.06.24	
RPAS	31152	0.8033	0.8635	0.3741	03.06.24	

La relación directa entre el tamaño y el número de pixeles, es una de las diferencias básicas entre los tres sensores utilizados en el estudio. Mientras que Sentinel, para el área establecida, registra la información en cuatro pixeles, para el caso del RPAS se tiene un rango de 22275 a 31152 pixeles para la misma superficie. Lo anterior, debe ser considerado también en espacio de almacenamiento. El promedio del NDVI (columna “Media”), muestra un incremento gradual con respecto al incremento de tamaño del cultivo, para los tres sensores (Pastonchi et al., 2020). Esto se observa también en los valores máximos y mínimos. Sin embargo, para información de la misma fecha, el rango entre estos dos valores, es mayor en las imágenes del RPAS en comparación con Sentinel y Planet. Esta relación se considera que obedece no solo a la diferencia en resolución espacial (tamaño de pixel), sino también con la diferencia en la resolución radiométrica (rango de bandas espectrales), con las cuales fueron diseñados los sensores, en las misiones a las que pertenecen (Bollas et al., 2021).

En la siguiente etapa del experimento se realizará el análisis de incremento de biomasa registrado en campo y su relación con la información registrada por cada sensor. Lo anterior, para establecer una comparación en la estimación y, sobre todo, en la precisión de la misma. Los resultados preliminares muestran que, en caso de desarrollar modelos que consideren el uso sensores remotos, como los estudiados, no es recomendable emplear modelos desarrollados con datos de RPAS con datos de Sentinel, debido a que se tendría una alta influencia de sesgo y subestimaría la variable en estudio (biomasa, rendimiento, evapotranspiración, fenología, etc.). En caso contrario, se sobreestimaría si se utilizan modelos desarrollados con datos Sentinel en estimaciones con RPAS.

Conclusiones

Las diferentes escalas de trabajo en campo, cuando se entrenan imágenes satelitales u ortofotos obtenidas por drones deben estar planificadas en función a la escala del sensor remoto, es decir, ser representativas a la información obtenida por el sensor. Es necesario tomar en cuenta la escala del sensor remoto utilizado en el desarrollo de modelos para estimación de parámetros como biomasa, no se recomienda su uso en condiciones diferentes a las cuales fue desarrollado.

Agradecimientos y fuente financiera

Este trabajo es parte de la investigación que se desarrolla para el proyecto 12494136181 “Determinación de la lámina de riego óptima en tiempo casi real como estrategia de adaptación/mitigación del cambio climático”. Fuente financier: Proyectos Fiscales INIFAP.

Referencias

Bollas, N., Kokinou, E., & Polychronos, V. (2021). Comparison of sentinel-2 and UAV multispectral data for use in precision agriculture: An application from northern Greece. Drones, 5(2), 35. https://doi.org/10.3390/drones5020035

European Spatial Agency (ESA). (2024). Sentinel-2 MSI User Guide. European Union. (https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi, Consultado: 1 de junio del 2024).

Index DataBase (IDB). 2024. A database for remote sensing indices. The IDB Project. (https://www.indexdatabase.de/ Sitio visitado el 12 de mayo del 2024)

Pastonchi, L., Filippo Di G., S., Piero T. & A. Matese. (2020). Comparison between satellite and ground data with UAV-based information to analyse vineyard spatio-temporal variability in International Viticulture and Enology Society. OENO One 2020, 54, 4, 919-934.

Nikolaos B., Eleni K. & Vassilios P. (2021). Comparison of Sentinel-2 and UAV Multispectral Data for Use in Precision Agriculture: An Application from Northern Greece. Drones. *5*(2), 35; https://doi.org/10.3390/drones5020035

ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA EN MAÍZ FORRAJERO Y SU RELACIÓN CON EL NDVI REGISTRADO POR SENSORES REMOTOS

Ramón Trucíos-Caciano[1], Mariana de Jesús Marcial-Pablo[1*], Sergio Iván Jiménez-Jiménez[1], Miguel Servín-Palestina[2], José Alberto Urrieta-Velázquez[1]

[1]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. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Km 24.5 Carr. Zacatecas-Fresnillo, Calera, Zacatecas, México. *Autor de correspondencia: marcial.marianadejesus@inifap.gob.mx

Introducción

El rendimiento de un cultivo es una de las variables, aparte de la calidad del mismo, que son una de las metas principales para estimarse, en el contexto agronómico. Por otra parte, la amplia gama de imágenes satelitales que se tienen disponibles, para el análisis del rendimiento, han incrementado en precisión y calidad radiométrica. En conjunto, el desarrollo de modelos basados en mediciones de biomasa aérea en campo, relacionada con su cobertura espacial de las imágenes de satélite, visualiza el desarrollo de herramientas que pueden permitir la implementación de plataformas digitales apara inferir/analizar el rendimiento, y que esto permita tomar decisiones con datos a productores y administradores de dicha actividad. El presente estudio presenta elementos que se deben considerar en el desarrollo de estas herramientas que en la mayoría de las estimaciones no se toma en cuenta. Para lo anterior, se hacen preguntas científicas tales como: ¿es válido considerar que los índices de un dron son iguales a los índices de vegetación calculados con datos de imágenes satelitales? ¿los índices de vegetación capturan de forma directa la información de la biomasa aérea?

Considerando lo anterior, en este estudio se compiló información de campo desde 2018 hasta 2024 sobre el cultivo de maíz forrajero en épocas de primavera y verano y se colectó información tanto de imágenes satelitales Sentinel 2 (ESA, 2024) como imágenes de dron para verificar tanto la relación entre estos dos sensores como la relación del índice de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) con los registros de biomasa aérea. El objetivo de este estudio es mostrar la relación de registro de NDVI, entre Sentinel 2 y el dron, y la relación del NDVI con la información de biomasa aérea en cultivo de maíz forrajero en la Comarca Lagunera.

Materiales y métodos

El área de estudio se ubicó en el municipio de Francisco I. Madero con un productor cooperante en el ejido Porvenir, con coordenadas 25°46’49.38’’ Latitud Norte, 103° 18’ 44.54’’ Longitud Oeste y 1110 metros sobre el nivel medio del mar. La información de campo que se analizó, es una colección de datos recolectados de 2018 a 2024 en ciclo de primavera, para maíz forrajero. Con respecto a los datos de sensoria remota, estos fueron imágenes Sentinel y de dron multiespectral. Del área muestreada, y del periodo de estudio, se descargaron las imágenes satelitales del sensor Sentinel 2a y 2b, con resolución de 10 X 10 m. Además, se realizaron vuelos con dron marca eBee modelo Classic (RPAS multiespectral –bandas: verde, borde rojo, infrarrojo cercano) con una resolución de 18 cm/pixel. La información colectada en campo, en parcelas de 1 metro cuadrado, para el periodo de estudio consideró los siguientes datos: individuos por metro, individuos por metro cuadrado, número de hojas, diámetro de la base del tallo, altura de planta, clorofila en hoja bandera (SPAD), NDVI a 50 cm de altura del cultivo (GreenSeeker), peso verde, peso seco y biomasa aérea (materia seca).

Comparación de NDVI de Sentinel 2 y Dron. Para la compatibilidad del Índice NDVI, con datos del 2018, se hizo un análisis comparativo entre los registros de Sentinel y del dron. Para esta comparación, los vuelos se realizaron el mismo día que se registró la imagen de Sentinel. Lo anterior, permitió conocer la relación entre los registros de ambos sensores y que tan práctico es usar los modelos basados en datos de dron para emplearse con datos de Sentinel.

Relación Biomasa aérea y NDVI. Con respecto a la estimación de biomasa aérea con sensores remotos, se realizó un análisis comparativo en donde primero se relacionaron los datos de campo de biomasa aérea (materia seca) con la etapa fenológica y posteriormente se relacionó la etapa fenológica con los sensores remotos. Este análisis se realizó con registros de campo de primavera y verano, de 2018 a 2024.

El programa utilizado para la extracción de los datos y el cálculo de índices de vegetación, de las imágenes obtenidas por drones fue el emotion 3.5 ® (AgEagle, 2024) y el QGIS 3.38 (Qgis Project, 2024) para las imágenes satelitales.

