

SEP

POLIBOTÁNICA

(Print) ISSN 1405-2768

(online) ISSN 2395-9525



Julio 2024

Núm. 58

POLIBOTÁNICA



Núm. 56



Julio 2024



PÁG.

CONTENIDO

- 1 Primeros registros de dinoflagelados de la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe, Baja California, México
First records of dinoflagellates from the Guadalupe Island Biosphere Reserve, Baja California, Mexico
Ismael Gárate-Lizárraga | Francisco Omar López Fuerte | Yuri B Okolodkov | Demetrio Boltovskoy | Sergio Flores-Ramírez | Ricardo Yabur
- 17 Un enfoque integrativo revela la identidad y la distribución interoceánica de la diatomea *Halamphora adumbratoides* Stepanek & Kociolek 2018 (Bacillariophyceae: Amphipleuraceae)
An integrative approach reveals the identity and interoceanic distribution of the diatom Halamphora adumbratoides Stepanek & Kociolek 2018 (Bacillariophyceae: Amphipleuraceae)
Omar López-Fuerte | Lora-Vilchis Murugan
- 31 Riqueza y composición de líquenes de los pueblos mágicos de Cuetzalan y Tlatlauquitepec, Puebla, México
Lichen richness and composition of the magical towns of Cuetzalan and Tlatlauquitepec, Puebla, Mexico
Rosa Emilia Pérez-Pérez | Romina Silva-Espejo | Dulce María Figueroa-Castro | Carlos Castañeda-Posadas
- 49 Estructura, composición y diversidad de un bosque de galería al noroeste de México
Structure, composition, and diversity of a gallery forest in northwest Mexico
María de Fatima Amaran-Ruiz | Eduardo Alanís-Rodríguez | Andrés Eduardo Estrada-Castillón | Luis Gerardo Cuellar-Rodríguez | Oscar Alberto Aguirre-Calderón | Guadalupe Geraldine García-Espinoza
- 65 Estado actual de la estructura y composición del bosque de *Pinus culminicola* var. *culminicola* en un gradiente altitudinal en el Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León, México
Current status of the structure and composition of the Pinus culminicola var. culminicola forest in an altitudinal gradient at Cerro El Potosi, Galeana, Nuevo Leon, Mexico
Aldo Tovar-Cárdenas | Luis Gerardo Cuéllar-Rodríguez | Marisela Pando-Moreno | Enrique Jurado-Ybarra | José Israel Yerena-Yamalle | Homero Alejandro Gárate-Escamilla
- 85 Composición, estructura y diversidad del arbolado urbano de la Colonia Contry en Monterrey, México
Composition, structure, and diversity of the urban tree of Colonia Contry in Monterrey, Mexico
María Cecilia Hernández-Cavazos | Eduardo Alanís-Rodríguez | Víctor Manuel Molina-Guerra | Javier Jiménez-Pérez | Oscar Aguirre-Calderón | Gerardo Cuellar-Rodríguez
- 101 Diversidad y estructura de especies arbóreas en tres tipos de vegetación forestal al sur de Durango, México
Diversity and structure of tree species in three types of forest vegetation in southern Durango, Mexico
Edgar Silva-González | José Guadalupe Colín | Oscar Alberto Aguirre-Calderón | Eduardo Javier Treviño-Garza | José Javier Corral-Rivas | Gyorgy Eduardo Manzanilla-Quijada
- 119 Diversidad de la vegetación a través de un gradiente de humedad del Oasis San Ignacio, Baja California Sur, México
Vegetation diversity through a humidity gradient of San Ignacio Oasis, Baja California Sur, Mexico
Nancy Silva-Ávila | Francisco Javier Hernández | Juan Abel Nájera-Luna | Carlos Enrique Aguirre-Calderón
- 135 Supervivencia y crecimiento de una reforestación de seis especies del matorral espinoso tamaulipeco en el noreste de México
Survival and growth of a reforestation of six species of the Tamaulipan thornscrub in northeastern Mexico
José Manuel Mata-Balderas | Eduardo Alanís-Rodríguez | Tania Isela Sarmiento-Muñoz | Edwin Samuel Rodríguez-Alejandro | Adriana Concepción Garza-Pérez
- 149 Actividad antibacteriana de nanopartículas de plata biosintetizadas a partir de extractos de tres especies de *Agave* para inhibir *Bacillus licheniformis*
Antibacterial activity of silver nanoparticles biosynthesized from extracts of three species of Agave to inhibit Bacillus licheniformis
Sandra Yarensy Martínez Martínez | Amaury Martín Arzate Fernández | María Guadalupe González Pedroza | Hilda García-Núñez | Eulogio De la Cruz Torres
- 159 Tratamientos que promueven la germinación de semillas de cinco especies leñosas del Matorral Espinoso Tamaulipeco con latencia física
Treatments that promote seeds germination of five woody species of the Tamaulipan Thornscrub with physical dormancy
Luis Daniel Ruiz-Carranza | José Ángel Sigala-Rodríguez | Eduardo Alanís-Rodríguez | Víctor Manuel Molina-Guerra | Erickson Basave-Villalobos
- 171 Conservación *in vitro* de *Guarjanthe skinneri* (Bateman) Dressler & Higgins por mínimo crecimiento
In vitro conservation of Guarjanthe skinneri (Bateman) Dressler & Higgins for minimal growth
Marco Antonio Ramírez-Mosqueda | Raúl López-Aguilar | Andrés Orduño-Cruz | Marco Vinicio Rodríguez-Deméghi
- 181 Establecimiento *in vitro* de pascuita (*Euphorbia leucocephala* Lott) e inducción de callos y tallos bajo diferentes colores de luz led
In vitro establishment of pascuita (Euphorbia leucocephala Lott) and callus and shoot induction under different led light colors
María Teresa Colinas-León | Carlos de Jesus Morales-Becerril | Ramón Marcos Soto-Hernández | María Teresa Martínez-Damián | Natanael Magaña-Lira | José Luis Rodríguez-de la O
- 197 Conocimientos moleculares sobre la embriogénesis somática en *Agave angustifolia*: caracterización del gen AaSERK
Molecular insights into somatic embryogenesis in Agave angustifolia: characterization of the AaSERK gene
Jesús Ignacio Reyes-Díaz | Amaury Martín Arzate-Fernández
- 209 Caracterización morfológica de frutos de *Malpighia glabra* en dos regiones bioclimáticas del estado de Yucatán, México
Morphological characterization of Malpighia glabra fruits in two bioclimatic regions from Yucatán state, Mexico
Monserrat Concepción Esquivel-Chi | Rubén Humberto Andueza-Noh | Esaú Ruiz-Sánchez | Marcela Gamboa-Angulo | Angel Manuel Herrera-Gorocica | Daniel Potter | Emanuel Hernández-Núñez | Gabriel Dzib
- 225 Comportamiento de tomates criollos (*Solanum lycopersicum*) del Sureste de México al complejo *Bemisia tabaci* – begomovirus
Behavior of native tomatoes (Solanum lycopersicum) from Southeastern Mexico to Bemisia tabaci-Begomovirus complex
Ana L Ruiz-Jiménez | Esaú Ruiz-Sánchez | Luis Latournerie-Moreno | Zaci F Chan-Escalante | Alicia R Lara-Martín | Alejandro García-Ramírez
- 237 Fibras y diseños utilizados en la elaboración de papel amate en San Pablito, Pahuatlán, Puebla, México
Fibers and designs used in the production of amate paper in San Pablito, Pahuatlán, Puebla, Mexico
Rosaura Citlalli López-Binnquist | Adolfo de Jesús Rebolledo-Morales
- 251 Especies vegetales conocidas como camorreal en San Pedro el Alto, Oaxaca, México
The plant species known as camorreal in San Pedro el Alto, Oaxaca, Mexico
Gisela Virginia Campos-Angeles | Josefa Itzel Pérez-Luis | Valentín José Reyes-Hernández | Gerardo Rodríguez-Ortiz | Mireya Burgos-Hernández | José Raymundo Enríquez-del Valle
- 265 Diversidad de agaves utilizados en la extracción de savia para la producción de jarabe de aguamiel en el estado de Hidalgo, México
Diversity of agaves used in the extraction of sap to produce aguamiel syrup in the state of Hidalgo, Mexico
Carmen Julia Figueredo-Urbina | Oscar Arce-Cervantes | Araceli Castañeda-Ovando



Portada

Ceratocorys horrida F. Stein 1883 (Oxyphysaceae) es una especie de dinoflagelado que forma parte del fitoplancton marino, crucial en la cadena alimentaria acuática. Este organismo tiene una forma redondeada con largas y delgadas espinas que le ayudan en la defensa y la flotabilidad. Se encuentra en aguas superficiales y costeras ricas en nutrientes, con una distribución global. Puede formar floraciones algales que, aunque beneficiosas en niveles moderados, pueden causar eutrofización y producir toxinas en exceso. Se utiliza en estudios de calidad del agua y salud del ecosistema marino.

Ceratocorys horrida F. Stein 1883 (Oxyphysaceae) is a species of marine dinoflagellate that is part of the phytoplankton, crucial in the aquatic food chain. This organism has a rounded shape with long, thin spines that help it with defense and buoyancy. It is found in nutrient-rich surface and coastal waters, with a global distribution. It can form algal blooms that, although beneficial in moderate levels, can cause eutrophication and produce toxins in excess. It is used in studies of water quality and marine ecosystem health.

por/by **Rafael Fernández Nava**



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Director General: *Dr. Arturo Reyes Sandoval*

Secretario General: *Ing. Arq. Carlos Ruiz Cárdenas*

Secretario Académico: *Mtro. Mauricio Igor Jasso Zaranda*

Secretario de Innovación e Integración Social: *M. en C. Ricardo Monterrubio López*

Secretario de Investigación y Posgrado: *Dra. Laura Arreola Mendoza*

Secretario de Servicios Educativos: *Dra. Ana Lilia Coria Páez*

Secretario de Administración: *M. en C. Javier Tapia Santoyo*

Director de Educación Superior: *Dra. María Guadalupe Ramírez Sotelo*

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Director:

Dr. Isaac Juan Luna Romero

Subdirectora Académica:

M. en C. Martha Patricia Cervantes Cervantes

Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación:

Dr. Gerardo Aparicio Ozores

Subdirector de Servicios Educativos e Integración Social:

Biól. Gonzalo Galindo Becerril

POLIBOTÁNICA, Año 29, No. 58, julio 2024, es una publicación semestral editada por el Instituto Politécnico Nacional, a través de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas C.P. 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F. Teléfono 57296000 ext. 62331. <http://www.herbario.encb.ipn.mx/>, Editor responsable: Rafael Fernández Nava. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2015-011309001300-203. ISSN impreso: 1405-2768, ISSN digital: 2395-9525, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de informática de la ENCB del IPN, Rafael Fernández Nava, Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas CP 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Politécnico Nacional.

REVISTA BOTÁNICA INTERNACIONAL DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

EDITOR EN JEFE

Rafael Fernández Nava

EDITORA ASOCIADA

María de la Luz Arreguín Sánchez

COMITÉ EDITORIAL INTERNACIONAL

Christiane Anderson
University of Michigan
Ann Arbor, Michigan, US

Delia Fernández González
Universidad de León
León, España

Heike Vibrans
Colegio de Postgraduados
Estado de México, México

José Angel Villarreal Quintanilla
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Saltillo, Coahuila, México

Hugo Cota Sánchez
University of Saskatchewan
Saskatoon, Saskatchewan, Canada

Luis Gerardo Zepeda Vallejo
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, México

Fernando Chiang Cabrera
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad de México, México

Claude Sastre
Muséum National d'Histoire Naturelle
Paris, Francia

Thomas F. Daniel
California Academy of Sciences
San Francisco, California, US

Mauricio Velayos Rodríguez
Real Jardín Botánico
Madrid, España

Francisco de Asis Dos Santos
Universidad Estadual de Feira de Santana
Feira de Santana, Brasil

Noemí Waksman de Torres
Universidad Autónoma de Nuevo León
Monterrey, NL, México

Carlos Fabián Vargas Mendoza
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, México

Julieta Carranza Velázquez
Universidad de Costa Rica
San Pedro, Costa Rica

José Luis Godínez Ortega
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad de México, México

Tom Wendt
University of Texas
Austin, Texas, US

José Manuel Rico Ordaz
Universidad de Oviedo
Oviedo, España

Edith V. Gómez Sosa
Instituto de Botánica Darwinion
Buenos Aires, Argentina

Edith V. Gómez Sosa
Instituto de Botánica Darwinion
Buenos Aires, Argentina

Dr. Juan Ramón Zapata Morales
Universidad de Guanajuato
Guanajuato, México

Jorge Llorente Bousquets
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad de México, México

DISEÑO Y FORMACIÓN ELECTRÓNICA

Luz Elena Tejeda Hernández

OPEN JOURNAL SYSTEM Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Pedro Aráoz Palomino

POLIBOTÁNICA, revista botánica internacional del Instituto Politécnico Nacional, incluye exclusivamente artículos que representen los resultados de investigaciones originales en el área. Tiene una periodicidad de dos números al año, con distribución y Comité Editorial Internacional.

Todos los artículos enviados a la revista para su posible publicación son sometidos por lo menos a un par de árbitros, reconocidos especialistas nacionales o internacionales que los revisan y evalúan y son los que finalmente recomiendan la pertinencia o no de la publicación del artículo, cabe destacar que este es el medio con que contamos para cuidar el nivel y la calidad de los trabajos publicados.

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS

Se aceptarán aquellos originales que se ajusten a las prescripciones siguientes:

POLIBOTÁNICA incluye exclusivamente artículos que representen los resultados de investigaciones originales que no hayan sido publicados.

1. El autor deberá anexar una carta membretada y firmada dirigida al Editor, donde se presente el manuscrito, así como la indicación de que el trabajo es original e inédito, ya que no se aceptan trabajos publicados o presentados anterior o simultáneamente en otra revista, circunstancia que el autor(es) deberá declarar expresamente en la carta de presentación de su artículo.
2. Al quedar aceptado un trabajo, su autor no podrá ya enviarlo a ninguna otra revista nacional o extranjera.
3. Los artículos deberán estar escritos en español, inglés, francés o portugués. En el caso de estar escritos en otros idiomas diferentes al español, deberá incluirse un amplio resumen en este idioma.
4. Como parte de los requisitos del CONACYT, POLIBOTÁNICA ahora usa la plataforma del Open Journal System (OJS); para la gestión de los artículos sometidos a la misma. Así que le solicitamos de la manera más atenta sea tan amable de registrarse y enviar su artículo en la siguiente liga: www.polibotanica.mx/ojs/index.php/polibotanica
 - a) cargar el trabajo en archivo electrónico de office-word, no hay un máximo de páginas con las siguientes características:
 - b) en páginas tamaño carta, letra times new roman 12 puntos a doble espacio y 2 cm por margen
5. Las figuras, imágenes, gráficas del trabajo deben estar incluidas en el documento de Word original:
 - a) en formato jpg
 - b) con una resolución mínima de 300 dpi y un tamaño mínimo de 140 mm de ancho
 - c) las letras deben estar perfectamente legibles y contrastadas
6. Todo trabajo deberá ir encabezado por:
 - a) Un título tanto en español como en inglés que exprese claramente el problema a que se refiere. El formato para el título es: negritas, tamaño 14 y centrado;
 - b) El nombre del autor o autores, con sus iniciales correspondientes, sin expresión de títulos o grados académicos. El formato para los autores es: alineados a la izquierda, cada uno en un párrafo distinto y tamaño 12. Cada autor debe tener un número en formato superíndice indicando a qué afiliación pertenece;
 - c) La designación del laboratorio e institución donde se realizó el trabajo. La(s) afiliación(es) debe(n) estar abajo del grupo de autores. Cada afiliación deberá estar en un párrafo y tamaño

12. Al inicio de cada afiliación estará el número en superíndice que lo relaciona con uno o más autor/es.

d) El autor para correspondencia deberá estar en el siguiente párrafo, alineado a la izquierda, tamaño 12.

7. Todo trabajo deberá estar formado por los siguientes capítulos:

a) RESUMEN y ABSTRACT. Palabras clave y Key Words. El resumen debe venir después de la afiliación de los autores, alineado a la izquierda, tamaño 12. La palabra “Resumen: / Abstract:” debe venir en negritas y con dos puntos. El texto del resumen debe empezar en el párrafo siguiente, tamaño 12 y justificado. El texto “Palabras clave / Key Words:” debe venir en negritas seguido de dos puntos. Cada una de las palabras clave deben estar separadas por coma o punto y coma, finalizadas por punto.

b) INTRODUCCIÓN y MÉTODOS empleados. Cuando se trate de técnicas o métodos ya conocidos, solamente se les mencionará por la cita de la publicación original en la que se dieron a conocer. El formato para todas las secciones en esta lista es: negritas, tamaño 16 y centrado.

c) RESULTADOS obtenidos. Presentación acompañada del número necesario de gráficas, tablas, figuras o diagramas de tamaño muy cercano al que tendrá su reproducción impresa (19 x 14 cm).

d) DISCUSIÓN concisa de los resultados obtenidos, limitada a lo que sea original y a otros datos relacionados directamente y que se consideren nuevos.

e) CONCLUSIONES.

ESPECIFICACIONES DE FORMATO PARA EL CUERPO DEL TRABAJO

1. Secciones/Subtítulos de párrafo: Fuente tamaño 16, centrado, en negritas, con la primera letra en mayúscula.
2. Subsecciones/Subtítulos de párrafo secundarios : Fuente tamaño 14, centrado, en negritas, con la primera letra en mayúscula. Cuando existan subsecciones de subsección formatear en tamaño 13 negrita y centrado.
3. Cuerpo del texto: Fuente tamaño 12, justificado. NO debe haber saltos de línea entre párrafos.
4. Las notas de pie de página deben estar al final de cada página, fuente tamaño 12 justificadas.
5. Cita textual con mas de tres líneas: Fuente tamaño 12, margen izquierdo de 4 cm.
6. Título de imágenes: Fuente tamaño 12, centrado y en negritas, separado por dos puntos de su descripción. Descripción de las imágenes: tamaño 12.
7. Notas al pie de las imágenes: Fuente tamaño 12 y centradas con respecto a la imagen, la primera letra debe estar en mayúsculas.
8. Imágenes: deben estar en el cuerpo del texto, insertadas en formato png o jpg, a por lo menos 300 dpi de resolución y centradas. Las imagenes deben estar en línea con el texto. Se consideran imágenes: gráficos, cuadros, fotografías, diagramas y, en algunos casos, tablas y ecuaciones.
9. Tablas de tipo texto: El título de las columnas de las tablas debe estar en negritas y los datos del cuerpo de la tabla con fuente normal. Los nombres científicos deben estar en *italicas*. Se recomienda utilizar las Tablas como imágenes, estas deberán de ir centradas (a por lo menos 300 dpi de resolución).
10. Notas al pie de la tabla: Fuente tamaño 12 y centradas con respecto a la tabla, la primera letra debe estar en mayúsculas.
11. Ecuaciones pueden estar en Mathtype 1 o en imagen. En este último caso, seguir instrucciones del punto 8.
12. Citas del tipo autor y año deben estar entre paréntesis, con el apellido del autor seguido por el año (Souza, 2007), primera letra en mayúscula.

- 8. LITERATURA CITADA**, Se tomara como base el Estilo APA para las Referencias Bibliográficas, formada por las referencias mencionadas en el texto del trabajo y en orden alfabético. Es obligatorio utilizar Mendeley® (software bibliográfico). El propósito de utilizar este tipo de software es asegurar que los datos contenidos en las referencias están correctamente estructurados y corresponden a las citas del cuerpo del texto.

ESTRUCTURA Y FORMATO DE LOS AGRADECIMIENTOS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Los Agradecimientos deberán estar después de la última sección del cuerpo del texto. Esta información debe tener como título la palabra “Agradecimientos”, o su equivalente en otro idioma, en negritas, tamaño 12 y centrado. El texto de esta información debe estar en tamaño 12 justificado.
2. Las Referencias bibliográficas deben estar en orden alfabético sin salto de línea de párrafo, alineados a la izquierda, en tamaño 12.
3. Apéndices, anexos, glosarios y otros materiales deben incluirse después de las referencias bibliográficas. En caso de que estos materiales sean extensos deberán ser creados como archivos PDF.

9. REVISIÓN Y PUBLICACIÓN

Todos los artículos enviados a la revista para su posible publicación serán sometidos a una revisión “doble ciego”, se enviarán por lo menos a un par de árbitros, reconocidos especialistas nacionales o internacionales que los revisarán y evaluarán y serán los que finalmente recomienden la pertinencia o no de la publicación del artículo, cabe destacar que este es el medio con que contamos para cuidar el nivel y la calidad de los trabajos publicados.

Una vez aceptado el trabajo, se cobrarán al autor(es) \$299 por página más IVA, independientemente del número de fotografías que contenga.

PUBLICATION GUIDELINES

POLIBOTÁNICA, an international botanical journal supported by the National Polytechnic Institute, only publishes material resulting of original research in the botanic area. It has a periodicity of two issues per year with international distribution and an international Editorial Committee.

All articles submitted to POLIBOTÁNICA for publication are reviewed by at least a couple of referees. National or international recognized experts will evaluate all submitted materials in order to recommend the appropriateness or otherwise of a publication. Therefore, the quality of published papers in POLIBOTÁNICA is of the highest international standards.

FOR PUBLICATION OF ARTICLES

Originals that comply with the following requirements will be accepted:

1. POLIBOTÁNICA includes only items that represent the results of original research which have not been published. The author should attach an official and signed letter to Editor stating that the work is original and unpublished. We do not accept articles published or presented before or simultaneously in another journal, a fact that the author (s) must expressly declare in the letter.
2. When an article has been accepted, the author can no longer send it to a different national or foreign journal.
3. Articles should be written in Spanish, English, French or Portuguese. In the case of be written in

languages other than Spanish, it should include an abstract in English.

4. The article ought to be sent to the POLIBOTÁNICA's Open Journal System <http://www.polibotanica.mx/ojs> in an office-word file without a maximum number of pages with the following features:

a) on letter-size pages, Times New Roman font type, 12-point font size, double-spaced and 2 cm margin

5. The figures, images, graphics in the article must be attached as follows:

a) in jpg format

b) with a minimum resolution of 300 dpi and a minimum size of 140 mm wide

c) all characters must be legible and contrasted

6. All articles must include:

a) a title in both Spanish and English that clearly express the problem referred to. The format for this section is: bold, font size 14 and centered.;

b) the name of the author or authors, with their initials, no titles and no academic degrees. The format for this section is: font size 12, aligned to the left, each name in a different paragraph but without spaces in-between and a superscript number indicating the affiliation;

c) complete affiliations of all authors (including laboratory or research institution). The format for this section is: font size 12, aligned to the left, each name in a different paragraph but without spaces in-between and a superscript number at the beginning of the affiliation;

d) correspondence author should be in the next paragraph, font size 12 and aligned to the left.

7. All work should be composed of the following chapters:

a) RESUMEN and ABSTRACT. Palabras clave y Key Words. The format for this section is: bold, font size 12 and centered. Both words (RESUMEN: and ABSTRACT:) must include a colon, be in bold and aligned to the left. The body of the abstract must be justified and in font size 12. Both palabras clave: and keywords: must include a colon, be in bold and aligned to the left. Keywords must be separated by a comma or semicolon, must be justified and in font size 12.

b) INTRODUCTION y METHODS. In the case of techniques or methods that are already known, they were mentioned only by appointment of the original publication in which they were released.

c) RESULTS. Accompanied with presentation of the required number of graphs, tables, figures or diagrams very close to the size which will be printed (19 x 14 cm).

d) DISCUSSION. A concise discussion of the results obtained, limited to what is original and other related directly and considered new data.

e) CONCLUSIONS. The format for sections Introduction, Results, Discussion and Conclusions is: bold, font size 16 and centered.

FORMAT SPECIFICATIONS FOR THE BODY OF WORK

1. Sections: Font size 16, centered, bold, with the first letter capitalized.
2. Subsections / Secondary Subtitles: Font size 14, centered, bold, with the first letter capitalized. When there are second grade subsections format in size 13 bold and centered.
3. Body: Font size 12, justified. There should NOT be line breaks between paragraphs.
4. Footnotes should be at the bottom of each page, font size 12 and justified.
5. Textual quotation with more than three lines: Source size 12, left margin of 4 cm.
6. Image Title: Font size 12, centered and bold, separated by two points from its description. Description of the images: size 12.
7. Images Footnotes: Font size 12 and centered with respect to the image, the first letter must be in capital letters.
8. Images: must be in the body of the text, inserted in png or jpg format, at least 300 dpi resolution and centered. Images should be in line with the text. Graphs, charts, photographs, diagrams and, in some cases, tables and equations are considered images.
9. Text Tables: Only The title of the columns of the tables must be in bold. Scientific names must be in italics. It is recommended to use the Tables as images, they should be centered (at least 300 dpi resolution).
10. Footnotes: Font size 12 and centered with respect to the table, the first letter must be in upper case.
11. Equations can be in Mathtype 1 or in image. In the latter case, follow the instructions in point 8.
12. Quotations of the author and year type must be in parentheses, with the author's last name followed by the year (Souza, 2007), first letter in capital letters.

8. LITERATURE CITED. All references must be cited using the APA stile. POLIBOTÁNICA requires the use of Mendeley® (free reference manager) for the entire bibliography.

STRUCTURE AND FORMAT OF ACKNOWLEDGMENTS AND BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

1. Acknowledgments must be after the last section of the body of the text. This information should be titled the word "Acknowledgments", or its equivalent in another language, in bold, size 12 and centered. The text of this information must be in size 12 justified.
2. Bibliographical references should be in alphabetical order without paragraph line jump, aligned to the left, in size 12.
3. Appendices, annexes, glossaries and other materials should be included after the bibliographic references. If these materials are extensive they should be created as PDF files.

9. REVIEW AND PUBLICATION

All articles submitted to the journal for publication will undergo a review "double-blind", they will be sent at least a couple of referees, recognized national or international experts that reviewed and evaluated and will be finally recommended the relevance or the publication of the article, it is noteworthy that this is the means that we have to take care of the level and quality of published articles.

Once accepted the article, the author will be charged \$15 USD per text page, regardless of how many pictures it contains.

Toda correspondencia relacionada con la revista deberá ser dirigida a:

Dr. Rafael Fernández Nava
Editor en Jefe de

POLIBOTÁNICA

Departamento de Botánica
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional
Apdo. Postal 17-564, CP 11410, Ciudad de México

Correo electrónico:
polibotanica@gmail.com
rfernand@ipn.mx

Dirección Web
http://www.polibotanica.mx

POLIBOTÁNICA es una revista indexada en:

CONAHCYT, índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología.

SciELO - Scientific Electronic Library Online.

Google Académico - Google Scholar.

DOAJ, Directorio de Revistas de Acceso Público.

Dialnet portal de difusión de la producción científica hispana.

REDIB Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico.

LATINDEX, Sistema regional de información en línea para revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.

PERIODICA, Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.



PRIMEROS REGISTROS DE DINOFLAGELADOS DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA ISLA GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

FIRST RECORDS OF DINOFLAGELLATES FROM THE GUADALUPE ISLAND BIOSPHERE RESERVE, BAJA CALIFORNIA, MEXICO

López-Fuerte, Francisco Omar; Yuri Okolodkov; Ismael Gárate-Lizárraga; Demetrio Boltovskoy; Sergio Flores-Ramírez y Ricardo Yabur

PRIMEROS REGISTROS DE DINOFLAGELADOS DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA ISLA GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

FIRST RECORDS OF DINOFLAGELLATES FROM THE GUADALUPE ISLAND BIOSPHERE RESERVE, BAJA CALIFORNIA, MEXICO



Primeros registros de dinoflagelados de la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe, Baja California, México

First records of dinoflagellates from the Guadalupe Island Biosphere Reserve, Baja California, Mexico

Francisco Omar López Fuerte;
Yuri Okolodkov;
Ismael Gárate-Lizárraga;
Demetrio Boltovskoy;
Sergio Flores-Ramírez y
Ricardo Yabur

PRIMEROS REGISTROS DE
DINOFLAGELADOS DE LA
RESERVA DE LA BIOSFERA
ISLA GUADALUPE, BAJA
CALIFORNIA, MÉXICO

FIRST RECORDS OF
DINOFLAGELLATES FROM
THE GUADALUPE ISLAND
BIOSPHERE RESERVE,
BAJA CALIFORNIA,
MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 1-15. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.1

Francisco Omar López-Fuerte. Autor de correspondencia: alopez@cibnor.mx
<https://orcid.org/0000-0002-0828-9107>

Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento Académico de Biología Marina, La Paz, Baja California Sur, México

Yuri Okolodkov <https://orcid.org/0000-0003-3421-3429>

Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías (ICIMAP-UV), Laboratorio de Botánica Marina y Planctología, Boca del Río, Veracruz, México

Ismael Gárate-Lizárraga / igarate@ipn.mx
<https://orcid.org/0000-0002-3835-183X>

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (IPN-CICESE), La Paz, Baja California Sur, México

Demetrio Boltovskoy <https://orcid.org/0000-0003-3484-2954>

Departamento de Ecología, Genética y Evolución, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

Sergio Flores-Ramírez <https://orcid.org/0000-0002-0940-180X>

Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento Académico de Biología Marina, La Paz, Baja California Sur, México

Ricardo Yabur <https://orcid.org/0000-0002-1315-7475>

Universidad Olmeca, Carretera Villahermosa–Macuspana km 14, Poblado Dos Montes, Tabasco, México

RESUMEN: La Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe (RBIG) se localiza a 241 km de la costa occidental de México, siendo uno de los territorios insulares más distante del país. Por lo tanto, el estudio de su biodiversidad en el contexto biogeográfico resulta de gran interés. El objetivo del presente estudio fue presentar los primeros registros de dinoflagelados de la RBIG. Se enlistan e ilustran 34 especies y taxones infraespecíficos de dinoflagelados. Todas las especies ya han sido registradas para las aguas costeras mexicanas y dos de ellas, *Dinophysis tripos* y *Phalacroma mitra*, se han reportado en la literatura, como productoras de toxinas. Este estudio representa el primer aporte al conocimiento de los dinoflagelados de la RBIG.

Palabras clave: área natural protegida, fitoplancton, océano Pacífico, riqueza de especies.

ABSTRACT: The Guadalupe Island Biosphere Reserve (RBIG) is located 241 km from Mexico's western coast and is thus one of the most distant island territories in the country. Therefore, studying its biodiversity is of great interest in a biogeographic context. This study aimed to present the first records of dinoflagellates found in the RNIG. Thirty-four dinoflagellate species and infraspecific taxa were reported and illustrated. All species have been previously recorded in Mexican coastal waters, and two of them, *Dinophysis tripos* and *Phalacroma mitra*, have been reported in the literature as toxin producers.

This study represents the first contribution to the knowledge of dinoflagellates in the RBIG.

Key words: natural protected area, phytoplankton, Pacific Ocean, species richness.

INTRODUCCIÓN

En las aguas del océano Pacífico Norte, la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe (RBIG), localizada a 241 km de la costa de la península de Baja California, así como las Islas Revillagigedo, son los territorios insulares mexicanos más distantes del continente, lo que hace que, en términos biogeográficos, el conocimiento de su biodiversidad (macro y micro) sea de particular interés, aunque su investigación es logística y operativamente muy compleja (e.g., accesibilidad limitada y onerosa, necesidad de gestionar las autorizaciones correspondientes, etc.). La zona costera de la isla presenta remolinos (por un efecto de barrera) y surgencias provenientes de la corriente de California. Ambos procesos favorecen el aporte de nutrientes y promueven así el desarrollo de los productores primarios (fitoplancton y fitobentos) de manera que se establece una base trófica lo suficientemente nutritiva para alimentar desde microorganismos hasta depredadores tope, e.g., mamíferos marinos y escualiformes (Berdegué, 1957; Lynn & Simpson, 1987). Si bien es cierto que para la RBIG existen algunos esfuerzos históricos sobre investigaciones, estas suelen centrarse en recursos de interés pesquero, como abulones (*Haliotis* spp.) y langosta roja (*Panulirus interruptus* Randall), así como de especies carismáticas (mamíferos marinos) y con potencial de uso turístico, como el tiburón blanco (*Carcharodon carcharias* L.). En lo que respecta a otros grupos taxonómicos, los estudios son muy escasos. Por ejemplo, para la RBIG solo existen tres publicaciones sobre microalgas. En una de ellas se registra por primera vez y amplía el rango geográfico de distribución del cocolitifórido *Scyphosphaera apsteinii* Lohmann (López-Fuerte *et al.*, 2015a), mientras que en los otros dos trabajos se aborda el estudio de las diatomeas bentónicas y planctónicas (López-Fuerte *et al.*, 2015b; López-Fuerte *et al.*, 2021).