Los índices calculados fueron: NDRE (Diferencia Normalizada de Borde Rojo), NDVI (Diferencia Normalizada), SAVI (Ajustado a Suelo), SR (Radio Simple), SER (Radio Simple Borde Rojo), WDRBI (Amplio Rango Dinámico); sin embargo, en este trabajo (por su extensión) solo se mostrará la relación observada entre el NDVI y su relación con la escala de los sensores remotos estudiados (The IDB Project, 2024).

Resultados y discusión

Comparación de NDVI de Sentinel 2 y Dron. Con registros del 2018, de NDVI calculado para 14 fechas de imágenes de Dron e imágenes de Sentinel 2 (23/marzo – 26-jun), se realizó la comparación de registros de estos dos sensores. En la Figura 1, se muestran en la parte superior los datos registrados con Sentinel para cinco secciones de riego del productor cooperante. En la misma figura, en la parte inferior, se muestra la información registrada por el dron para las mismas secciones.

Visualmente, se puede identificar un desfase de los registros del dron, con respecto a Sentinel 2, mientras que los registros de Sentinel 2 para el inicio del cultivo fue desde 0.108, para las imágenes del Dron inician en 0.335. En este mismo sentido, el registro más alto de Sentinel 2 fue de 0.685, mientras que para el dron fue de 0.851, ambos en el mes de mayo. La forma que describen ambos sensores es similar, incluso se puede observar que ambos sensores registran la pérdida de vigor que se presenta desde inicios de junio incluso la cosecha, a finales de junio.

Estadísticamente, se hicieron correlaciones pareadas en donde se obtuvieron coeficiente de Pearson (r_{xy}) de 0.95 – 0.97. Del mismo modo, se hizo una correlación con toda la información, como matriz, y se obtuvo un coeficiente de Pearson de 0.95. Lo anterior nos indica que, con los registros analizados, existe 95% de relación entre los datos obtenidos por el sensor del Sentinel 2 y el Sensor del Dron (Jae-Hyun et al., 2020; Li et al., 2022).

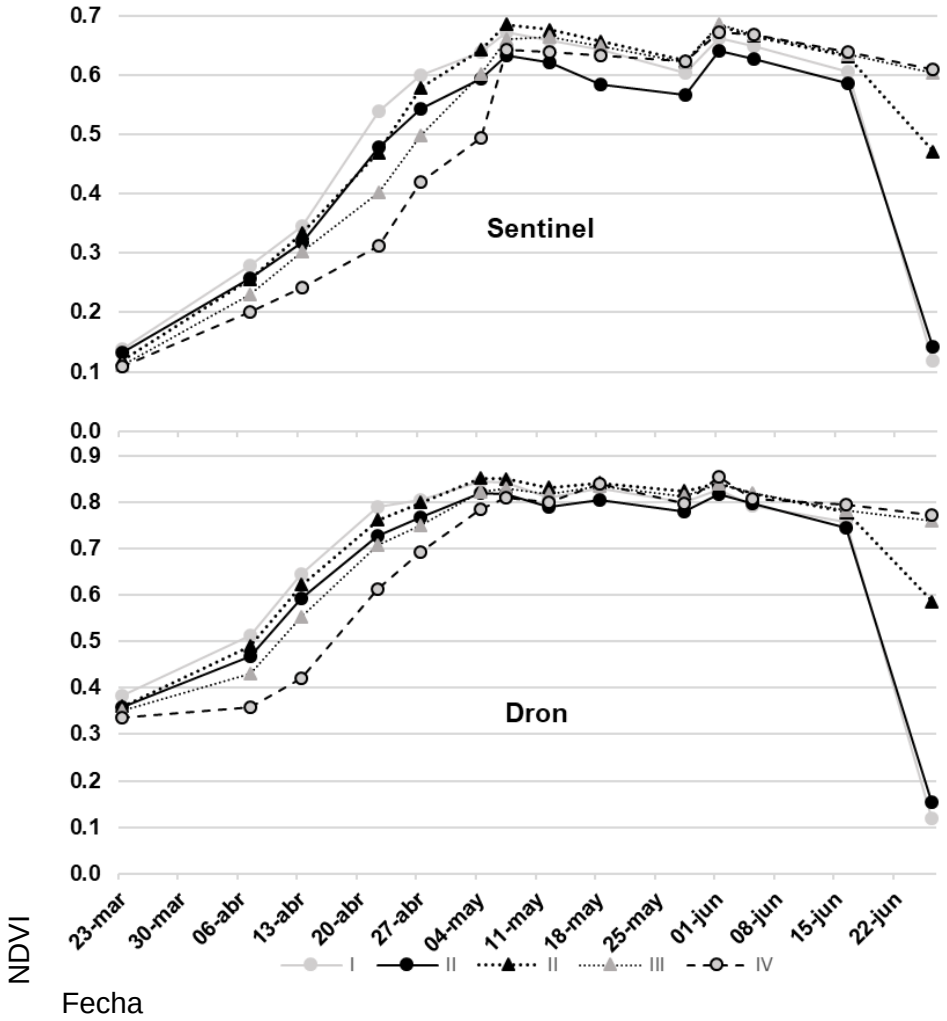


Figura 1. NDVI registrado por Sentinel y Dron en Maíz forrajero de primavera en 2018.

Relación Biomasa aérea y NDVI. En este análisis se muestran resultados preliminares de la forma en que se abordará la estimación de biomasa aérea con imágenes de dron. En primer lugar, se hace énfasis en que la biomasa aérea, es una variable compleja para observarse por los sensores remotos, ya que estas imágenes como el NDVI, se pueden entrenar para estimar el vigor de la planta, pero la biomasa aérea no es observa de forma directa en un sensor. Para poder entender mejor esta diferencia, se muestra en la Figura 2, parte izquierda, la acumulación de biomasa aérea por etapa fenológica para dos épocas, primavera y verano. Estos datos son obtenidos de muestreos de campo y procesados en laboratorio, por lo cual son controlados. En estos datos se muestra una tendencia de incremento de biomasa aérea con el incremento en tamaño de la planta (etapas fenológicas).

Se muestran las ecuaciones que describen ese crecimiento, en donde el coeficiente de determinación (R^2) > 0.73, nos confirma esa relación positiva y fuerte.

En la figura 2, parte derecha, se muestra la relación entre el registro de imágenes NDVI del dron y las etapas fenológicas. La relación (R^2 > 0.73) que mostró el incremento de biomasa aérea con incremento de tamaño de planta, visto previamente, ya no se observa con las imágenes del dron (R^2 < 0.31) (Katari et al, 2022).