Si bien es cierto que las diatomeas son uno de los componentes de fotoautótrofos microscópicos más representativo, tanto del ambiente bentónico como del planctónico, otros componentes microalgales, como los dinoflagelados, también tienen un papel ecológico destacado, y además éstos ocupan el segundo lugar en lo que respecta a la riqueza específica y la abundancia dentro del fitoplancton marino (Okolodkov & Gárate-Lizárraga, 2006). Por otra parte, los dinoflagelados adquieren mayor notoriedad por incluir especies que pueden afectar la salud humana y recursos pesqueros de alto valor comercial mediante la formación de florecimientos algales nocivos (FAN), confiriéndoles así un interés particular en términos bioeconómicos (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2016; Hernández-Becerril *et al.*, 2021).

Debido a las dificultades logísticas mencionadas, el conocimiento sobre el fitoplancton en regiones apartadas como la RBIG resulta del muestreo oportunista asociado a proyectos de investigación, que no contemplan al fitoplancton como su objeto central de estudio (Quiñones-Peyro *et al.*, 2016). El objetivo del presente estudio fue presentar los primeros registros de dinoflagelados de la RBIG.

MATERIALES Y MÉTODOS

La RBIG se encuentra en el océano Pacífico subtropical este (28°58'26" N, 118°18'08" O). La temperatura de las aguas superficiales que rodean la isla oscila entre 15-20 °C en invierno y 20-22 °C en verano.

Derivado de un muestreo de oportunidad en el contexto del proyecto "Inventario de macroalgas de Isla Guadalupe, México", ISNIB-CONABIO, No. JF170, el 17 de enero de 2013, se realizó un arrastre superficial horizontal por cinco minutos con una red de fitoplancton de 20 µm de luz

de malla (diámetro de boca de 30 cm) en el sitio conocido como El Chango, en la parte norte de Isla Guadalupe (Figura 1).

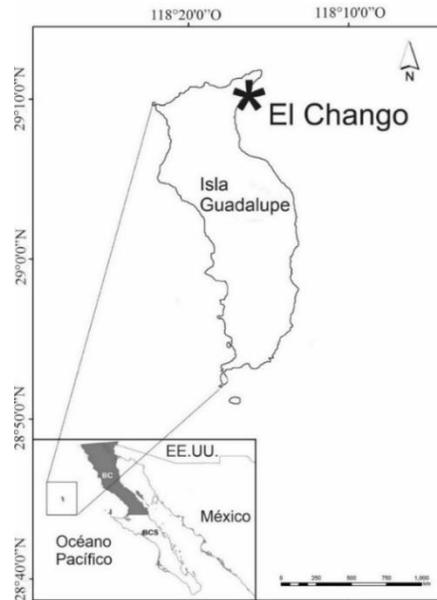


Figura 1. Sitio de muestreo El Chango, Isla Guadalupe, Baja California, México, enero de 2013.

Figure 1. El Chango sampling site at Guadalupe Island, Baja California, Mexico; January 2013.

La muestra recolectada mediante el arrastre se colocó en un frasco plástico de 250 ml, de la cual se tomó una alícuota de 3 ml (previa homogenización del contenido) para montar tres laminillas semipermanentes (López-Fuerte *et al.*, 2021), que fueron analizadas en el campo (Isla Guadalupe) el mismo día de la colecta con un microscopio monocular compuesto (AmScope, EE.UU.), equipado con objetivos planacromático 40x/0.65. Las observaciones se realizaron a una magnificación de 400x. Los organismos observados en las laminillas se fotografiaron con una cámara digital Nikon® COOLPIX 7100 (10.1 megapíxeles). Posteriormente, el resto de la muestra se preservó agregándole 5 ml de etanol comercial al 90%. Para la identificación taxonómica a nivel de especie se utilizó literatura especializada: (Balech, 1988; Omura, 2012; Schiller, 1933, 1937; Steidinger & Jangen, 1997; Taylor, 1976). La taxonomía se conformó y actualizó siguiendo los recursos electrónicos www.species.org (WoRMS Editorial Board, 2023) y www.algaebase.org (Guiry & Guiry, 2023), y una publicación especializada (Gómez, 2013). Los registros sobre la toxicidad potencial de los dinoflagelados están basados en Lundholm *et al.*, (2009).

RESULTADOS

Se encontraron 34 especies y taxones infraespecíficos pertenecientes al phylum Dinoflagellata en la RBIG. En la Tabla 1 se presenta el listado taxonómico de los dinoflagelados identificados en la RBIG recolectados, y se señala aquellos con registros previos en golfo de México (GM) y Pacífico mexicano (PM), y si han sido registrados como productores de toxinas. Los dinoflagelados del orden Gonyaulacales con 18 taxones representan el 53% del total de los registros, seguidos por Dinophysales y Peridiniales con nueve (26%) y siete (21%) taxones, respectivamente. A nivel familia y género, estos están representados por nueve y 11 taxones, respectivamente. Un taxón se identificó solo a nivel de género y cinco géneros estuvieron representados por un solo taxón (especie, variedad o forma). Tres géneros, *Tripos*, *Dinophysis* y *Protoperidinium* con 14, 5 y 4 taxones, respectivamente, representaron el 66% del total de las especies y taxones infraespecíficos.

Tabla 1. Dinoflagelados de la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe (enero de 2013). Abreviaturas: registros previos en golfo de México (GM) y Pacífico mexicano (PM); no registrado como productor de toxinas (T-); registrado como productor de toxinas (T+).

Table 1. Dinoflagellates from the Guadalupe Island Biosphere Reserve (January 2013). Abbreviations: previous records in the Gulf of Mexico (GM) and the Mexican Pacific (MP); (T-) not recorded as toxin-producer; (T+) recorded as toxin-producer.

Orden	Familia	Taxón
Dinophysales	Dinophysaceae	<i>Dinophysis argus</i> (F. Stein) T.H. Abé 1967 (GM, T-) (Figura 2, a-b)
		<i>Dinophysis</i> sp. (GM, PM; T-) (Figura 2, c-d)
		<i>Dinophysis schroederi</i> Pavill. 1909 (PM; T-) (Figura 2, e)
		<i>Dinophysis schuettii</i> G. Murray et Whitting 1899 (PM; T-) (Figura 2, f)
		<i>Dinophysis tripos</i> Gourret 1883 (PM; T+) (Figura 2, g)
	Protopteridiniaceae	<i>Ornithocercus magnificus</i> F. Stein 1883 (PM; T-) (Figura 2, h-i)
		<i>Protopteridinium</i> cf. <i>curvipes</i> (Ostenf.) E. Balech 1974 (PM; T-) (Figura 2, j-k)
	Oxyphysaceae	<i>Phalacroma</i> cf. <i>equalanti</i> (Balech) Okolodkov 2014 (GM; T-) (Figura 2, l)
		<i>Phalacroma mitra</i> F. Schütt 1895 (GM, PM; T+) (Figura 2, m)
	Amphisoleniaceae	<i>Amphisolenia bidentata</i> Schröd. 1900 (GM, PM, T-) (Figura 3, a-c)
Protoceratiaceae	<i>Gonyaulax polygramma</i> F. Stein 1883 (PM; T-) (Figura 4, a-d)	
	<i>Gonyaulax</i> cf. <i>sphaeroidea</i> Kof. 1911 (PM; T-) (Figura 4, e-f)	
Oxyphysaceae	<i>Ceratocorys horrida</i> F. Stein 1883 (GM, PM; T-) (Figura 5, a-c)	
Pyrocystaceae	<i>Triadinium polyedricum</i> (Pouchet) J.D. Dodge 1981 (PM; T-) (Figura 5, d-f)	
Gonyaulacales	Ceratiaceae	<i>Tripos contortus</i> (Gourret) F. Gómez var. <i>longinus</i> (G. Karst.) F. Gómez 2013 (GM; T-) (Figura 6, a)
		<i>Tripos contortus</i> (Gourret) F. Gómez 2013 (GM; T-) (Figura 6, b)
		<i>Tripos hexacanthus</i> (Gourret) F. Gómez 2013 (PM; T-) (Figura 6, c, u-v)
		<i>Tripos declinatus</i> (G. Karst.) F. Gómez, 2013 (Figura 3, e-f)
		<i>Tripos pulchellus</i> (Schröd.) F. Gómez 2021 (PM; T-) (Figura 6, g-h, w)
		<i>Tripos furca</i> (Ehrenb.) F. Gómez 2013 (PM; T-) (Figura 6, i)
		<i>Tripos fusus</i> (Ehrenb.) F. Gómez 2013 (PM; T-) (Figura 6, j)
		<i>Tripos azoricus</i> (Cleve) F. Gómez 2013 (PM; T-) (Figura 6, k, m-n)
		<i>Tripos gibberus</i> var. <i>dispar</i> (Pouchet) F. Gómez 2013 (PM; T-) (Figura 6, l)
		<i>Tripos muelleri</i> Bory 1825 var. <i>atlanticus</i> (Ostenf.) F. Gómez 2013 (GM; T-) (Figura 6, o-p, x)
		<i>Tripos gibberus</i> (Gourret) F. Gómez 2021 var. <i>gibberus</i> (PM; T-) (Figura 6, q)
		<i>Tripos contrarius</i> (Gourret) F. Gómez, 2013 (Figura 6, r-t)
		<i>Tripos arcuatus</i> (Gourret) F. Gómez 2021 (PM; T-) (Figura 6, y, aa)
<i>Tripos carriensis</i> (Gourret) F. Gómez, 2013 (PM; T-) (Figura 6, bb)		
<i>Tripos pentagonus</i> (Gourret) F. Gómez 2021 (PM; T-) (Figura 6, dd-ff)		
Peridinales	Protopteridiniaceae	<i>Protopteridinium divergens</i> (Ehrenb.) E. Balech 1974 (PM; T-) (Figura 7 a-d)
		<i>Protopteridinium</i> sp. (Figura 8, a-b)
	Podolampadaceae	<i>Podolampas bipes</i> F. Stein 1883 (PM; T-) (Figura 8, c-d)
		<i>Podolampas palmipes</i> F. Stein 1883 (PM; T-) (Figura 8, e-f)
	Protopteridiniaceae	<i>Protopteridinium</i> cf. <i>ovatum</i> Pouchet 1883 (PM; T-) (Figura 8, g)
Oxytoxaceae	<i>Corythodinium milneri</i> (G. Murray et Whitting) F. Gómez 2017 (PM; T-) (Figura 6 h)	

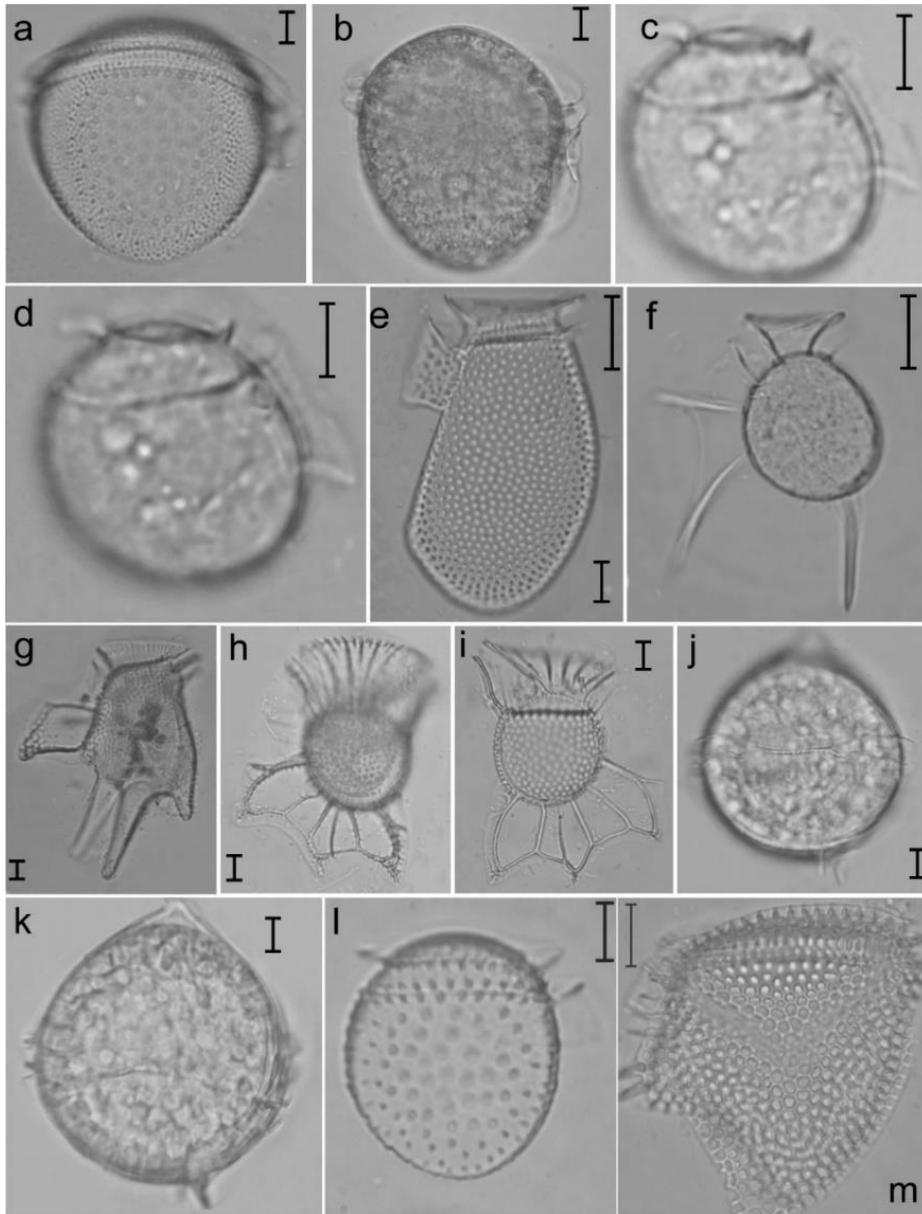


Figura 2. Dinoflagelados de la RGBI. a-b. Diferentes planos focales de *Dinophysis argus*. c-d. diferentes planos focales de *Dinophysis* sp., e. *D. schroederi* (la mitad izquierda de la teca, vista exterior), f. *D. schuettii* (vista del lado izquierdo), g. *D. tripos* (vista del lado izquierdo), h-i. *Ornithocercus magnificus*, vista del lado izquierdo; vista del lado derecho, j-k. diferentes planos focales de *Protoperidinium* cf. *curvipes*, l. *Phalacroma* cf. *equalanti* (la mitad izquierda de la teca; la placa H₂ se ve del lado interior), m. *P. mitra* (mitad izquierda de la teca, vista exterior). Escala = 10 μm.

Figure 2. Dinoflagellates of the RGBI. a-b. Different focal planes of *Dinophysis argus*. c-d. different focal planes of *Dinophysis* sp., e. *D. schroederi* (left half of theca, exterior view), f. *D. schuettii* (left side view), g. *D. tripos* (left side view), h-i. *Ornithocercus magnificus*, left side view; right side view, j-k. different focal planes of *Protoperidinium* cf. *curvipes*, l. *Phalacroma* cf. *equalanti* (left half of theca; plate H₂ is seen from the inner side), m. *P. mitra* (left half of theca, outer view). Scale = 10 μm.