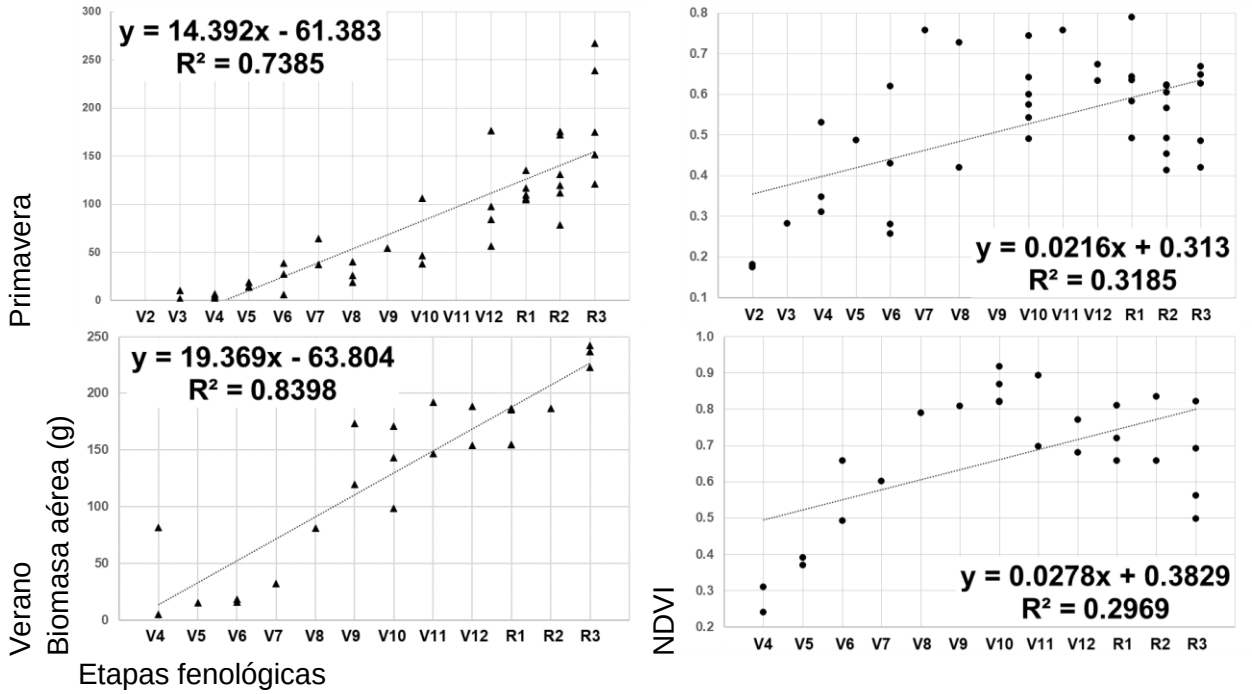


Figura 2. Biomasa aérea acumulada y comportamiento de NDVI, en relación con las etapas fenológicas del maíz forrajero. Datos de 2018 – 2024.

En su lugar, se observa un incremento constante hasta V7 y V10, primavera y verano, respectivamente. Esto obedece a la saturación (Aklilu et al., 2021) que muestra este índice de vegetación (NDVI), debido a que la imagen es en dos dimensiones y mide el vigor que, al alcanzar su máxima cobertura vegetal, este índice deja de registrar la diferencia con etapas posteriores de desarrollo.

Conclusiones

Este estudio permitió establecer una relación fuerte y positiva entre los registros del NDVI por parte de imágenes de Sentinel 2, en comparación con el dron empleado. Esto nos indica que los registros del dron, en NDVI, son 95% compatibles con los datos que se registren con Sentinel.
Por otro lado, se sentaron las bases para realizar un análisis de estimación de biomasa aérea (materia seca) que relacione los registros de biomasa aérea de maíz forrajero, con los valores de NDVI. Se observó que eso no existe una relación directa, pero se puede considerar la variable de etapa fenológica para mejorar la relación entre estas dos variables.

Referencias

AgEagle Aerial Systems Inc. (13 de junio del 2024). Emotion software. Drones, sensores y software para la inteligencia aérea automatizada. https://ageagle.com/es/.

Aklilu Tesfaye, A., Gessesse Awoke, B. (2021). Evaluation of the saturation property of vegetation indices derived from sentinel-2 in mixed crop-forest ecosystem. Revista Spatial Information Research. 29, 109–121. https://doi.org/10.1007/s41324-020-00339-5

European Spatial Agency (ESA) (1 de septiembre del 2024). Sentinel-2 L2A About Sentinel-2 L2A Data. https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/data/sentinel-2-l2a/

Jae-Hyun, R., Sang-Il, N. Jaeil, C. (2020). Inter-Comparison of Normalized Difference Vegetation Index Measured from Different Footprint Sizes in Cropland. Revista Remote Sensing. 12 (18), 2980. https://doi.org/10.3390/rs12182980

Li, Minhui; Shamshiri, Redmond R.; Weltzien, Cornelia; Schirrmann, Michael. (2022). Crop Monitoring Using Sentinel-2 and UAV Multispectral Imagery: A Comparison Case Study in Northeastern Germany. Revista Remote Sensing. 14 (17), 4426. https://doi.org/10.14279/depositonce-16786

Qgis Project (4 de junio del 2024). Sistema de información geográfica QGIS. Proyecto de la Fundación Geoespacial de código abierto. http://qgis.org.

S. Katari, T. K. Bhowmik, S. S. Nair, A. S, A. R. Nayak and P. Pankajakshan. (2022). Crop Phenology Stage Forecasting and Detection Using NDVI Time-Series and LSTM. *En*: IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Kuala Lumpur, Malaysia, 2022, pp. 6264-6267. https://doi.org/10.1109/IGARSS46834.2022.9883407

The IDB Project. (5 de septiembre del 2024). Index DataBase (IDB). A database for remote sensing indices. https://www.indexdatabase.de/.

BIOFORTIFICACIÓN CON NANOPOTASIO EN VID

Mónica Mayte Pérez-Naranjo[1*], Pablo Preciado-Rangel[1], Esteban Favela Chávez[2], Reyna Roxana Guillén-Enríquez[1], Selenne Yuridia Marquez-Guerrero[1]

[1]Tecnológico Nacional de México Campus-Instituto Tecnológico de Torreon Carretera Torreon-San Pedro km 7.5, ejido Ana, Torreon, Coahuila, México. CP. 27170. [2]Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro-Periférico Raúl López Sánchez, Valle Verde, Torreón, Coahuila, México. CP. 27054. * Autor de correspondencia: monica-pn@hotmail.com

Introducción

El potasio es uno de los macroelementos más utilizados en la agricultura, su deficiencia puede afectar procesos fisiológicos en el desarrollo de los cultivos como limitar el rendimiento (Márquez et al., 2022), sirve como activador de más de 60 reacciones enzimáticas, promueve la síntesis de ATP y mantiene la salud general de las plantas siendo su principal función la osmorregulación controlando la apertura y cierre de estomas (Nido et al., 2019). La deficiencia de potasio afecta la producción y la calidad de la uva, ya que este elemento reduce la acidez y aumenta los sólidos solubles la uva, lo que contribuye a un sabor más equilibrado y una mayor dulzura en el vino. La fertilización foliar con potasio es una manera practica de mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos; la utilización de nanofertilizantes es cada vez más utilizada agricultura convencional que los fertilizantes tradicionales, debido a una mayor eficiencia y bajas dosis utilizadas (Butt y Naseer, 2020).

Por otro lado, la vid (*Vitis vinífera*) Cv Cabernet Sauvignon es de la más importante para la producción de vino (Santander, 2022), además de que es una fuente natural de una gran cantidad de antioxidantes ayudando a disminuir problemas cardiovasculares entre otras repercusiones en el organismo humano (Provid, 2023). Por lo anteriormente mencionado el objetivo de la presente investigación es evaluar el efecto de fertilización foliar con nanopartículas en algunos parámetros de la calidad comercial de la vid.

Materiales y métodos

Sitio de estudio y material vegetal. El experimento se realizó en una propiedad privada ubicada en Monterrey, Durango, Mx., con un clima seco; temperatura promedio de 22 ºC y una precipitación pluvial anual de 253 mm, con una textura de suelo, de acuerdo a la NOM-021, franco arenosa (73% Arena, 11% Arcilla y 16% Limo); pH de 8,36, conductividad eléctrica en 0,64 $dS.m^{-1}$; densidad aparente de 1,56 $g.cm^{-3}$; capacidad de retención de agua del 14,6%; nitrógeno total de 8.40 $kg.ha^{-1}$; fosforo disponible de 166.33 $kg.ha^{-1}$ y potasio removible 3,299.96 $kg.ha^{-1}$. Utilizando como material vegetal la Cv Cabernet-Sauvignon con el porta injerto SO_4 con una edad de 12 años. Las nanopartículas fueron un producto comercial ‘’PHC® NANO K.’’

Tratamientos y diseño experimental. La distribución de los tratamientos en campo fue realizada bajo un diseño bloques completamente al azar con cinco tratamientos los cuales consistieron en la aplicación foliar de las siguientes dosis de NANO K: 100, 200, 300 y 400 ppm y un tratamiento testigo (agua destilada) con cuatro repeticiones, obteniendo un total de 20 unidades experimentales, aplicados cada 15 días desde la etapa de llenado de fruto hasta el envero, siendo un total de cinco aplicaciones durante el ciclo.

Variables evaluadas

Solidos solubles totales. Se midió con un refractómetro manual (BRIXCO®, Colombia), seleccionando dos bayas al azar de los racimos del tratamiento y repeticion.

Índice de madurez. Se determino mediante la relación SST/ATT (AOAC, 1990).

Grados probables de alcohol. Se estableció mediante la fórmula: GPA= (0.675* ºBrix) -2.0839 (Walteros et al.,2012).