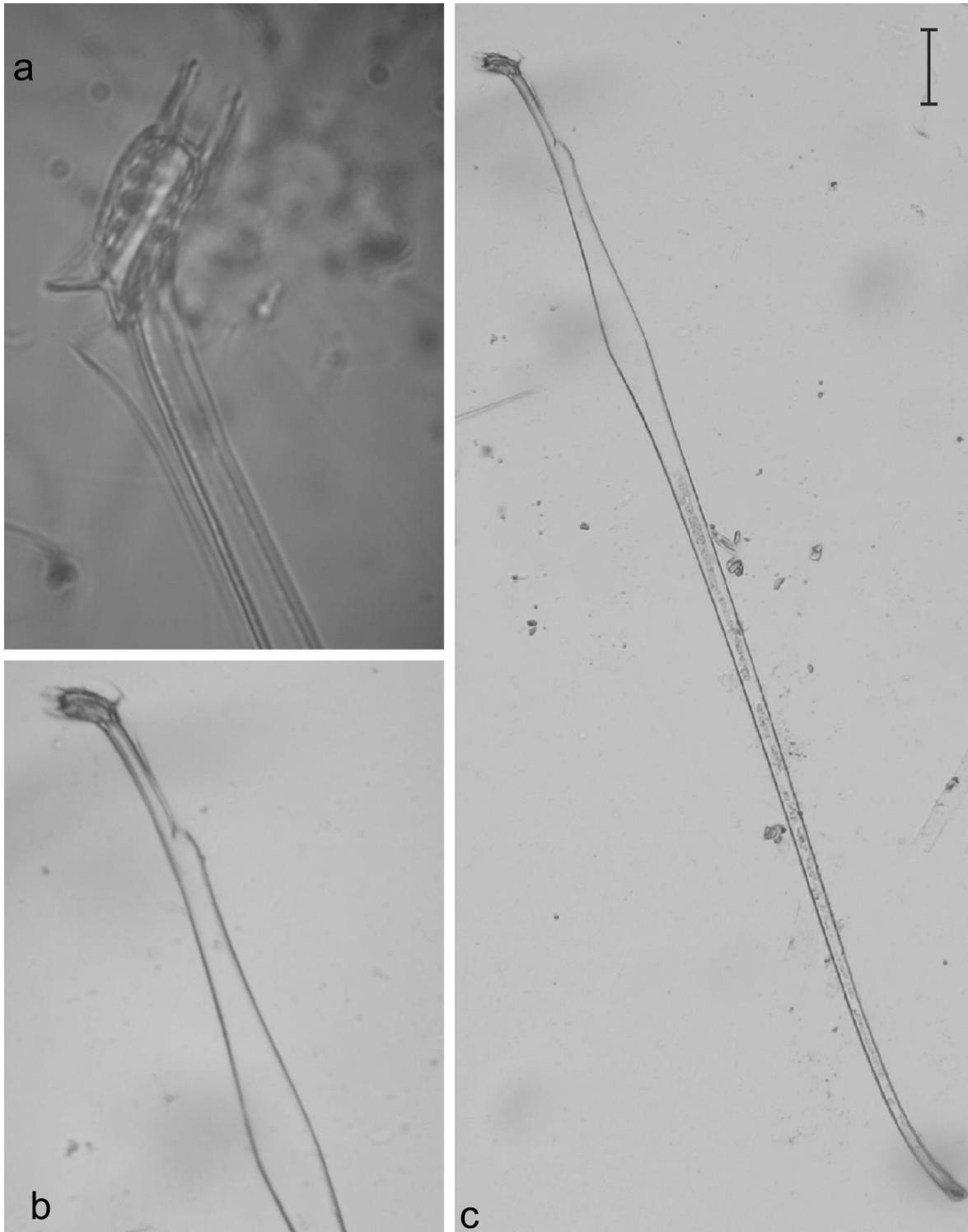


Figura 3. Dinoflagelados de la RGBI. a-c. Diferentes planos focales de *Amphisolenia bidentata*. Escala = 50 μm .
Figure 3. Dinoflagellates of the RGBI. a-c. Different focal planes of *Amphisolenia bidentata*. Scale = 50 μm .

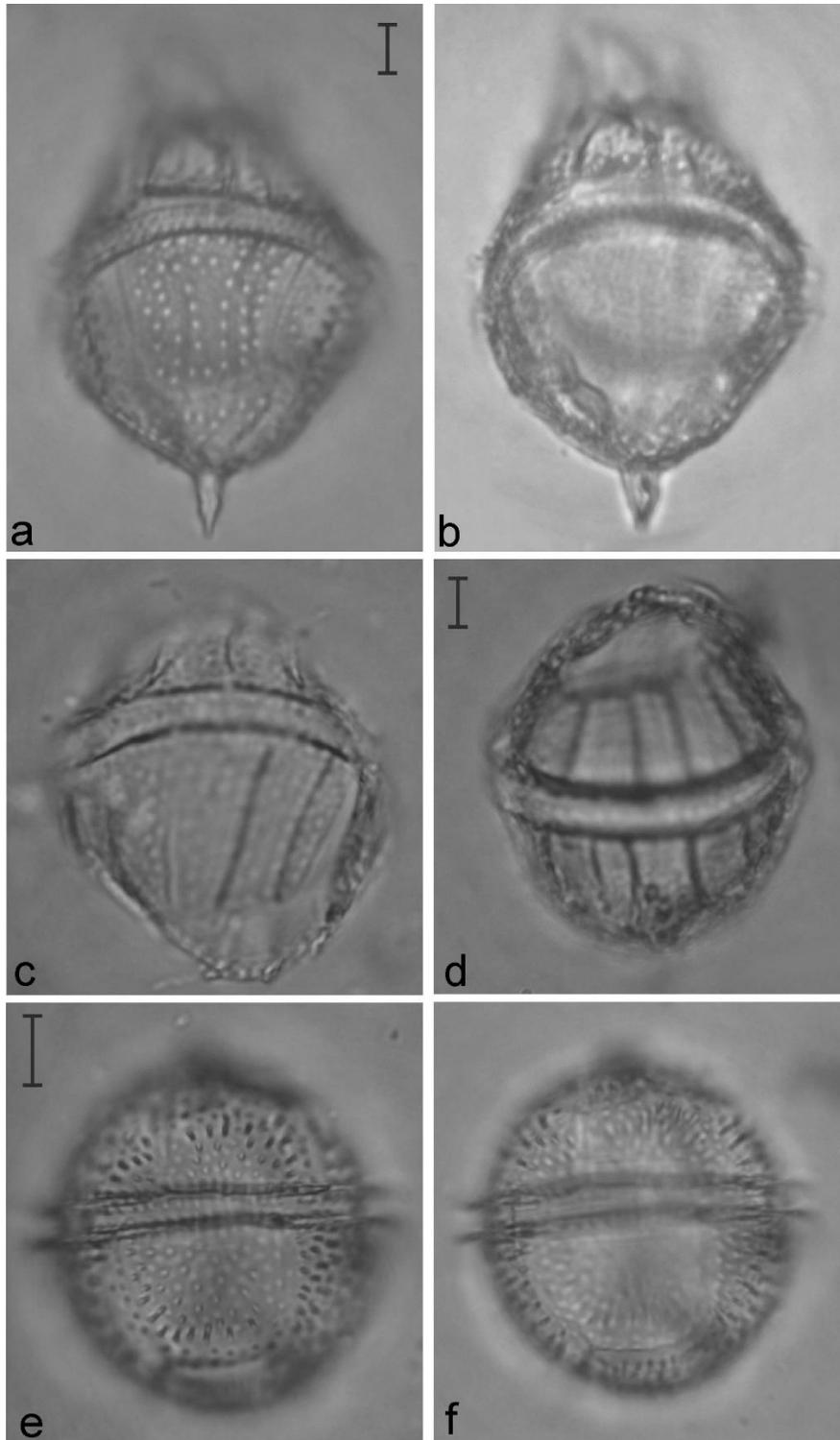


Figura 4. Dinoflagelados de la RGBI. a-d. Diferentes planos focales de *Gonyaulax polygramma*, e-f. Diferentes planos focales de *G. cf. sphaeroidea*. Escala = 10 μm .

Figure 4. Dinoflagellates of the RGBI. a-d. Different focal planes of *Gonyaulax polygramma*, e-f. Different focal planes of *G. cf. sphaeroidea*. Scale = 10 μm .

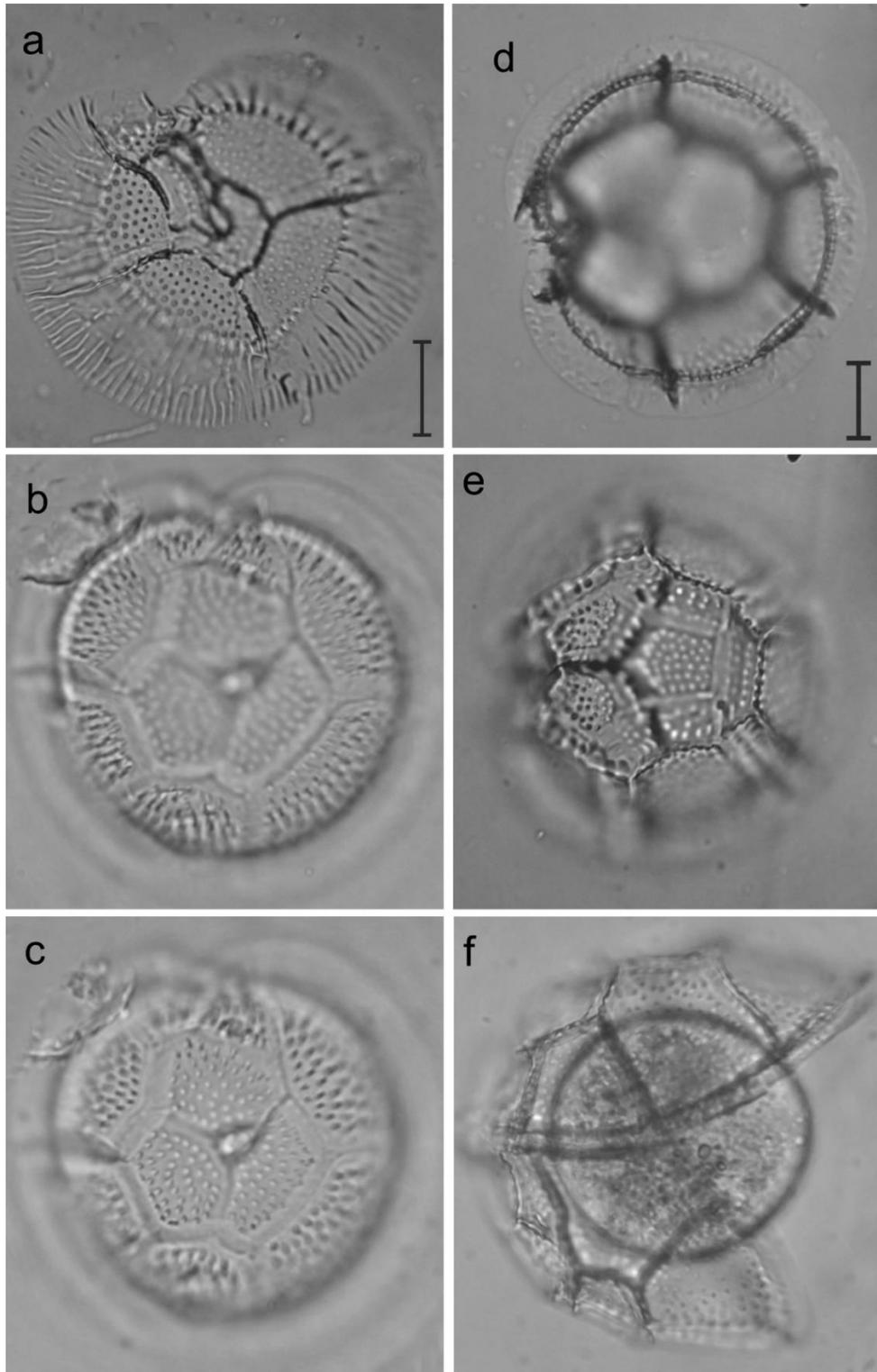


Figura 5. Dinoflagelados de la RGBI. a-c. Diferentes planos focales de *Ceratocorys horrida* en vista apical, d-f. Diferentes planos focales de *Triadinium polyedricum*. Escala = 10 μ m.

Figure 5. Dinoflagellates of the RGBI. a-c. Different focal planes of *Ceratocorys horrida* in apical view, d-f. Different focal planes of *Triadinium polyedricum*. Scale = 10 μ m.

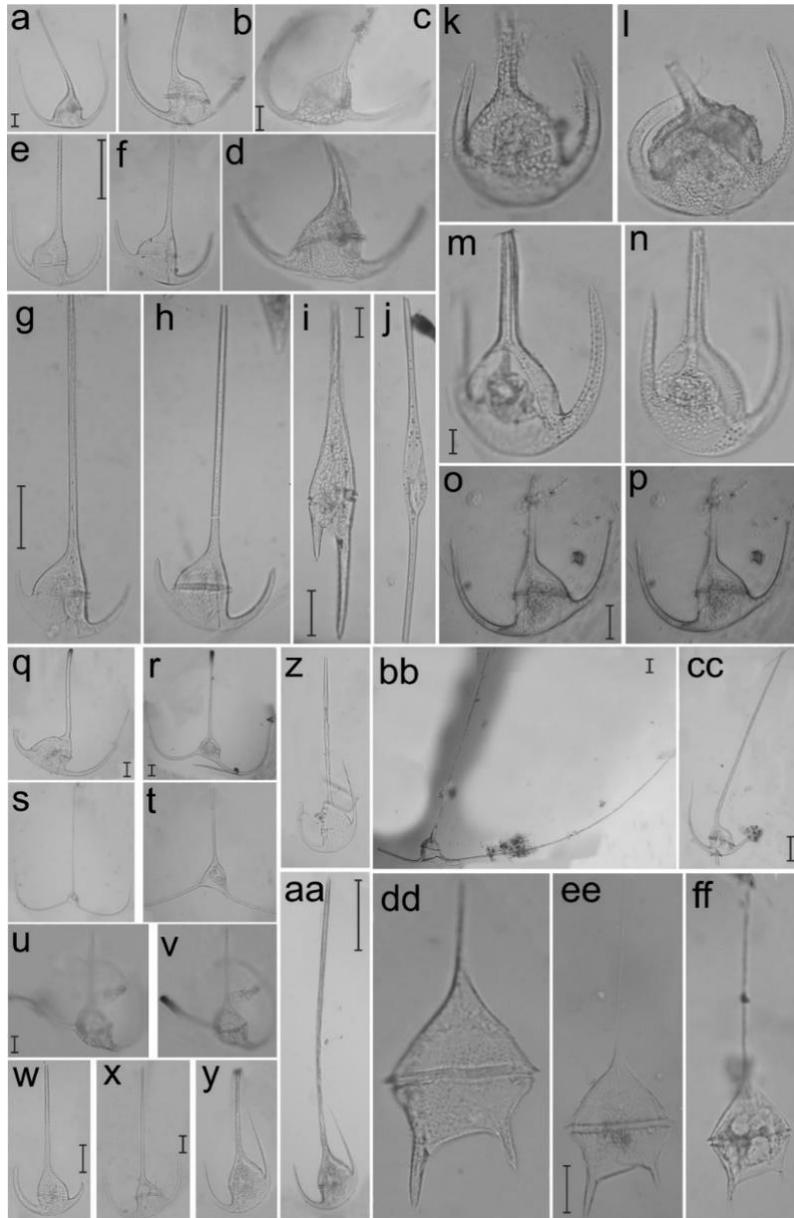


Figura 6. Dinoflagelados de la RGBI. a. *Tripos contortus* var. *longinus*, b. *T. contortus* var. *contortus*, c-d. *T. hexacanthus*, e-f. Diferentes planos focales de *T. declinatus*, g-h, w. Diferentes planos focales de *T. pulchellus*, i. *T. furca*, j. *T. fusus*, k, m-n. Diferentes planos focales de *T. azoricus*, l. *T. gibberus* var. *dispar*, o-p, x. Diferentes planos focales de *T. muelleri* var. *atlanticus*, q, cc. *Tripos gibberus* var. *gibberus*, r-t. Diferentes planos focales de *T. contrarius*, y-aa. Diferentes planos focales de *T. arcuatus*, bb. *T. carriensis*, dd-ff. Diferentes planos focales de *T. pentagonus*. Escala: figs. a, c, e, g, j, o, q-r, u, w, aa, bb, ee = 50 µm; figs. i, m, x, cc = 10 µm.