Acidez titulable. Se determino de acuerdo con la metodología propuesta por AOAC (1990), donde se homogenizaron 10 g de pulpa del fruto con 50 mL de agua destilada, el extracto se filtró en alícuotas de 10 mL y se agregó NaOH 0.01 hasta lograr la neutralización. Se calculo mediante la fórmula:

$$\mathrm{AT}(\%)\frac{[(\mathrm{VNaOH(mL)} * \mathrm{NNaOH}\left(\frac{\mathrm{meq}}{\mathrm{mL}}\right) * \text{ácido cítrico}\left(0.064\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{meq}}\right)]}{(\mathrm{V\ jugo\ (mL)}) * 100}$$

Donde: AT (acidez titulable) V (volumen) meq (miliequivalente) mL (mililitros) g (gramos) % (porcentaje), y se expresó como acido tartárico.

Análisis estadístico. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis mediante un análisis de varianza y prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Las dosis intermedias (200 y 300 ppm), provocaron que los sólidos solubles fueran mejorados significativamente por la aplicación de nanopartículas de potasio teniendo un incremento y superando en un 25.18% al testigo, este resultado es similar a lo reportado por Alsalhy et al. (2021) al aplicar potasio de manera foliar en palmas datileras en dosis de 35 g L^{-1}.Con respecto a la acidez titulable las diferentes concentraciones presentaron efectos similares, aunque Mpleasoka et al. (2003), señalan que un exceso de potasio en combinación con el ácido tartárico en las bayas de vid, llega a provocar la formación una sal, la cual afecta negativamente dicho parámetro y esto se observó con la dosis de 200 ppm provocando una reducción de la AT. Las temperaturas promedio del lugar en el que se ejecutó el proyecto son muy cálidas y Nieves et al. (2019) en su investigación menciona que está condición climática provoca una acumulación excesiva de iones de potasio por lo que se acelera el índice de madurez, lo que resulta en una alta neutralización de los acidos organicos teniendo una respuesta positiva a la dosis de 200 ppm de NPsK mejorando la maduración de las vallas. Los GPA mostraron una respuesta favorable a la dosis de 200 NPsK en comparación con el testigo, Walteros et al. (2012) comenta que los GPA son un parámetro indicador de calidad a nivel comercial ya que los vinos se cotizan según su grado de alcohol, actualmente se busca que los vinos se encuentren en un rango de 12 y 14º, rango con el cual se pueden obtener vinos de calidad, el grado alcoholico indica los ml de etanol y sus homologos por cada 100 ml de vino en una temperatura de 20º C y los cuales se forman producto de la fermetación (Carazola y Xirau, 2005).

Cuadro 2. Valores promedio de solidos solubles (SS), indice de madurez (IM), grados probables de alcohol (GPA) y acidez titulable (AT) en bayas de vid por efecto de la aaspersion foliar de nanoparticulas de potasio.

NPs K ppm	SS (ºBrix)	IM	GPA (º)	AT (% AT 100g^{-1})
Testigo	17.875 C*	0.32027 B	10.0353 B*	0.875 AB
100	20.375 B	0.34583 B	11.7303 A	0.825 AB
200	22.000 A	0.43304 A	12.4930 A	0.725 B
300	22.375 A	0.36282 AB	13.0863 A	0.825 AB
400	21.375 AB	0.34583 B	11.9845 A	0.925 A

*Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa según (Tukey; p≤ 0.05).

Conclusión

La aplicación foliar con nanoparticulas de potasio en dosis intermedias (200 y 300 ppm) mejora los parametros de calidad para la producción de vino.

Referencias

Alsalhy, A., Al-Wasfy, M., Badawy, I., Gouda, F., & Shamroukh, A. (2021) Efecto de la fertilización con nanopotasio sobre la fructificación de la palmera datilera Zaghloul. SVU-Revista Internacional de Ciencias Agrícolas, 3(1), 1-9. https://doi.org/10.21608/svuijas.2021.54410.1065

Butt BZ, Naseer I (2020) Nanofertilizantes. En: Javad S (eds). Nanoagronomía. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41275-3_8

Carazola, J y M. Xirau (2005). Técnicas usuales de análisis en enología. Panreac Química. Barcelona, España. 113 pp.

Márquez-prieto, a.p .-m.-l.-a.-c.-r. (2022). Impacto de la aplicación foliar de nanofertilizante de potasio sobre la biomasa, el rendimiento, la asimilación de nitrógeno y la actividad fotosintética en frijol verde. *Notas botánicas del Jardín Agrobotánico de Cluj-Napoca, 50*(1), 12569-12569. https://doi.org/10.15835/nbha50112569

Mpelasoka, BS, Schachtman, DP, Treeby, MT, Thomas, MR (2003). Una revisión de la nutrición de potasio en las vides con especial énfasis en la acumulación de bayas. *Aust. J. Grape Wine Res.* 9 (3), 154–168. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2003.tb00265.x

Nasrollahzadeh M, Sajadi MS, Atarod M, Sajjadi M e Isaabadi Z, (2019) Una introducción a la nanotecnología. En interfaz de ciencia y tecnología, 1-27. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00001-8

Nido, P. J.-D. (2019). Optimización del proceso de producción de nanofertilizantes de potasio mediante pregelación ionotrópica utilizando un portador de alginato-quitosano. En la web de conferencias MATEC, 268(5001).

Nieves-Cordones, M., Andrianteranagna, M., Cuéllar, T., Chérel, I., Gibrat, R., Boeglin, M., et al. (2019). Caracterización del canal de K+ Shaker de la vid VvK3.1 apoya su función en los flujos masivos de potasio necesarios para la carga de potasio de las bayas y los movimientos de las hojas activados por el pulvinus. *New Phytol.* 222 (1), 286–300. https://doi.org/10.1111/nph.15604

Provid. (09 de abril de 2023). Provid. Obtenido de Asociación de Productores de Uva de mesa del Perú: https://www.provid.org.pe/valor-nutricional-de-la-uva/#:~:text=100%20g%20de%20uva%20fresca%20solo%20proporcionan%2069%20calor%C3%ADas%2C%20pero,como%20piridoxina%2C%20riboflavina%20y%20tiamina.

SADER (01 de noviembre de 2022) De Agricultura Y Desarrollo Rural, S. (n.d.). Destaca Organización Internacional de la Viña y el Vino potencial de México en el mercado mundial para los siguientes años. gob.mx. https://www.gob.mx/agricultura/prensa/destaca-organizacion-internacional-de-la-vina-y-el-vino-potencial-de-mexico-en-el-mercado-mundial-para-los-siguientes-anos.

Santander Racines, A. B. (2022). La Vitis vinifera, un caso de estudio en el viñedo Chaupi Estancia, provincia de Pichincha. Siembra, 9(2), 5-18. https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.3731

Younes, NA, Hassan, HS, Elkady, MF, Hamed, AM y Dawood, MF (2020) Impacto de la aplicación foliar de nanofertilizante de potasio sobre la biomasa, el rendimiento, la asimilación de nitrógeno y la actividad fotosintética en frijol verde. Heliyón, 6 (1). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03188

CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE SINTESIS VERDE DE ÓXIDO DE COBRE (NPS-CuO) Y SU EVALUACIÓN EN GERMINADOS DE TOMATE

David Alejandro Moreno Moya[1*], Manuel Fortis-Hernández[2], Alberto Sánchez-Estrada[3], Pablo Preciado-Rangel[1]

[1]Tecnológico Nacional de México – Campus Instituto Tecnológico de Torreón. Estudiante de la Maestría en Ciencias en Suelos. Antigua Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, Torreón, Coahuila, México. C.P. 27170. [1]Tecnológico Nacional de México – Campus Instituto Tecnológico de Torreón. Antigua Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, Torreón, Coahuila, México. C.P. 27170. Tel: (871) 1117279. [3]CTAOV. CIAD, A.C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, No. 46, Col. La Victoria, Hermosillo, Sonora, México. *Autor de correspondencia: david_moreno16@outlook.com

Introducción

La nanotecnología verde es un campo emergente que se enfoca en la producción de nanopartículas mediante células vivas a través de procesos biológicos. Es fundamental en áreas como farmacéutica, energía nuclear, combustibles, electrónica y bioingeniería. La síntesis verde es preferida para nanopartículas de 1 a 100 nm debido a su seguridad, eco-amigabilidad y costo-efectividad. Debido a que las técnicas físicas son caras y las químicas perjudiciales para la salud y el medio ambiente, se han adoptado procesos más económicos y ecológicos conocidos como rutas verdes, que forman parte de los métodos bottom-up y se basan en cuatro pilares: algas, hongos, microorganismos y extractos de plantas (Kanichi y Ahmed, 2018).