Figure 6. Dinoflagellates of the RGBI. a. *Tripos contortus* var. *longinus*, b. *T. contortus* var. *contortus*, c-d. *T. hexacanthus*, e-f. Different focal planes of *T. declinatus*, g-h, w. Different focal planes of *T. pulchellus*, i. *T. furca*, j. *T. fusus*, k, m-n. Different focal planes of *T. azoricus*, l. *T. gibberus* var. *dispar*, o-p, x. Different focal planes of *T. muelleri* var. *atlanticus*, q, cc. *Tripos gibberus* var. *gibberus*, r-t. Different focal planes of *T. contrarius*, y-aa. Different focal planes of *T. arcuatus*, bb. *T. carriensis*, dd-ff. Different focal planes of *T. pentagonus*. Scale: figs. a, c, e, g, j, o, q-r, u, w, aa, bb, ee = 50 µm; figs. i, m, x, cc = 10 µm.

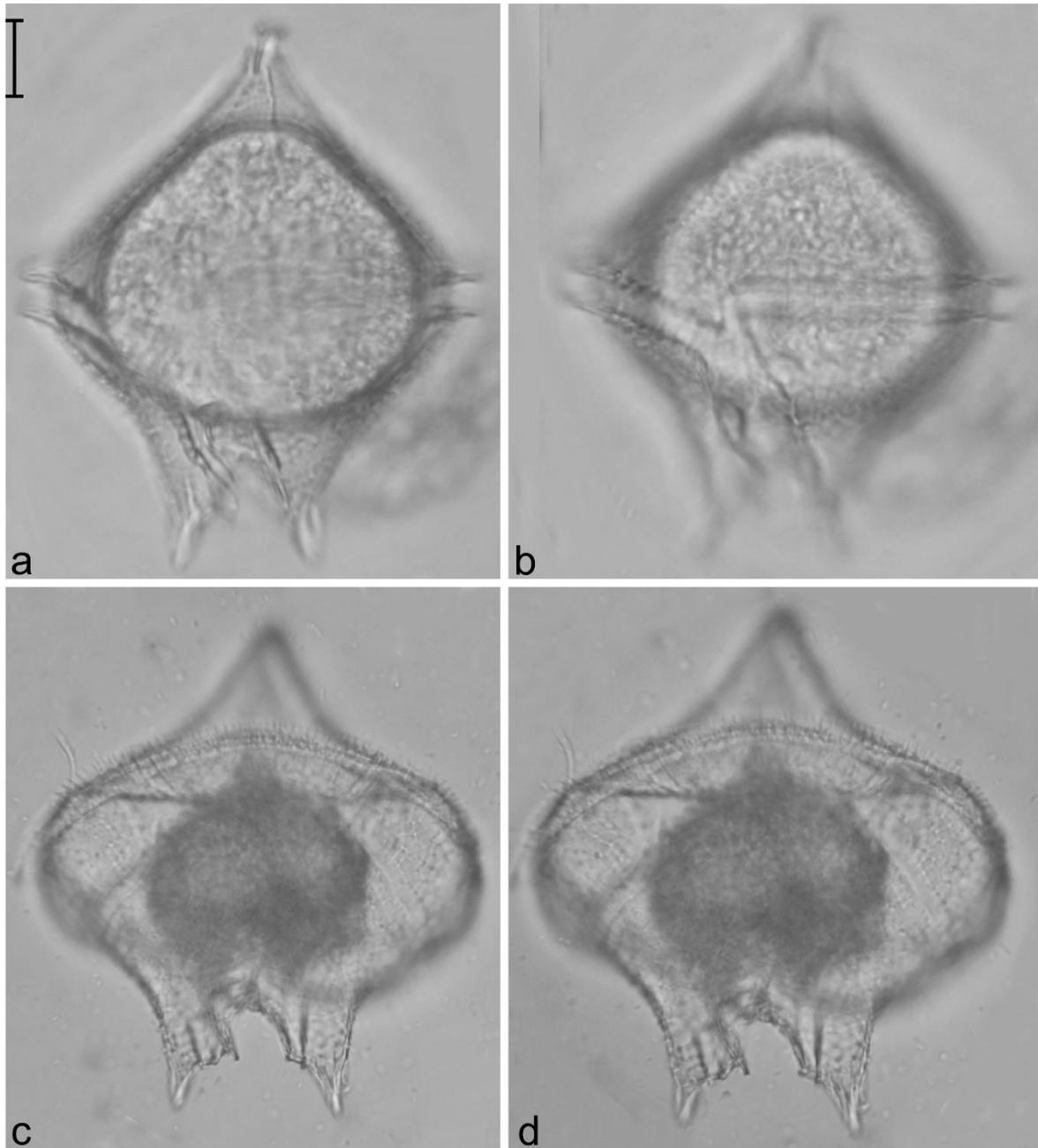


Figura 7. Dinoflagelados de la RGBI. a-d. Diferentes planos focales de *Protoperidinium divergens*. Escala = 10 μm .
Figure 7. Dinoflagellates of the RGBI. a-d. Different focal planes of *Protoperidinium divergens*. Scale = 10 μm .

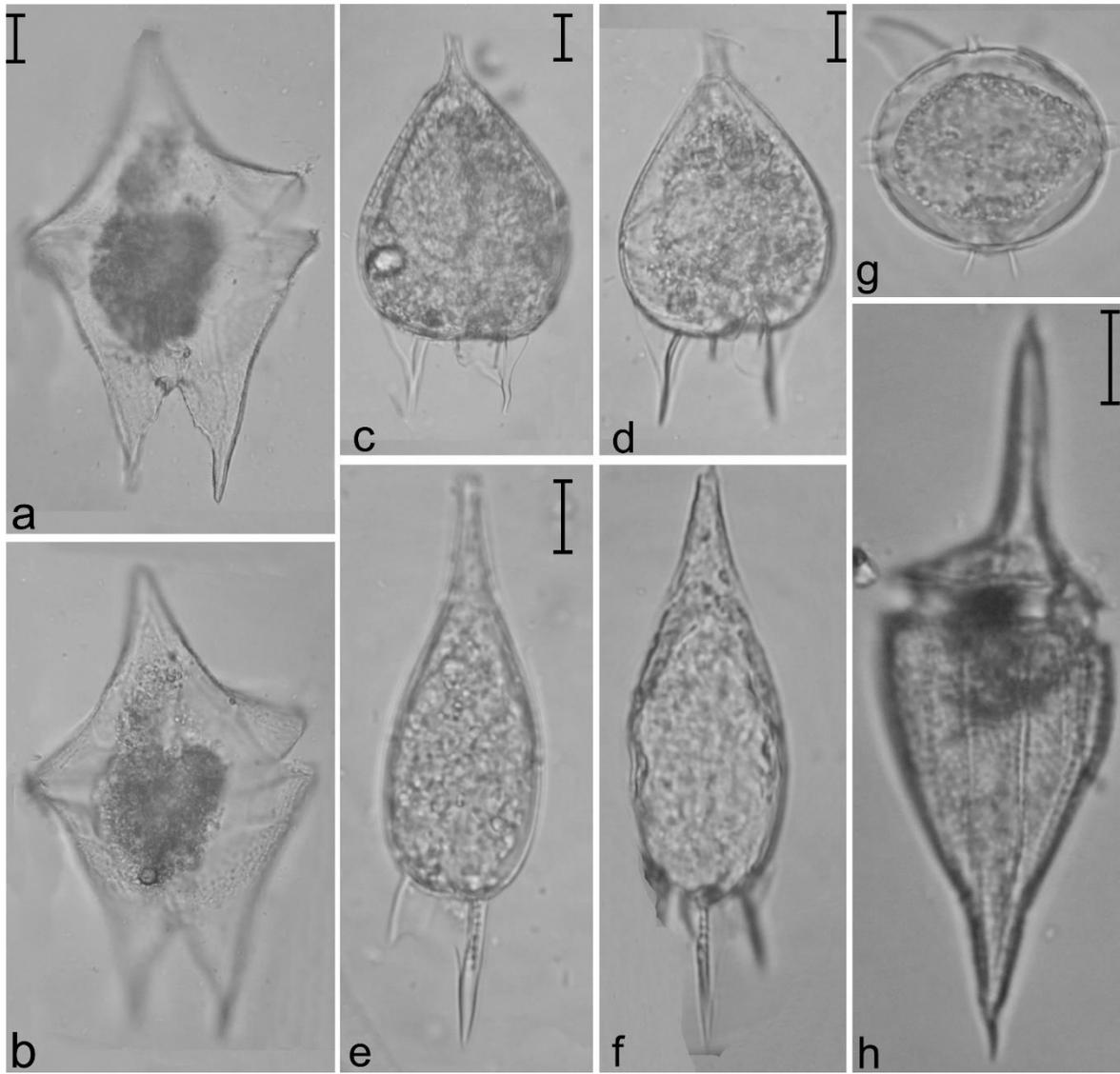


Figura 8. Dinoflagelados de la RGBI. a-b. Diferentes planos focales de *Protoperidinium* sp., c-d. *Podolampas bipes*, e-f. *P. palmipes*, g. *Protoperidinium* cf. *ovatum*, h. *Corythodinium milneri*. Escala = 10 μ m.

Figure 8. Dinoflagellates of the RGBI. a-b. Different focal planes of *Protoperidinium* sp., c-d. *Podolampas bipes*, e-f. *P. palmipes*, g. *Protoperidinium* cf. *ovatum*, h. *Corythodinium milneri*. Scale = 10 μ m.

DISCUSIÓN

A nivel mundial, las estimaciones de la riqueza fitoplanctónica varían entre 3 400 y 5 000 especies (Simon *et al.*, 2009; Sournia, 1995; Sournia *et al.*, 1991; Tett & Barton, 1995). Para el Pacífico mexicano, Torres-Ariño *et al.* (2019) reportaron 998 especies de cianobacterias y microalgas planctónicas y bentónicas pertenecientes a nueve divisiones (Bacillariophyta, Dinoflagellata, Cyanobacteria, Ochrophyta, Chlorophyta, Charophyta, Euglenozoa, Haptophyta, Cercozoa), 14 clases, 75 órdenes, 148 familias y 273 géneros. En lo referente a los dinoflagelados, Okolodkov & Gárate-Lizárraga (2006) para el Pacífico mexicano listan 605 especies y taxones infraespecíficos y mencionan que las aguas costeras occidentales de la península de Baja California y el golfo de California son las zonas más estudiadas.

Los 34 taxones de dinoflagelados que se registran en el presente trabajo representarían el 2.5% de las especies de fitoplancton reportadas en aguas mexicanas y el 6% de los dinoflagelados reportados para el Pacífico mexicano, con base en las proyecciones del número de especies por grupo taxonómico presentado por Hernández- Becerril *et al.* (2021). Si bien estos valores son bajos, es importante destacar, que son el resultado del análisis de un solo muestreo de una sola muestra, y, por ende, es muy probable que exista una subestimación. Cabe destacar el hecho de que todos los taxones de dinoflagelados encontrados en este estudio han sido reportados con anterioridad para las aguas costeras mexicanas (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2001; Okolodkov & Gárate-Lizárraga, 2006).

En lo referente a la presencia de especies productoras de toxinas, algunas especies de los géneros *Dinophysis* y *Phalacroma*, han sido reportadas como productoras de ácido okadaico y sus derivados; dinofisistoxinas y pectenotoxinas, las cuales pueden causar enfermedades gastrointestinales e intoxicación diarreaica por consumo de mariscos (DSP: diarrhetic shellfish poisoning) (Reguera *et al.*, 2014). El registro en nuestro estudio de *Dinophysis tripos* y *Phalacroma mitra* sugiere la necesidad de implementar monitoreos periódicos para la detección temprana de posibles proliferaciones de estas especies que pueden provocar problemas de salud pública para la población local, que si bien es pequeña (ca. 200 habitantes), estos no contarían con servicios médicos especializados ante una eventual intoxicación producida por el consumo de organismos bioacumuladores de toxinas provenientes de los FAN.

En general, el ambiente pelágico favorece amplios rangos de distribución de las especies fitoplanctónicas (incluidos los dinoflagelados), comparado con las especies bentónicas (Okolodkov, 2010). En lo que respecta a la afinidad biogeográfica de los taxones registrados, no se pueden utilizar para determinar algún tipo de afinidad (debido quizá a la baja representatividad del muestreo), i. e., tropical, subtropical, templado, no obstante que un número considerable de los taxones registrados han sido reportados previamente en áreas consideradas como tropicales o subtropicales (Gárate-Lizárraga & Siqueiros-Beltrones, 1998; Siqueiros-Beltrones *et al.*, 2019). Esta condición también ha sido reportada por López-Fuerte *et al.* (2021) para la taxocenosis de diatomeas planctónicas registradas en la RBIG, la cual tampoco mostró indicios de su afinidad biogeográfica.

CONCLUSIÓN

Si bien es cierto que el presente estudio no está representado por un muestreo exhaustivo, los resultados de este son los primeros registros de dinoflagelados para la RBIG, así se contribuye al conocimiento de la composición de uno de los componentes más representativos del fitoplancton y en general al conocimiento de su biodiversidad. Asimismo, es evidente la necesidad de muestreos dirigidos y representativos en espacio y tiempo para determinar con representatividad la composición de los diferentes componentes del fitoplancton de la RBIG.

AGRADECIMIENTOS

La visita a la Isla Guadalupe se realizó gracias al apoyo de la CONABIO en (convenio SNIB-CONABIO, proyecto No. JF170, responsable: RYP, vigencia 31 octubre 2012 – 21 noviembre 2014), de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera de Participación Estatal Abuloneros y Langosteros, S.C.I., y de la Secretaría de Marina – Armada de México. Permisos: SEMARNAT SGPA/DGVS/05604/12; SEGOB DICOPPU/211/0053/13; SAGARPA PPF/DGOPA-215/2013; CONANP F00.DRPBCPN-000025. FOLF agradece el apoyo de los programas PRODEP y SNI-CONAHCYT. IGL es becario COFAA y agradece a los proyectos SIP: 20230492 y SIP: 20240611. Agradecemos a Marcia M. Gowing (Seattle, WA, EE.UU.) por corregir el resumen en inglés. Por último, el agradecimiento a Mónica Rivera por la edición de las citas y referencias.