Las nanopartículas sintetizadas con extractos de plantas ofrecen ventajas sobre sus equivalentes, como la diversidad en tamaños y formas, la reducción del tiempo de síntesis y los bajos costos operativos (Iravani, 2011). Los metabolitos secundarios son vistos como componentes esenciales en la síntesis verde de nanopartículas, ya que actúan como agentes reductores y estabilizantes. Esto se debe a sus estructuras químicas, que les otorgan un mayor potencial para reducir, estabilizar y proteger (Marslin et al., 2018). Reportes de investigaciones han señalado que la elección del extracto vegetal se basa en plantas con un alto contenido de grupos funcionales -OH (polifenoles), ya que estos suelen estar asociados con propiedades antioxidantes y actúan como potentes agentes reductores (Valenzuela-Amaro et al., 2023). Las nanopartículas sintetizadas por extractos de plantas presentan diversas ventajas como: baja toxicidad, bajo costo, biocompatibles con células humanas y también pueden exhibir propiedades antibacterianas, antivirales y anticancerígenas (Rajan et al., 2015).

En el caso del ajo negro (*Allium sativum* L.), obtenido del ajo blanco (*Allium sativum*) cocido, reportes señalan que tiene una mayor capacidad antioxidante (Estalles, 2020). El bulbo de ajo, usado como medicina y condimento desde tiempos remotos, ha sido estudiado extensamente por su propiedades laxante, diurética, antioxidante y anticancerígena; y actividades antimicrobiana, antifúngica, antiviral y antiprotozoaria (Pilaquinga et al., 2019). Además, su aplicación para el tratamiento de enfermedades causadas por agentes patógenos es muy amplia (Meriga et al., 2012). Trabajos han demostrado la biocompatibilidad del extracto de ajo con nanopartículas de oro (Rstogi y Arunachalam, 2013) y con nanopartículas de zinc (Stan et al., 2016). Por otra parte, productores agrícolas se enfocan en la producción escalonada de plántulas para satisfacer la demanda del mercado y enfrentar adversidades. Utilizan técnicas de manejo nutricional, ambiental y control de plagas para asegurar un desarrollo óptimo (INTAGRI, 2020). Una plántula de calidad tiene un sistema radicular bien desarrollado, hojas sanas y es capaz de sobrevivir a condiciones adversas (Balliu et al., 2017).

En el caso del cultivo de tomate, en él año 2021 se cosecharon aproximadamente 22.800 millones de toneladas, siendo una hortaliza clave para la economía y nutrición en México (SIAP, 2021). Tal como lo mencionan Alves et al*.* (2023) el cobre exógeno aplicado en tomate ya sea en la rizosfera o foliar aporta beneficios de reducción de estrés y enfermedades en la planta teniendo cuidado de no exceder las concentraciones máximas para evitar problemas de toxicidad. En este sentido, el presente trabajo tuvo como objetivo sintetizar y caracterizar nanopartículas de cobre mediante un método verde usando extracto de ajo negro y analizar distintos índices fisiológicos en germinados de tomate.

Materiales y métodos

La síntesis de nanopartículas se realizó en el Instituto Tecnológico de Torreón (ITT) el 8 de noviembre de 2023. Se extrajeron 5 g de planta seca y pulverizada con 100 ml de etanol al 30% a 60 °C durante 30 minutos, filtrando posteriormente el extracto y ajustando el volumen a 100 ml con agua desionizada. Las nanopartículas de óxido de cobre (CuO NPs) se sintetizaron utilizando una solución acuosa de sulfato de cobre (0.25 M) y 20 ml de extracto de planta en una proporción equimolar 1:1, agitando la mezcla durante dos horas a temperatura ambiente. Se sometió la mezcla a radiación UV (λ = 254 nm) durante 10 minutos como factor de reducción adicional. La caracterización de los nanomateriales se realizó a los pocos días de su sintetización, utilizando un espectrofotómetro FTIR para el análisis estructural en el rango de 600 a 4000 cm^{-1}. La caracterización se llevó a cabo en el Laboratorio Nacional CONACYT LANNBIO-Cinvestav Unidad Mérida, bajo la supervisión de los doctores Patricia Quintana y Víctor Rejón. La morfología se determinó utilizando un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo, modelo JEOL JSM-7500F, operado a 15 kV con aumentos de 100x y 1000x. Se realizaron estudios espectroscópicos de dispersión de energía de rayos X (EDX) para el análisis cuantitativo de elementos, utilizando un sistema EDX Oxford con mapeo de rayos X e imágenes digitales. Las muestras fueron recubiertas con una fina capa de aleación Au/Pd mediante un recubridor de pulverización Quorum modelo Q150T ES durante 20 segundos.

Las pruebas de germinación se llevaron a cabo en el ITT el 25 de marzo de 2024 ya teniendo confirmación de que el nanomaterial cumple los criterios, se evaluaron cinco concentraciones (2, 4, 6, 8 y 10 ppm) de NPsCuO de síntesis verde y un tratamiento control. Fueron utilizadas 18 cajas Petri con 10 semillas certificadas cada una, tres por tratamiento, previamente lavadas con alcohol al 70 % durante 15 min (Estrada, 2010). Los datos referentes al % de vigor fueron tomados 7 días después de añadir 5 ml de las soluciones a las semillas y los datos de longitudes, peso seco y % de germinación se registraron al pasar 15 días. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con seis tratamientos y tres repeticiones. Para el análisis estadístico se utilizó el SAS (Statistical Analysis System) versión 9.1.

Resultados y discusión

La morfología de la muestra que contiene nanopartículas de cobre se muestra en la Figura 1. La morfología y la topografía superficial se estudiaron mediante microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESESM). Las imágenes morfológicas de las nanopartículas de cobre (CuO) sintetizadas por el proceso de biosíntesis se muestran en las Figuras 1a (100 µm) y 2b (10 µm). La morfología del material es laminar y heterogéneamente poroso (Figura 1a). A mayor aumento, se observa que el material orgánico en la superficie está recubierto por las nanopartículas de cobre, tal como lo indican las flechas rojas en la Figura 1b.

Los resultados indican la existencia de nanopartículas con forma heterogénea, que se asemejan a grupos o aglomeraciones de nanopartículas con diferentes nanodiámetros, rondando los 40nm aproximadamente.