LITERATURA CITADA

- Balech, E. (1988). *Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Publicaciones Especiales - Instituto Español de Oceanografía.
- Berdegú, A. J. (1957). *La Isla Guadalupe México: Contribución al conocimiento de los recursos naturales renovables*. Secretaría de Marina, Dirección General de Pesca e Industrias Conexas.
- Gárate-Lizárraga, I., Hernández-Orozco, M. L., Band-Schmidt, C., & Serrano-Casillas, G. (2001). Red tides along the coasts of Baja California Sur, México (1984 to 2001). *Oceanides*, 16(2), 127–134.
- Gárate-Lizárraga, I., Okolodkov, Y. B., & Cortés-Altamirano, R. (2016). Microalgas formadoras de florecimientos algales en el Golfo de California. En E. García-Mendoza, S. I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz, & E. J. Nuñez-Vázquez (Eds.), *Florecimientos algales nocivos en México* (pp. 130–145). CICESE.
- Gárate-Lizárraga, I., & Siqueiros-Beltrones, D. A. (1998). Time variation in phytoplankton assemblages in a subtropical lagoon system after the 1982-1983 “El Niño” Event (1984 to 1986). *Pacific Science*, 52(1), 79–97. <http://hdl.handle.net/10125/1561%0A>
- Gómez, F. (2013). Reinstatement of the dinoflagellate genus *Triplos* to replace *Neoceratium*, marine species of *Ceratium* (Dinophyceae, Alveolata). *CICIMAR Oceanides*, 28(1), 1–22. <https://doi.org/10.37543/oceanides.v28i1.119>
- Guiry, M. D., & Guiry, G. M. (2023). *AlgaeBase. World-wide electronic publication*. University of Galway. <http://www.algaebase.org>
- Hernández-Becerril, D. U., Barón-Campis, S. A., Ceballos-Corona, J. G. A., Alonso-Rodríguez, R., Rincones-Reyes, K. M., Becerra-Reynoso, R. T., & Arce-Rocha, G. (2021). *Catálogo de fitoplancton del Pacífico central mexicano, Cruceros “MareaR” (2009-2019) B/O “El Puma”*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- López-Fuerte, F. O., Siqueiros-Beltrones, D. A., & Yabur, R. (2015a). First record and geographic range extension of the coccolithophore *Scyphosphaera apsteinii* Lohman, 1902 (Haptophyta: Pontosphaeraceae) from the Pacific coast of Mexico. *Check List*, 11(5), 1–3. <https://doi.org/10.15560/11.5.1754>
- López-Fuerte, F. O., Siqueiros-Beltrones, D. A., & Yabur, R. (2015b). First record of benthic diatoms (Bacillariophyceae and Fragilariophyceae) from Isla Guadalupe, Baja California, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(2), 281–292. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.04.016>
- López-Fuerte, F. O., Siqueiros-Beltrones, D. A., & Yabur, R. (2021). Primeros registros de diatomeas marinas de la Clase Coscinodiscophyceae de la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe, Baja California, México. *Cymbella*, 7(1), 5–17. <http://cymbella.mx>
- Lundholm, N., Churro, C., Escalera, L., Fraga, S., Hoppenrath, M., Iwataki, M., Larsen, J., Mertens, K., Moestrup, Ø., Murray, S., Tillmann, U., & Zingone, A. (2009 onwards). *IOC-UNESCO Taxonomic Reference List of Harmful Micro Algae*. <https://doi.org/10.14284/362>
- Lynn, R. J., & Simpson, J. J. (1987). The California Current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 92(C12), 12947–12966. <https://doi.org/10.1029/JC092iC12p12947>
- Okolodkov, Y. B. (2010). *Biogeografía Marina*. Universidad Autónoma de Campeche.
- Okolodkov, Y. B., & Gárate-Lizárraga, I. (2006). An annotated checklist of dinoflagellates (Dinophyceae) from the Mexican Pacific. *Acta Botanica Mexicana*, 74, 1–154.
- Omura, T. (2012). *Marine phytoplankton of the Western Pacific*. Kouseisha Kouseikaku.
- Quiñones-Peyro, B. C., López-Fuerte, F. O., Mazariegos-Villareal, A., Serviere-Zaragoza, E., Casas-Valdez, M., & Yabur, R. (2016). Macroalgas marinas bentónicas de Isla Guadalupe, Baja California, México. *Hidrobiológica*, 26(2), 213–223. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2016v26n2/Yabur>
- Reguera, B., Riobó, P., Rodríguez, F., Díaz, P., Pizarro, G., Paz, B., Franco, J., & Blanco, J. (2014). Dinophysins toxins: Causative organisms, distribution and fate in shellfish. *Marine Drugs*, 12(1), 394–461. <https://doi.org/10.3390/md12010394>
- Schiller, J. (1933). *Dinoflatellate (Peridineae). Teil I*. Akademische Verlagsgesellschaft M.B.H.

Recibido:
21/noviembre/2023

Aceptado:
21/junio/2024

- Schiller, J. (1937). *Dinoflagellate (Peridineae). Teil 2*. Akademische Verlagsgesellschaft M.B.H.
- Simon, N., Cras, A.-L., Foulon, E., & Lemée, R. (2009). Diversity and evolution of marine phytoplankton. *Comptes Rendus. Biologies*, 332(2-3), 159-170. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.09.009>
- Siqueiros-Beltrones, D. A., Martínez, Y. J., & Aldana-Moreno, A. (2019). Florística exploratoria de diatomeas epifitas de Islas Revillagigedo (México). *Cymbella*, 5(1), 98-123.
- Sournia, A. (1995). Red tide and toxic marine phytoplankton of the world ocean: an inquiry into diversity. En P. Lassus, G. Arzul, E. Erand, P. Gentien, & C. Marcaillou (Eds.), *Harmful Marine Algal Blooms* (pp. 103-112). Lavoisier.
- Sournia, A., Chrétiennot-Dinet, M.-J., & Ricard, M. (1991). Marine phytoplankton: how many species in the world ocean? *Journal of Plankton Research*, 13(5), 1093-1099. <https://doi.org/10.1093/plankt/13.5.1093>
- Steidinger, K. A., & Jangen, K. (1997). Dinoflagellates. En *Identifying Marine Phytoplankton* (pp. 387-584). C.R. Tomas (ED.), Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012693018-4/50005-7>
- Taylor, F. J. (1976). *Dinoflagellates from the International Indian Ocean Expedition. A report on material collected by the R.V. "Anton Bruun" 1963-1964*. Schweizerbart Science Publishers.
http://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783510480036/Bibliotheca%5C_Botanica%5C_Heft%5C_132%5C_noch
- Tett, P., & Barton, E. D. (1995). Why are there about 5000 species of phytoplankton in the sea? *Journal of Plankton Research*, 17(8), 1693-1704. <https://doi.org/10.1093/plankt/17.8.1693>
- Torres-Ariño, A., Okolodkov, Y. B., Herrera-Herrera, N. V., Hernández-Barrera, B. L., González-Resendiz, L., León-Tejera, H., & Gárate-Lizárraga, I. (2019). Un listado del fitoplancton y microfitobentos del sureste del Pacífico mexicano. *Cymbella*, 5(1), 1-97.
- WoRMS Editorial Board. (2023). *World Register of Marine Species*. <https://doi.org/10.14284/170>

**UN ENFOQUE INTEGRATIVO REVELA LA
IDENTIDAD Y LA DISTRIBUCIÓN
INTEROCEÁNICA DE LA DIATOMEA
Halamphora adumbratoides Stepanek & Kociolek
2018 (BACILLARIOPHYCEAE:
AMPHIPLEURACEAE)**

**AN INTEGRATIVE APPROACH REVEALS THE
IDENTITY AND INTEROCEANIC
DISTRIBUTION OF THE DIATOM *Halamphora
adumbratoides* Stepanek & Kociolek 2018
(BACILLARIOPHYCEAE: AMPHIPLEURACEAE)**

López-Fuerte, Francisco Omar; María Concepción Lora-Vilchis y Gopal Murugan
UN ENFOQUE INTEGRATIVO REVELA LA IDENTIDAD Y LA DISTRIBUCIÓN
INTEROCEÁNICA DE LA DIATOMEA *Halamphora adumbratoides* Stepanek &
Kociolek 2018 (BACILLARIOPHYCEAE: AMPHIPLEURACEAE)
AN INTEGRATIVE APPROACH REVEALS THE IDENTITY AND INTEROCEANIC
DISTRIBUTION OF THE DIATOM *Halamphora adumbratoides* Stepanek & Kociolek
2018 (BACILLARIOPHYCEAE: AMPHIPLEURACEAE)



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial ([CC BY-NC 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)).

An integrative approach reveals the identity and interoceanic distribution of the diatom *Halamphora adumbratoides* Stepanek & Kociolek 2018 (Bacillariophyceae: Amphipleuraceae)

Un enfoque integrativo revela la identidad y la distribución interoceánica de la diatomea *Halamphora adumbratoides* Stepanek & Kociolek 2018 (Bacillariophyceae: Amphipleuraceae)

Francisco Omar López-Fuerte;
María Concepción Lora-Vilchis y Gopal Murugan

UN ENFOQUE
INTEGRATIVO REVELA LA
IDENTIDAD Y LA
DISTRIBUCIÓN
INTEROCEÁNICA DE LA
DIATOMEA *Halamphora
adumbratoides* Stepanek &
Kociolek 2018
(BACILLARIOPHYCEAE:
AMPHIPLEURACEAE)

AN INTEGRATIVE
APPROACH REVEALS THE
IDENTITY AND
INTEROCEANIC
DISTRIBUTION OF THE
DIATOM *Halamphora
adumbratoides* Stepanek &
Kociolek 2018
(BACILLARIOPHYCEAE:
AMPHIPLEURACEAE)

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 17-29. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.2

Francisco Omar López-Fuerte / folopez@uabcs.mx
<https://orcid.org/0000-0002-0828-9107>

Universidad Autónoma de Baja California Sur.
Departamento Académico de Ciencias Marinas y Costeras,
La Paz, Baja California Sur, México

María Concepción Lora-Vilchis / cony04@cibnor.mx
<https://orcid.org/0000-0003-1839-6974>

Gopal Murugan. Corresponding author: murugan04@cibnor.mx
<https://orcid.org/0000-0002-2672-7430>

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C.
La Paz, Baja California Sur, México

ABSTRACT: *Halamphora adumbratoides* was described in 2018 from the Atlantic Ocean (Florida Bay, USA), the type locality of this species. In this report, we present the morphological characteristics and molecular identity of this taxon (strain CIBA 160) collected in the Gulf of California, Mexico (Pacific Ocean region). Cells of the strain CIBA 160 obtained from laboratory cultures showed morphological characteristics inconsistent with the original description, specifically the shape of the valve and the presence of pores at the end of the dorsal raphe ledge at each end of the raphe. Regarding size, the length (4.1–6.6 μm) of the CIBA 160 strain is much shorter than in the original description (10.0–18.0 μm). However, the valve width and number of striae do coincide with the ranges in that description. At the molecular level, DNA sequences of the CIBA 160 strain showed 100, 99.8, and 99.5% similarity, respectively, for SSU, *rbcL*, and *psbC* with the *H. adumbratoides* sequences from the Atlantic Ocean. Our study supports the first case of interoceanic distribution and the second overall recording of this species.

Key words: first recording, Gulf of California, Pacific Ocean, *psbC*, *rbcL*, SSU.

RESUMEN: *Halamphora adumbratoides* fue descrita en 2018 en muestras procedentes del Océano Atlántico, siendo Florida Bay, USA, la localidad tipo para esta especie. En esta publicación, presentamos las características morfológicas y la identidad molecular de este taxón (cepa CIBA 160) colectado en el Golfo de California, México (en la región del Océano Pacífico). Las células de la cepa CIBA 160, fueron obtenidas mediante cultivos de laboratorio y mostró características que no corresponden con la descripción original, específicamente la forma de la valva y la presencia de poros al final de cada extremo del margen dorsal del rafe. En relación al tamaño, la longitud (4.1–6.6 μm) de la cepa CIBA 160 es menor a la de la descripción original (10.0–18.0 μm). Sin embargo, el ancho de la valva y el número de estrías coinciden con los intervalos de la descripción. A nivel molecular, las secuencias del DNA de la cepa CIBA 160 mostraron 100, 99.8, y 99.5% de similitud, respectivamente con las secuencias de SSU, *rbcL*, y *psbC* de células de *H. adumbratoides* originarias del Océano Atlántico. Nuestro trabajo presenta el

primer registro de la distribución interoceánica y el segundo registro para esta especie desde su descripción.

Palabras clave: primer registro, Golfo de California, Océano Pacífico, *psbC*, *rbcL*, SSU.

INTRODUCTION

Diatoms are an important and diverse group of organisms that fix almost 20% of global carbon (Armbrust, 2009; Malviya *et al.*, 2016; D. G. Mann, 1999; Onuma *et al.*, 2017). However, aside from the toxic diatoms, the taxonomy of the specious class of Bacillariophyceae is ‘in a rather poor state’ (Mann *et al.*, 2020). The taxonomic history of the genus *Halamphora* has been dynamic since its revival by Levkov (2009) produced a considerable number of inclusions via transfers of species new nomenclatural combinations, mostly from the genus *Amphora*, descriptions of new species, and taxonomic validations. The increased number of taxonomically accepted species and intraspecific names registered in Algaebase is remarkable, from 110 in 2018 to 163 in 2023 (Guiry & Guiry 2023), which reflects the degree of complexity that this genus still represents.

In diatom, monoclonal cultures form a vital part of an integrative taxonomic approach to identifying species using morphological and molecular data (Mohamad *et al.*, 2022). Also, electron microscopy of monoclonal cultures is commonly used to describe new diatom species with ultrastructural details. Stepanek & Kociolek (2018) described *H. adumbratoides* and complemented their description with molecular tools. Electron microscopy and molecular information have contributed significantly to the determination of new species of diatoms, taxonomic validations, and the transfer of taxa from one genus to another. For example, taxonomic relocations of taxa have been carried out with the closely related genera *Amphora*, *Cymbamphora*, and *Seminavis* (Levkov, 2009; Stepanek & Kociolek, 2013; 2015, 2018, 2019; Van de Vijver *et al.*, 2014).

Morphometric similarity between taxa of different genera is rare; however, it is not uncommon among species of closely related genera. For example, the morphology of *H. adumbratoides* is very similar to that of *Amphora adumbrata* in terms of the shape of the valve and the fine striae composed of a single elongated areola (Stepanek & Kociolek, 2018). The number of striae was a key characteristic for differentiating these taxa by traditional taxonomy (morphology) (Desianti *et al.*, 2015; Stepanek & Kociolek, 2018). At the molecular level, SSU, *rbcL*, and *psbC* markers were used to identify *H. adumbratoides* (Stepanek & Kociolek, 2018).

In geographical terms, *H. adumbratoides* has been recorded only from the coasts of the Atlantic Ocean, in Florida Bay, Cotton Key, Monroe Country, FL, USA. In this publication, we present morphological characteristics and use molecular identity of this taxon (strain CIBA 160) to report its presence in the Pacific Ocean region from the coastal Balandra lagoon (La Paz Bay) in the Gulf of California, on the southern coast of the Baja California Peninsula, Mexico. It is the second recording but the first interoceanic registration of *H. adumbratoides*. We also register considerable morphological features and morphometry variations in the laboratory-cultured cells.

MATERIALS AND METHODS

Sample collection and morphological observation

Water samples of 50 mL were taken by triplicate from the Balandra lagoon (24°19'9.01"N 110°19'18.17" W) near La Paz, Baja California Sur (Figure 1), in December 2018, and brought to the laboratory. The samples were filtered through a 30- μ m Nitex mesh and f/2 medium with silicates added to the filtered samples (Guillard, 1975).

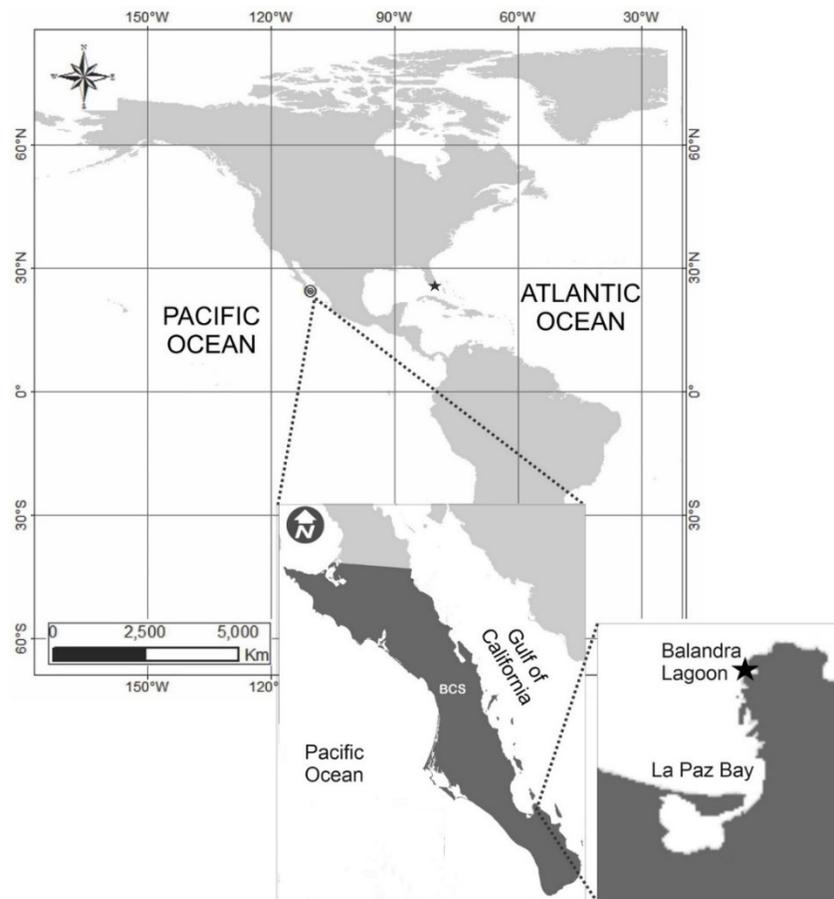


Figure 1. Current recordings of *Halamphora adumbratoides* in the Pacific and Atlantic Ocean (solid stars). Inset figures show an expanded map of the collection site in the Balandra Lagoon, Mexico.

Figura 1. Registros actuales de *Halamphora adumbratoides* en el Océano Pacífico y Atlántico (estrellas sólidas). Las figuras insertadas muestran un mapa amplificado del sitio de recolección en la Laguna de Balandra, México.

After two weeks, microalgal cells were isolated in a 1:50 dilution in f/2 medium and streaked on marine agar plates containing the same medium. Single-cell colonies were isolated under low magnification in a microscope, with a sterile hypodermic needle and then transferred to 24-well plates containing 2 ml of culture medium. Two weeks later, the cells were transferred to test tubes with 5 ml of culture medium, and the unialgal culture of isolated cells was examined under light microscopy. Once confirmed, the monoclonal cultures were deposited in CIBNOR's Microalgae Collection under catalog number CIBA 160 (<https://www.cibnor.gob.mx/investigacion/coleccion-biologicas/coleccion-de-microalgas>) after three reseeded periods. We have a collection of three fixed slides with the skeletons of the cells, that remains in the laboratory.

For light and electron microscopy and molecular analyses, cells were cultured in triplicate in 500-mL flasks with 250 mL of medium at $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, $40\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 12:12 h, and 35 PSU. At the exponential stage (on the sixth day), separate samples were taken for each analysis. Live and cleaned cells were observed under a Zeiss Axio Lab A1 microscope, and photographs were taken with a Canon EOS Rebel T5i camera (Figure 2). The cells were prepared for scanning electron microscopy (SEM) as indicated previously by López-Fuerte *et al.* (2020). Briefly, the organic matter was eliminated by oxidation, heat-assisted with concentrated nitric acid. The cells were then washed in distilled water to reach a neutral pH. SEM images of the cells were taken with a

Hitachi SU3500 electron microscope operating at 10 kV and a 6-mm working distance. A coverslip holding the cells was attached to a 32-mm aluminum stub using conductive carbon tape and coated with around 15 nm of gold in a Hummer 6.2 sputtering unit.

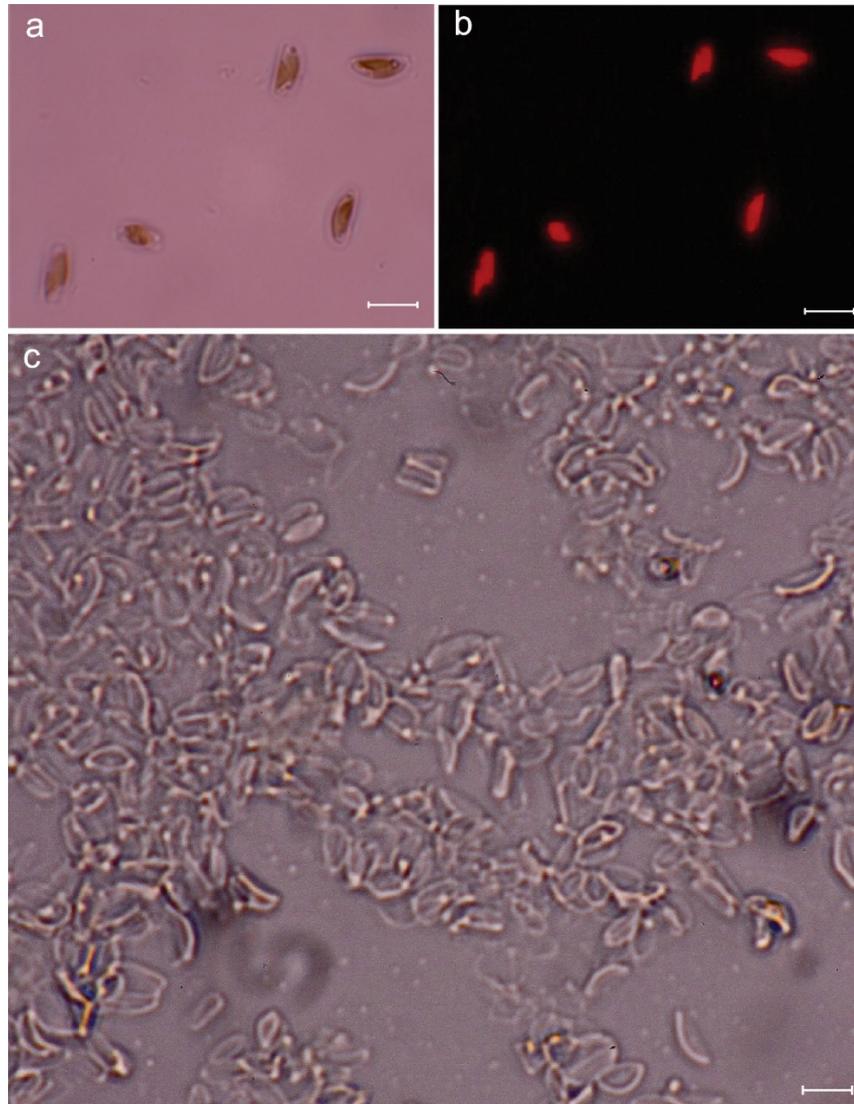


Figure 2. a–c. *Halamphora adumbratoides*, a. live cell showing plastids; b. fluorescence microscopy showing plastids; c. cleaned specimens. Scale bars represent 5 μm .

Figura 2. a–c *Halamphora adumbratoides*, a. células vivas que muestran los cloroplastos; b. microscopía de fluorescencia que muestra los cloroplastos; c. especímenes limpios. Las barras de escala representan 5 μm .

The key morphological characteristics –length, width, and density of the striae– were measured by light and electron microscopy and compared to those reported for *Halamphora adumbratoides* (Stepanek & Kociolek, 2018). The validity nomenclatural status of the name was verified on the Algaebase website (Guiry & Guiry 2023).

DNA extraction, PCR amplification, and sequencing

Cells of the CIBA 160 strain obtained from the exponential stage cultures were utilized to extract genomic DNA by the CTAB method (Doyle, 1991; Herrera *et al.*, 2014). Four regions of DNA were analyzed: fragment of two nuclear genes, the small sub-unit of nuclear gene 18S ribosomal

RNA (SSU), and the large subunit of nuclear gene 28S ribosomal RNA (LSU) were amplified following the PCR conditions described in López-Fuerte *et al.* (2020). A partial sequence of the ribulose biphosphate carboxylase/oxygenase gene (*rbcL*) from the chloroplast was amplified according to the published protocols (López-Fuerte *et al.*, 2020). Also, the photosystem II CP43 protein gene (*psbC*) was amplified with 30 picomoles of the *psbC*⁺ and *psbC*⁻ primers (Alverson *et al.*, 2007) in 40 µL of a PCR reaction mixture containing genomic DNA, 0.3 mM dNTPs, 2 mM MgCl₂, 4 µL of 10X PCR buffer, and 2 units of platinum *Taq* polymerase (Invitrogen™). The PCR conditions for *psbC* amplification were denaturation at 94°C for 3.30 min, then 35 cycles of 30 s at 94 °C, 50 s at 52 °C, and 80 s at 72 °C. The final extension was for 10 min at 72 °C. Both strands of all markers were sequenced with the amplification primers and an internal primer for the SSU and chloroplast genes (18S 962R, *rbcL*1255, *psbC*857).

We edited the four sequences (SSU, LSU, *psbC*, and *rbcL*) in DNA Baser 4.5 program (<http://www.dnabaser.com>) and compared the SSU, *rbcL*, and *psbC* sequences to those of *H. adumbratooides* in the GenBank database. The phylogenetic relationship of the CIBA 160 strain was inferred based on the concatenated nucleotide sequences of SSU, LSU, *psbC*, and *rbcL* with 23 *Halumphora* species (Table 1) using the maximum likelihood (ML) method in PAUP 4.0a166 (Swofford, 2002) and Bayesian inference (BI) in MrBayes 3.2.7a (Ronquist *et al.*, 2012). The best fit nucleotide model TIM3+I+G selected according to the BIC criterion in jModeltest 2.1.10 (Darriba *et al.*, 2012; Guindon & Gascuel, 2003) for the concatenated nucleotide sequences was implemented in both analyses. Maximum likelihood analysis was performed with 500 pseudoreplicates under the option of heuristic tree-searching with tree bisection-reconnection branch swapping to generate a majority rule ML consensus tree. Bayesian inference was run for 10 million generations, and a majority rule BI consensus tree was obtained after eliminating 25% of the initial trees using the burn-in option.

Table 1. *Halumphora* and *Amphora* sequences used in the phylogenetic analyses.

Tabla 1. Secuencias de *Halumphora* y *Amphora* utilizadas en los análisis filogenéticos.

Taxa	18S	rbcL	psbC	28S	Reference
<i>Halumphora adumbratooides</i> AMPH041	MG027270	MG027434	MG027514	NA	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halumphora adumbratooides</i> CIBA 160	ON714546	ON736839	ON736840	ON714544	This study
<i>Halumphora pellicula</i> AMPH134	MG027316	MG027481	MG027561	MG027401	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halumphora pellicula</i> AMPH153	MG027320	MG027486	MG027566	MG027407	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halumphora elongata</i> AMPH001	MG027259	MG027423	MG027503	MG027337	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halumphora aponina</i> AMPH049	MG027275	MG027439	MG027519	MG027355	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halumphora aponina</i> AMPH102	MG027296	MG027461	MG027541	MG027381	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halumphora pseudoholsatica</i> AMPH165	MG027327	MG027493	MG027573	MG027414	Stepanek & Kociolek, 2019

<i>Halamphora holsatica</i> AMPH154	MG027321	MG027487	MG027567	MG027408	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halamphora rushforthii</i> AMPH117	MG027306	MG027471	MG027551	MG027391	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halamphora coffeaeformis</i> AMPH104	MG027297	MG027462	MG027542	MG027382	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halamphora pratensis</i> AMPH106	MG027299	MG027464	MG027544	MG027384	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halamphora isumiensis</i> AMPH164	MG027326	MG027492	MG027572	MG027413	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halamphora tenucostata</i> AMPH042	MG027271	MG027435	MG027515	MG027350	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halamphora tenuis</i> AMPH034	MG027269	MG027433	MG027513	MG027348	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halamphora scatebra</i> AMPH119	MG027308	MG027473	MG027553	MG027393	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halamphora subturgida</i> AMPH015	MG027260	MG027424	MG027504	MG027338	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halamphora bicapitata</i> AMPH055	MG027278	MG027442	MG027522	MG027359	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halamphora nagumoi</i> AMPH166	MG027328	MG027494	MG027574	MG027415	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Halamphora oligotraphenta</i> AMPH009	KJ463451	KJ463481	KJ463511	KP229528	Stepanek & Kociolek, 2014; Stephanek <i>et al.</i> 2015 (28S)
<i>Halamphora veneta</i> AMPH005	KJ463452	KJ463482	KJ463512	KP229530	Stepanek & Kociolek, 2014; Stephanek <i>et al.</i> 2015 (28S)
<i>Halamphora venetoides</i> AMPH017	KJ463453	KJ463483	KJ463513	NA	Stepanek & Kociolek, 2014, 2018
<i>Halamphora coloradiana</i> AMPH025	KJ463450	KJ463480	KJ463510	KP229529	Stepanek & Kociolek, 2014; Stephanek <i>et al.</i> 2015 (28S)
<i>Amphora allanta</i> AMPH129	MG027314	MG027479	MG027559	MG027399	Stepanek & Kociolek, 2019
<i>Amphora commutata</i> AMPH126	KP229526	KP229547	KP229549	KP229545	Stepanek <i>et al.</i> , 2015

RESULTS

The length and width recorded for the valves of the laboratory cultured cells of the strain CIBA 160 (*Halamphora adumbratooides*) are 4.1–6.6 and 1.6–2.4 μm , respectively. The number of dorsal and ventral striae for the CIBA 160 strain are 57–60 and 60–70 in 10 μm , respectively. The valve shape is semi-elliptical, and the ends are broadly rounded (Figure 3a–j). The raphe is straight with straight proximal ends, while the distal raphe ends are deflected to hooked dorsally (Figure 3a–b). Externally, two pores are visible at the end of the dorsal raphe ledge at each end of the raphe (Figure 3a–d black arrow), or they may appear fused (Figure 3d white arrow), while internally two, only a single pore is observed (Figure 3e–g, j). Internally, the proximal raphe ends terminated in a broad, fused central helictoglossa (Figure 3e–f, h, white asterisk). The dorsal raphe ledge is nearly absent, especially through the valve center (Figure 3a–d). A reduced dorsal raphe ledge is present, more accentuated towards the distal end of the valve (Figure 3a–b, black asterisk). The dorsal and ventral striae are continuous through the valve center, slightly radiate (Figure 3a–d), and not resolved in the LM (Figure 2b). Figure 3e–j shows internal views of the deformed valves and other deformed structures, like the raphe, which is in a different position than in the undeformed valves.

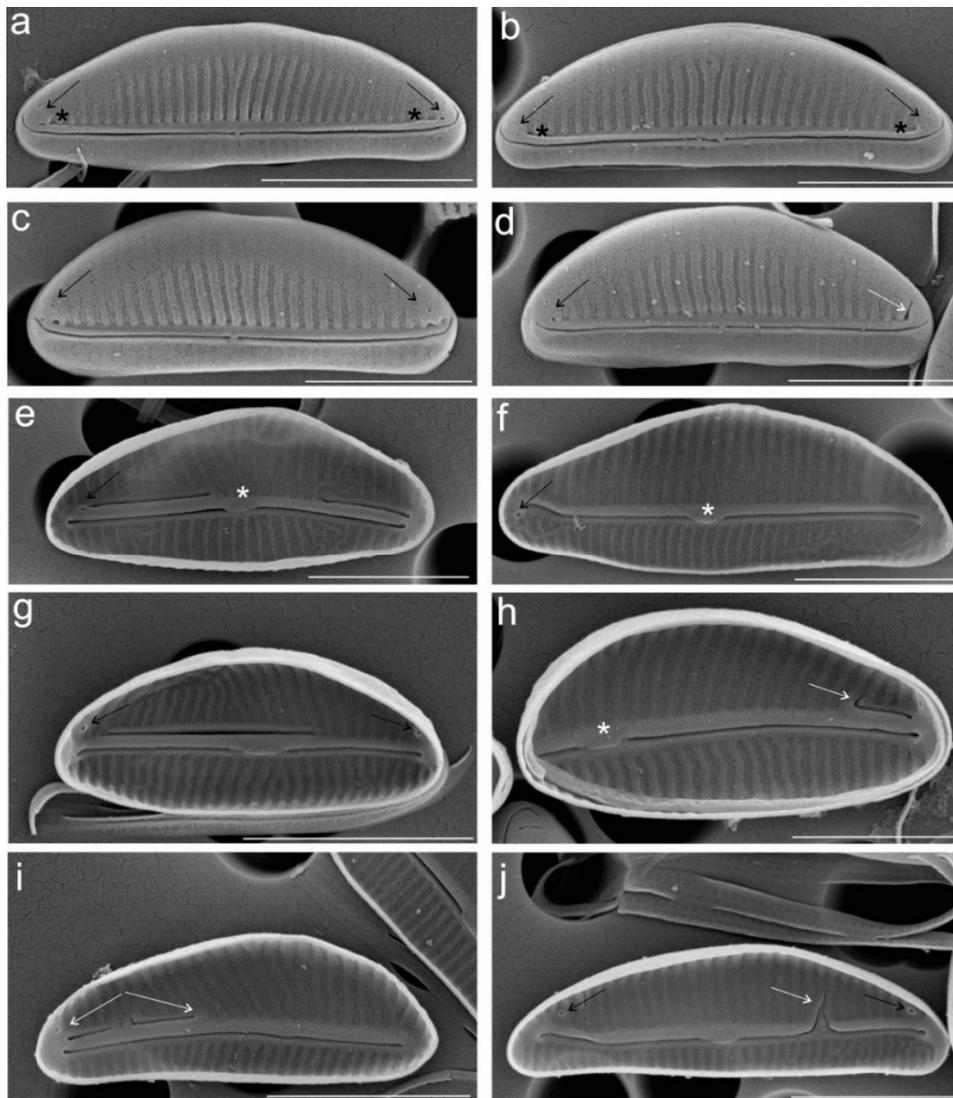


Figure 3. a–d. External view of the valve. a–d showing two distal pores (black arrows). The external and internal proximal raphe ends are not deflected, but the external distal raphe ends are dorsally deflected, a–d, e. Externally, the dorsal and ventral raphe ledges are small but continuous along the length of the valve, e–j. Internal view of the valve.

e, f, h. Internally, the proximal raphe ends terminate in a broad, fused central helictoglossa (white asterisks), e, f, g, h, j. One distal pore is visible (black arrows). f, g, h, i, j. White arrows show the abnormal dorsal raphe ledge. Scale bars correspondence: a, 3 μm , b–j, 2 μm .