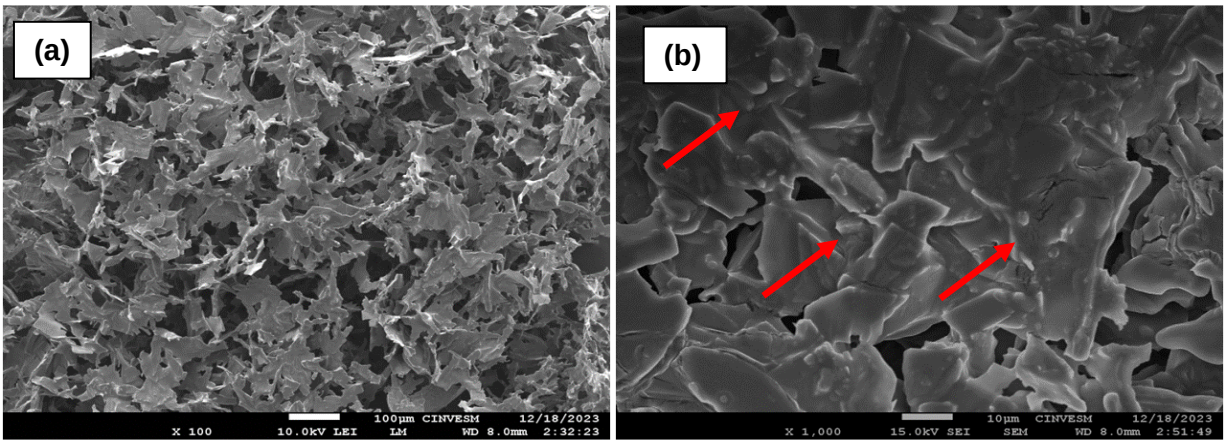
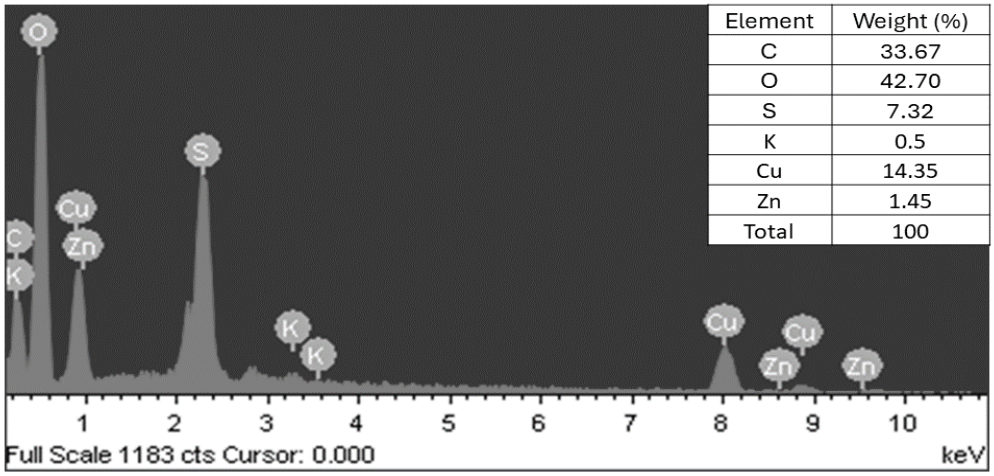


Figura 1. Micrografías SEM de la muestra 0.25 que contiene nanopartículas de cobre sintetizadas a partir del extracto de ajo negro.



Element	Weight (%)
C	33.67
O	42.70
S	7.32
K	0.5
Cu	14.35
Zn	1.45
Total	100

Figura 2. Espectro EDS de nanopartículas de cobre biosintetizadas (Tabla insertada: elementos y porcentaje de su peso)

El análisis elemental de la muestra biosintética se determinó a partir del espectro EDX, que se presenta en la Figura 2. El patrón EDX y la tabla de composición (tabla insertada en la Figura 3) revelan la formación exitosa de nanopartículas de cobre, y las posiciones de los picos EDX indican la presencia de cobre. El patrón EDX muestra la existencia de cobre (14.35%) junto con algunos otros elementos como carbono (33.67%), oxígeno (42.70%), azufre (7.32%), zinc (1.45%) y un porcentaje menor de potasio (0.50%). El carbono, el oxígeno y el azufre son elementos relacionados con los compuestos orgánicos en las biomoléculas del extracto utilizado para sintetizar las nanopartículas de cobre (Rambau et al., 2024). El zinc y el potasio podrían ser impurezas en la muestra.

Los resultados fisiológicos se presentan en el Cuadro 1. Se observa que los tratamientos no presentaron diferencias significativas en la variable de vigor. La variable de peso seco presento ser mayor en los tratamientos con 2 y 10 mg L^{-1}. A su vez el tratamiento con 6 mg L^{-1} fue mayor en las variables de germinación y longitud de hipocótilo mientras que el tratamiento con 2 mg L^{-1} fue el mayor en cuanto a peso seco.

Cuadro 1. Resultados fisiológicos de los germinados de tomate por efecto de la aplicación de nanopartículas de cobre de síntesis verde.

Tratamiento (mg L^{-1})	Vigor (%)	Germinación (%)	Longitud raiz (mm)	Longitud hipocótilo (mm)	Peso seco (mg)
Control	55.77±13.9a*	72±15.34b	50.88±0.42ab	49.86±9.60 b	14.5±3.5c
2	61.22±3.84a	72±16.64b	61.55 ±2.10a	50.97±3.94 b	29.5±0.7a
4	65.85±21.13a	75±13.61b	61.55 ±4.75a	55.87±3.85 b	22.6±0.5b
6	83.85±10.64a	90±00.01a	46.63 ±2.51b	58.51±3.15 a	21.3±1.5b
8	54.78±3.48a	75±13.61b	47.71 ±0.55b	55.86±5.16 b	21.6±2.5b
10	66.14±4.69a	75±13.61b	51.66 ±4.58ab	53.82±7.04 b	24.0±2.6ab

*Letras iguales no presentan diferencia estadística. Los valores en % fueron estandarizados con arco seno antes de su análisis estadístico.

En cuanto a la caracterización se puede considerar exitosa por cumplir con los rangos de tamaños menores a 100 nm. Al respecto, El-Refai et al. (2018) realizaron síntesis de diferentes metales con ajo blanco y jengibre usando concentraciones menores de $CuSO_4$, obteniendo tamaños de 14.62–22.80 nm y de 4.92–27.41 nm, respectivamente. Santás-Miguel et al*. (*2023*)* reportaron que no había cambios significativos en los germinados del cultivo de tomate aplicando 0.0003–0.003 mg mL^{-1} de NPsCu. Tambien Oraibi, et al. (2023) realizo pruebas en germinados con nanopartículas biosintetizadas usando extracto de alcaravea, con tamaños de 45.5 nm y mayores pesos secos registrados a los 10 y 15 dias desde que se aplicaron 2.5 mg mL^{-1} de CuNPs, obteniendo 125 y 100 mg de peso seco respectivamente.

Conclusiones

Se obtuvieron de manera exitosa nanopartículas de óxido de cobre, que cumplen con el estándar de que alguna de sus dimensiones sea menor a 100 nm y a través del análisis infrarrojo muestran ser estables y de pureza alta teniendo solo un 1.95% de impurezas de Zn y K. La similitud entre los resultados fisiológicos de los germinados muestra que no hay efecto en % de vigor, pero si muestran ser mejoradores de la longitud de raíz y peso seco. Demostrando también el no tener ningún efecto que inhiba el crecimiento. Por lo que podrían mejorar la producción de plántulas de tomate.

Referencias

Akbar, K. (2016). Marker-assisted selection and pyramiding of I1 and Ph3 genes for multiple disease resistance in tomato through PCR analysis. International Journal of Biosciences,9(3),108–113.

Alves, A., Ribeiro, R., Azema, M., Cunha, M., & Teixeira, J. (2023). Effects of exogenously applied copper in tomato plants' Oxidative and nitrogen metabolisms under organic farming conditions. Horticulturae, 9(3), 323.

Balliu, A., Kacjan Marsic, N., & Gruda, N. (2017). Seedling production.

Dent, M., et al. (2013). The effect of extraction solvents, temperature and time on the composition and mass fraction of polyphenols in Dalmatian wild sage (Salvia officinalis L.) extracts. Food Technology and Biotechnology, 51(1), 84–91.

Devasenan, S., et al. (2016). Green synthesis and characterization of zinc nanoparticle using Andrographis paniculata leaf extract. International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research, 39(1), 243–247.

El-Abeid, S. E., et al. (2024). Antifungal activity of copper oxide nanoparticles derived from Zizyphus spina leaf extract against Fusarium root rot disease in tomato plants. Journal of Nanobiotechnology, 22(1), 28.

Estalles, B. M. M. (2020). Bases para la elaboración de protocolos para la obtención de ajo negro con cultivares INTA de ajo (Allium sativum), y caracterización organoléptica, físico – química y nutracéutica (Tesis doctoral, Universidad Nacional de Cuyo).

Fernández, S. (2017). Bases para el desarrollo de un protocolo para la preparación de ajo negro. En XV Curso taller sobre Producción, Comercialización e Industrialización de Ajo. Estación Experimental Agropecuaria La Consulta. Editorial INTA. Pág. 179.

Harish, J., et al. (2023). Morphological characterization, pathogenicity screening, and molecular identification of Fusarium spp. isolates causing post-flowering stalk rot in maize. Frontiers in Microbiology, 14, 1121781. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1121781

INTAGRI. (2020). Producción de plántulas en invernadero. Serie Hortalizas, Núm. 17. Artículos técnicos de INTAGRI. México. 5 p.

Oraibi, A. G., Rashad, A. A., & Ahmed, M. H. (2023). Carum carvi mediated green synthesis of copper nanoparticles and its effect on Solanum lycopersicum seedlings. J. Arid. Agric, 9.

Pilaquinga, M., Pazmiño, K., Robalino, A., Jara, E., López, F., Meneses, L., & Debut, A. (2019). Síntesis verde de nanopartículas de plata usando el extracto acuoso de las hojas de ajo (Allium sativum). *Infoanalítica, 7*(2), 41-55.

Rambau, U., et al. (2024). Green synthesis of gold and copper nanoparticles by Lannea discolor: Characterization and antibacterial activity. Inorganics, 12, 36. https://doi.org/10.3390/inorganics12020036

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). El jitomate: hortaliza mexicana de importancia mundial. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-jitomate-hortaliza-mexicana-de-importancia-mundial?idiom=es#:~:text=El%20jitomate%20es%20uno%20de,B1%2C%20B2%2C%20y%20C

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021). Estadísticas de producción agrícola en México. https://www.siap.gob.mx

Valenzuela-Amaro, H. M., Vázquez-Ortega, P. G., Zazueta-Álvarez, D. E., López-Miranda, J., & Rojas-Contreras, J. A. (2023). Síntesis verde de nanopartículas de magnetita (NPs-Fe_3O_4): factores y limitaciones. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología, 16*(30).

Vijayaram, S., Razafindralambo, H., Sun, Y. Z., & et al. (2024). Applications of green synthesized metal nanoparticles: A review. Biological Trace Element Research, 202, 360–386. https://doi.org/10.1007/s12011-023-03645-9

Santás-Miguel, V., Arias-Estévez, M., Rodríguez-Seijo, A., & Arenas-Lago, D. (2023). Use of metal nanoparticles in agriculture. A review on the effects on plant germination. Environmental Pollution, 122222.

INFLUENCIA DE NANOPARTÍCULAS DE POTASIO EN LA CALIDAD NUTRACÉUTICA DE CHILE JALAPEÑO

Alfredo Castañeda Ibarra*; Leticia Alfaro Hernández, Pablo Preciado Rangel

Tecnológico Nacional de México-Campus Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón - San Pedro km 7.5, ejido Ana, Torreón, Coahuila, México. CP. 27170. *Autor de Correspondencia: Alfredo04031998@gmail.com

Introducción

El potasio es un macroelemento fundamental para las plantas, requerido en grandes cantidades y crucial para las funciones primarias de la planta y es conocido como un elemento que determiona la calidad de los cultivos (Coronel, 2003). El uso de la nanotecnología en la agricultura es crucial, y los nano fertilizantes han emergido como una alternativa a los fertilizantes tradicionales. Sus beneficios incluyen mayor eficiencia en el uso de nutrientes, mayor rendimiento y reducción de la contaminación del suelo. Se ha demostrado que una aplicación de potasio mejora la fotosíntesis, el crecimiento y el rendimiento en condiciones de estrés hídrico (Gogos et al., 2012; Pooja y Sudha 2022). La aplicación foliar de nanofertilizantes es cada vez más importante que la de los fertilizantes tradicionales debido a su menor impacto ambiental debido a una mayor absorción de las plantas y una mayor efectividad a bajas concentraciones. Se ha demostrado que la utilizacion de las K-NPs proporcionan suficiente K a la planta y mejoran los procesos fotosintéticos y el rendimiento (Lo'ay et al., 2021); asimismo, las NPs de K mejoran la productividad de los cultivos en condiciones de estrés (Mahmoud et al., 2022). México se ha consolidado como uno de los principales productores de chile verde en el mundo, ocupando posiciones entre el segundo y cuarto lugar a nivel global. Al cierre de 2023, el país registró una producción de 3.237 millones de toneladas. Entre 2013 y 2022, la producción experimentó un crecimiento promedio anual del 3.3%, lo que permitió exportar grandes volúmenes a 47 mercados internacionales. Como resultado, ocho de cada cien kilogramos de chiles picantes comercializados a nivel mundial provienen de México (SIAP, 2024). Dada su importancia económica a nivel nacional el objetivo del presente estudio fue evaluar la aplicación foliar del nanofertilizante K sobre la calidad nutracéutica de frutos de chile jalapeño.

Materiales y métodos

El experimento se realizó bajo condiciones de campo en la Universidad Politécnica de la Región Laguna. El material utilizado fue Variedad Orizaba F1, la cual fue sembrada en una distancia de 0.20 m entre planta y 1 m entre surco, los tratamientos consistieron en la aplicación foliar de cinco dosis de K-NPs: 100, 200, 300, 400 mg L^{-1} y un tratamiento control (agua destilada). Se realizaron tres aplicaciones en total con un espacio de tiempo de 15 días, las aplicaciones se realizaron en un horario de entre las 7:30 a.m. y 9:00 p.m. el diseño experimental utilizado consistio en un diseño bloques al azar. Las variables evaluadas en la cosecha consistieron en:

- Flavonoides: Se utilizó el método colorimétrico (Zhishen et al., 1999).
- Determinación de fenoles totales y β caroteno: método espectrofotométrico (Singleton, Orthofer et al., 1999).
- Actividad antioxidante total: se determinó con el método in vitro $DPPH^+$ (Brand-Williams, Cuvelier y Berset, 1995).
- Determinación de vitamina C: se determinó por el método de acuerdo con Hernández Hernández et al. (2019).
- Capsaicinoides: mediante una adaptación del método Cisneros-Pineda, Torres-Tapia et al., 2007).

El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza utilizando el paquete estadístico Statistical Analysis System 9.0 (SAS, 2004). Al detectar diferencias entre medias, se realizó la prueba de DMS al 0.05.

Resultados y discusión

La aplicación foliar de nanopotasio mostró efectos positivos significativos en las variables evaluadas en el cultivo de chile jalapeño (Cuadro 1). El contenido de compuestos fenólicos en los frutos de chile jalapeño aumentó con la dosis de nanopotasio aplicada. En particular, la dosis de 400 mg L^{-1} resultó en el contenido más alto de fenoles totales, alcanzando 1194.38 mg 100 g^{-1}. Este aumento es coherente con la literatura, que sugiere que el potasio (K) favorece la biosíntesis de metabolitos secundarios como los polifenoles, actuando como un mecanismo de defensa contra el estrés (Espinosa-Palomeque et al., 2020; Ramírez-Borroel et al., 2019; Rangel-Andrade et al., 2019).

Cuadro 1. Efecto de la aspersión foliar de nanopotasio sobre los compuestos bioactivos en chile jalapeño.

Tratamiento NPs K mg L^{-1}	Flavonoides	Fenoles	Vitamina C	Capacidad antioxidante	Capsaicina
	------ mg 100 g^{-1} -----			µM equiv TROLOX/ g (PF)	
Control	491.9 b*	822.61 d	13.20 d	0.999 d	0.021 e
100	525.1 b	960.74 c	16.940 c	1.000 c	0.071 d
200	668.1 b	1054.27 b	20.020 bc	1.075 bc	0.102 c
300	933.8 a	1084.60 b	21.780 b	1.116a	0.145 b
400	1068.8 a	1194.38 a	26.840 a	1.100ba	0.225 a

*Medias con diferentes letras en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey p ≤ 0,05).

El contenido de vitamina C en los frutos también se incrementó con la dosis de nanopotasio, siendo la mayor concentración observada con 400 mg L^{-1}, con 26.84 mg 100 g^{-1}. Este resultado es consistente con estudios que indican que el aumento en la concentración de K puede elevar significativamente el contenido de vitamina C en los frutos (Rangel-Andrade et al., 2019). La vitamina C es esencial para la calidad nutricional de los frutos, contribuyendo con el 100-200% de la ingesta diaria recomendada de ácido ascórbico por cada 100 g de chile.

La capacidad antioxidante también mejoró con la aplicación de nanopotasio, siendo la dosis de 300 mg L^{-1} la que mostró el valor más alto (1.116 µM equiv TROLOX/g). Este aumento en la actividad antioxidante es relevante, ya que los antioxidantes ayudan a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer (Rangel-Andrade et al., 2019). Las concentraciones de capsaicina y capsaicinoides totales también aumentaron con las dosis de nanopotasio, alcanzando el nivel más alto con 400 mg L^{-1} (0.225 mg 100 g^{-1}). La capsaicina es responsable del 90% de la pungencia en los pimientos y su concentración se ve afectada por las condiciones de crecimiento y el manejo agronómico (Rangel-Andrade et al., 2019). El incremento en capsaicina con las dosis más altas de nanopotasio puede mejorar la calidad del fruto al aumentar su pungencia, una característica valorada por los consumidores.

Conclusiones

La aplicación foliar de nanopartículas de potasio afecto positivamente la calidad nutraceútica de frutos de chile jalapeño. La dosis de 400 ppm mejoró significativamente la calidad nutraceútica de frutos de chile jalapeño como Flavonoides, Fenoles, Vitamina C, Capacidad antioxidante y Capsaicina. El uso de nanopartículas de potasio mejora la calidad nutraceútica de los frutos de chile jalapeño.

Referencias

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food Science and Technology, 28(1), 25-30.

Cisneros-Pineda, O., Torres-Tapia, L. W., Gutiérrez-Pacheco, L. C., Contreras-Martín, F., González-Estrada, T., & Peraza-Sánchez, S. R. (2007). Capsaicinoids quantification in chili peppers cultivated in the state of Yucatán, Mexico. Food Chemistry, 104, 1755-1760.

Coronel, A. N. L. (2003). Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas. La granja, 2(1), 23-24.

Espinosa-Palomeque, B., Cano-Ríos, P., Salas-Pérez, L., González-Rodríguez, G., Reyes-González, A., Ayala-Garay, A. V., & Preciado-Rangel, P. (2020). Vermicompost on the production and nutraceutical quality of jalapeño pepper fruits (Capsicum annuum L.). Terra Latinoamericana, 38(4), 795-803.

Gogos, A., Knauer, K., & Bucheli, T. D. (2012). Nanomaterials in plant protection and fertilization: current state, foreseen applications, and research priorities. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60(39), 9781-9792.

Lo'ay AA, EL-Ezz SFA, Awadeen AA (2021) Effect of different foliar potassium fertilization forms on vegetative growth, yield, and fruit quality of kaki trees grown in sandy soil. Scientia Horticulturae 288: 110420. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110420

Mahmoud AWM, Samy MM, Sany H, Eid RR, Rashad HM, Abdeldaym EA (2022) Nanopotassium, nanosilicon, and biochar applications improve potato salt tolerance by modulating photosynthesis, water status, and biochemical constituents. Sustainability 14(2):723. https://doi.org/10.3390/su14020723

Pooja, C. A., & Sudha, T. (2022). Assessment of green synthesized potassium nanoparticles on wheat priming. Pharma Innovation, 11(9), 1853-1855.

Preciado-Rangel, P., Andrade-Sifuentes, A., Sánchez-Chávez, E., Salas-Pérez, L., Fortis-Hernandez, M., Rueda-Puente, E. O., & García-Hernández, J. L. (2019). Potassium influence the nutraceutical and antioxidant content of Serrano hot pepper (Capsicum annuum L.). Agrociencia, 53(4).

Ramírez-Aragón, M. G., Borroel-García, V. J., Salas-Pérez, L., López-Martínez, J. D., Gallegos-Robles, M. A., & Trejo-Escareño, H. I. (2019). Rosmarinic acid, total Phenolics and antioxidant capacity in three varieties of Ocimum basilicum L. with different potassium doses. Polibotanica, (47), 89-98.

SAS Institute. (2004). Statistical Analysis System (Versión 9.0). SAS Institute Inc., Cary, NC, EE.UU.

SIAP. (2021). México, entre los principales productores de chile verde en el mundo: Agricultura. Gobierno de México.

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. In Methods in Enzymology (Vol. 299, pp. 152-178). Academic Press.

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), 555-559.

XX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS

"Innovación y acción para un medio ambiente sostenible"

Exposición Fotográfica

Exposición Fotográfica

LOS SECRETOS DEL DESIERTO: EXPOSICIÓN DE FOTOGRAFÍAS INÉDITAS

Mayela Rodríguez-González[1*], Luis Gerardo Yáñez-Chávez[2] y Gonzalo Hernández-Ibarra[2]

[1]Universidad Abierta y a Distancia de México – UnADM. CP 03330 CDMX. [2]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Km. 40 Carretera Torreón-Chihuahua. CP 35230 Bermejillo, Durango. Autor de correspondencia: mayelarg92@gmail.com

Contexto general

Los desiertos son zonas que se caracterizan por presentar condiciones climáticas severas. Sobresaliendo rasgos como la baja humedad relativa durante el día y relativamente alta por la noche, con fuertes cambios de temperatura, alta luminosidad y ausencia de precipitaciones (Giménez y Héau, 2007). Particularmente, el desierto Chihuahuense además de ser el de mayor extensión en Norteamérica se considera una de las regiones secas con mayor riqueza de especies del mundo (Granados-Sánchez et al., 2011), ofreciendo una serie de servicios ecosistémicos y albergar diferentes especies silvestre de flora y fauna siendo clave en la conservación de la biodiversidad (Vital-García, 2023). La riqueza biológica del área es perceptible con tan solo adentrarse en áreas con condiciones pocas perturbadas, esta región no está exenta de amenazas antropogénicas debido al aumento de la población humana que cada día avanza más hacia territorios poco habitables como los desiertos (Cab-Sulub, 2022).

La exposición digital “Los secretos del desierto” a través de una serie de más de 100 fotografías inéditas muestra la variedad de matices y colores de la flora y fauna de la la región norte de Durango y sur de Coahuila, pertenecientes al Desierto Chihuahuense; las cuales fueron capturadas desde el 2017 a la fecha, formando parte de diversas investigaciones sobre la biodiversidad en los estados referidos.

Registrando una gran diversidad de mamíferos como el coyote (*Canis latrans*), gato montés (*Lynx rufus*), zorrillo listado norteño (*Mephitis mephitis*), comadreja cola larga (*Mustela frenata*), tuza cara amarilla (*Cratogeomys castanops*), mapache (*Procyon lotor*), ardilla de tierra punteada (*Xerospermophilus spilosoma*), liebre cola negra (*Lepus californicus*), venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y el murciélago desértico norteño (*Antrozous pallidus*). Entre las especies de herpetofauna destacan el huico pinto del noreste (*Aspidoscelis gularis*), cascabel de diamantes (*Crotalus atrox*), cascabel de cola negra (*Crotalus molossus*), lagartija espinosa del desierto (*Sceloporus magister*) y lagartija norteña de mancha lateral (*Uta stansburiana*). Así mismo, dentro de la avifauna presente en el área se encuentra el tecolote llanero (*Athene cunicularia*), cernícalo americano (*Falco sparverius*), carpintero cheje (*Melanerpes aurifrons*), perlita del desierto (*Polioptila melanura*), gavilán rastrero (*Circus hudsonius*), codorniz escamosa (*Callipepla squamata*), aguililla de Swainson (*Buteo swainsoni*), milano cola blanca (*Elanus leucurus*), entre otros. En cuanto a la riqueza florística, se localiza una gran diversidad de plantas con adaptaciones para la vida en el desierto, predominando el matorral desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo, el matorral desértico crasicaule y pastizales.

De las especies presentadas el 30% se encuentra en algún estatus de protección por normas oficiales de México (DOF, 2010). Por ello, a través de esta exposición fotográfica se pretende destacar la gran biodiversidad paisajista y biótica de las zonas áridas del Norte de México incitando a su conservación y manejo sustentable.

Referencias

Cab-Sulub, L. (2022). Un desierto megadiverso. *Therya ixmana*, *1*(2), 52-53. https://10.12933/therya_ixmana-22-207.

Diario Oficial de la Federación. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

Giménez, G., & Lambert, C. M. H. (2007). El desierto como territorio, paisaje y referente de identidad. *Culturales*, *3*(5), 7-42.

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*(SPE), 111-130.

Vital-García, C. (2023). Biodiversidad y riqueza biológica del desierto Chihuahuense en Samalayuca Chihuahua. *Instituto de Ciencias Biomédicas*. https://cathi.uacj.mx/20.500.11961/28745

UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA ZONAS ÁRIDAS

URUZA

SAN JACINTO

AÑOS

ENA - UACh

5 ANIVERSARIO URUZA