Figura 3. a–d Vista exterior de la valva. a–d. se muestran dos poros distales (flechas negras). Los extremos proximales externo e interno del rafe no están desviados, pero los extremos distales externos del rafe están desviados dorsalmente, a–d. e. Externamente, los bordes dorsal y ventral del rafe son pequeños pero continuos a lo largo de la valva, e – j. Vista interna de la valva. e, f, h. Internamente, los extremos proximales del rafe terminan en una helictoglossa central amplia y fusionada (asteriscos blancos), e, f, g, h, j. Se observa un poro distal (flechas negras), e, f, g, h, i, j. Las flechas blancas muestran el borde dorsal anormal del rafe. Las barras de escala corresponden a: a, 3 μm , b – j, 2 μm .

Molecular analysis

We obtained 4,004 bp nucleotide sequences (SSU 1375 bp, *rbcL* 1444 bp, *psbC* 1185 bp; GenBank accession numbers: ON714546, ON736839, ON736840) for the CIBA 160 strain (*H. adumbratoides*) from the Pacific Ocean. Comparison of our sequences to those of the type species from the Atlantic Ocean in GenBank showed 100, 99.8, and 99.5% similarity for SSU, *rbcL*, and *psbC*, respectively. The BI and ML phylogenetic analyses placed the *H. adumbratoides* strains in one clade with *H. pellicula* as a sister clade (Figure 4). This node was supported strongly by the BI (100%) and ML (92%) analyses.

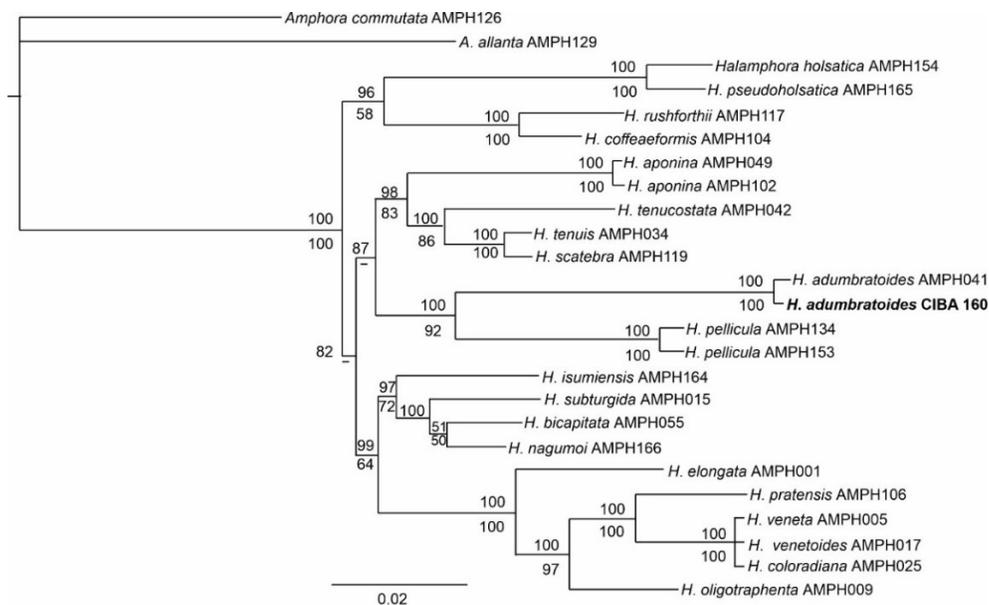


Figure 4. Bayesian tree of the *Halamphora* species based on the partial sequences of SSU, LSU, *psbC*, and *rbcL*. Bootstrap values of maximum likelihood analysis are given below, and posterior probabilities of Bayesian inference are given above the nodes. Nodes supported by less than 50% of Bootstrap values are indicated with the symbol ‘-’

Figura 4. Árbol Bayesiano de las especies de *Halamphora* basado en las secuencias parciales de SSU, LSU, *psbC* y *rbcL*. Los valores Bootstrap del análisis de máxima verosimilitud se dan debajo, y las probabilidades posteriores de la inferencia Bayesiana se dan arriba de los nodos. Los nodos soportados por menos del 50% de los valores de Bootstrap se indican con el símbolo ‘-’

DISCUSSION

Accurate identification of a species depends, in principle, on the methods' reliability. Historically, and even today, the identification of a diatom species is based on morphometric aspects observed under light microscopy, which requires extensive taxonomic experience (Mora *et al.*, 2019). The

characterization of certain diatom species is impossible only with this tool because of their small size and inconspicuous diagnostic structures (Li *et al.*, 2018; D. Mann *et al.*, 2020). Fortunately, this issue can be resolved with electron microscopy. However, not all diatom species can be delineated using morphology, especially species with subtle morphological differences (Beszteri *et al.*, 2007; Evans *et al.*, 2007; Malviya *et al.*, 2016). To aid in determining species boundaries among diatoms, molecular tools, such as DNA sequences are applied (An *et al.*, 2017; Beszteri *et al.*, 2007; Evans *et al.*, 2007; Guillard, 2005; D. Mann *et al.*, 2010, 2020; Medlin, 1991). However, this methodology has limitations as it may be unable to resolve the species identity (Malviya *et al.*, 2016) without conspecific and/or closely related species sequences in the nucleotide database. Therefore, morphological, and molecular methods are important in diatoms and should be considered as elements of a synergistic approach to species identification challenges.

After a morphometric review of the images of the laboratory cultured cells of the CIBA 160 strain obtained with both light and electron microscopy, it was not possible to identify this strain with any previously described taxon. However, approximations were made with *Amphora adumbrata* and *Halamphora adumbratoides*. Nevertheless, the morphometric analyses did not allow the taxonomic determination of the CIBA 160 strain as *H. adumbratoides* because the morphology of this strain does not exactly match the original description reported by Stepanek & Kociolek (2018), specifically due to the shape and size of the valve. In the original description of *H. adumbratoides*, the valves were narrow and semi-lanceolate, and the valve ends narrowly rounded to weakly subcapitate in larger specimens. The dorsal and ventral margins, however, do coincide with the original description, as they are arched and straight, respectively (Figure 3a–d). The presence of pores at the end of the dorsal raphe ledge at each end of the raphe was not mentioned in the original description. The axial area, not easily distinguishable in the original description, was not observed in the specimens of the CIBA 160 strain analyzed.

For the length and width of the valves, Stepanek & Kociolek (2018) reported ranges of 8.0–10.0 and 1.5–2.5 μm , while the cells (N=24) of the CIBA 160 strain recorded valve lengths and widths of 4.1–6.6 and 1.6–2.4 μm . Only the length range differed, as it was much shorter than in the original description. The number of dorsal and ventral striae in the CIBA 160 strain almost coincided with the original description, with 56–57 dorsal striae and *ca.* 70 ventral striae in 10 μm in the original description, while the striae range in 10 μm for the CIBA 160 strain were 57–60 and 60–70 for the dorsal and ventral striae, respectively.

A possible explanation for the size differences and morphological changes could be the effect of laboratory culturing on the cells of CIBA 160. In diatoms Rose & Cox (2013), Petrova *et al.* (2020) and Mohamad *et al.* (2022) have reported morphological changes in laboratory cultured cells. Diatoms tend to produce small-sized cells over time due to asexual reproduction (Mohamad *et al.*, 2022). This phenomenon has been demonstrated in 15 monoclonal pennate diatoms, but the width and number of striae did not differ from the original description (Mohamad *et al.*, 2022). Our results support the findings of Mohamad *et al.* (2022), and their proposal that the number of striae could be a useful character for species discrimination.

Our molecular analyses confirmed that the CIBA 160 strain belongs to *H. adumbratoides* by showing very high similarity to the sequences of this species from the Atlantic Ocean: 100, 99.8, and 99.5% similarity for SSU, *rbcL*, and *psbC*, respectively. The present study corroborates the results of Mohamad *et al.* (2022) that molecular data remain consistent irrespective of morphological changes in laboratory-cultured diatoms. Phylogenetic analyses of this study were also congruent with the relationship presented by Stepanek & Kociolek (2019) for the *H. adumbratoides* species, which is a sister group to *H. pellicula*.

We have registered morphological abnormalities in the cells of CIBA 160. The helictoglossa (Figure 3h white asterisk) is displaced to the left side of the valve. In contrast, the dorsal raphe ledge is very short and located only to the right of the valve (white arrow) (Figure 3h). The exact

opposite configuration is visible in Figure 3i (white arrow), where the structure is seen to the left of the valve. These abnormalities could be associated with long-term culture of cells in the laboratory (Estes & Dute, 1994; Falasco *et al.*, 2009; Petrova *et al.*, 2020).

In the genera *Amphora* and *Halamphora*, most taxonomic determinations and descriptions of new species are based on morphological analyses of specimens from natural populations (Levkov, 2009; Wachnicka & Gaiser, 2007). However, laboratory-cultured cells were also used for integrative taxonomic studies, combining morphological and molecular data (López-Fuerte *et al.*, 2020; Stepanek *et al.*, 2013, 2015a, 2015b, 2018).

It is important to mention that regardless of the origin of diatoms (natural or cultivated), the morphological description of a species must be accurate and informative, based on as much information as possible. This is because diatoms may present morphological variations throughout their life history, whether in the natural or artificial environment (Rose & Cox, 2013).

In our study, using morphological and molecular data has resulted in the reliable taxonomic identification of the CIBA 160 strain. Our results support using an integrative approach for fine-grained integrative taxonomic studies and the importance of laboratory cultures in the diatom taxonomy (Mohamad *et al.*, 2022).

CONCLUSIONS

The taxonomic identification of the CIBA 160 strain as *H. adumbratoides* was not possible based only on morphometric characteristics. This was due mainly to differences in the valve leaflet length and the presence of pores at the extremes of the valve on the raphe channel. Molecular analyses, however, allowed us to determine species identity with reference DNA sequences deposited in GenBank. Using DNA sequence data is important for cryptic, pseudo-cryptic diatom species and diatoms in general. Integrated approaches can play a vital role in discovering species with broad morphological variations.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank James M. Ehrman of the Digital Microscopy Facility at Mount Allison University for the SEM image, Joaquín Rivera Rosas for the map image, and Paul Kersey for the English review of this manuscript. GM and MCLV thank CIBNOR for the internal projects and the facilities provided to carry out this work. FOLF thanks the SNII-CONAHCYT program. Finally, we acknowledge three anonymous reviewers for their valuable comments.

LITERATURE CITED

- Alverson, A., Jansen, R., & Theriot, E. (2007). Bridging the Rubicon: Phylogenetic analysis reveals repeated colonizations of marine and fresh waters by thalassiosiroid diatoms. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 45, 193–210. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2007.03.024>
- An, S. M., Choi, D. H., Lee, J. H., Lee, H., & Noh, J. H. (2017). Identification of benthic diatoms isolated from the eastern tidal flats of the Yellow Sea: Comparison between morphological and molecular approaches. *PLoS ONE*, 12(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179422>
- Armbrust, E. V. (2009). The life of diatoms in the world's oceans. *Nature*, 459(7244), 185–192.

- <https://doi.org/10.1038/nature08057>
- Beszteri, B., John, U., & Medlin, L. K. (2007). An assessment of cryptic genetic diversity within the *Cyclotella meneghiniana* species complex (Bacillariophyta) based on nuclear and plastid genes, and amplified fragment length polymorphisms. *European Journal of Phycology*, 42(1), 47–60. <https://doi.org/10.1080/09670260601044068>
- Darriba, D., Taboada, G., Doallo, R., & Posada, D. (2012). jModelTest 2: more models, new heuristics and parallel computing. *Nature Methods*, 9, 772. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2109>
- Desianti, N., Potapova, M., & Beals, J. (2015). Examination of the type materials of diatoms described by Hohn and Hellerman from the Atlantic Coast of the USA. *Diatom Research*, 30, 1–24. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2014.1000020>
- Doyle, J. (1991). DNA Protocols for Plants BT. In G. M. Hewitt, A. W. B. Johnston, & J. P. W. Young (Eds). *Molecular Techniques in Taxonomy*. NATO ASI Series (Series H: Cell Biology), vol 57. Springer Berlin Heidelberg (pp. 283–93). https://doi.org/10.1007/978-3-642-83962-7_18
- Estes, A., & Dute, R. (1994). Valve abnormalities in diatom clones maintained in long-term culture. *Diatom Research*, 9, 249–58. <https://doi.org/10.1080/0269249X.1994.9705305>
- Evans, K., Wortley, A. H., & Mann, D. (2007). An Assessment of Potential Diatom “Barcode” Genes (cox1, rbcL, 18S and ITS rDNA) and their Effectiveness in Determining Relationships in *Sellaphora* (Bacillariophyta). *Protist*, 158, 349–364. <https://doi.org/10.1016/j.protis.2007.04.001>
- Falasco, E., Bona, F., Ginepro, M., Hlubikova, D., Hoffmann, L., & Ector, L. (2009). Morphological abnormalities of diatom silica walls in relation to heavy metal contamination and artificial growth conditions. *Water S.A*, 35, 595–606. <https://doi.org/10.4314/wsa.v35i5.49185>
- Guillard, R. R. L. (1975). Culture of Phytoplankton for Feeding Marine Invertebrates. In M.L. Smith & M.H. Chanley (Eds.), *Culture of Marine Invertebrate Animals* (pp. 29–60). Plenum Press. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-8714-9_3
- Guillard, R. R. L. (2005). Purification methods for microalgae. In R. A. Andersen (Ed.), *Algal culturing techniques* (pp. 117–132). Elsevier Academic Press. Phycological Society of America.
- Guiry, M. D. & Guiry, G. M. (2023) AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 8 may 2023.
- Guindon, S., & Gascuel, O. (2003). A Simple, Fast, and Accurate Algorithm to Estimate Large Phylogenies by Maximum Likelihood. *Systematic Biology*, 52, 696–704. <https://doi.org/10.1080/10635150390235520>
- Herrera, A., Medlin, L., Murugan, G., Sierra, A., Cruz, A., & Hernandez Saavedra, N. (2014). Are *Prorocentrum hoffmannianum* and *Prorocentrum belizeanum* (DINOPHYCEAE, PROROCENTRALES), the same species? An integration of morphological and molecular data. *Journal of Phycology*, 51. <https://doi.org/10.1111/jpy.12265>
- Levkov, Z. (2009). *Amphora* sensu lato. In H. Lange-Bertalot (Ed.), *Diatoms of Europe: Diatoms of the Europe inland waters and comparable habitats* (p. 916). A.R.G. Gantner Verlag K. G.
- Li, C. L., Witkowski, A., Ashworth, M., Dąbek, P., Sato, S., Zgłobicka, I., Witak, M., Khim, J. S., & Kwon, C. J. (2018). The morphology and molecular phylogenetics of some marine diatom taxa within the Fragilariaceae, including twenty undescribed species and their relationship to *Nanofrustulum*, *Opephora* and *Pseudostaurosira*. *Phytotaxa*, 355(1), 1–104. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.355.1>
- López-Fuerte, F. O., Sala, S. E., Lora-Vilchis, M. C., & Murugan, G. (2020). *Halamphora siqueirosii* (Bacillariophyta), a new diatom species isolated from a hypersaline evaporation pond in Baja California Peninsula, Mexico. *Phytotaxa*, 451(2), 132–144. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.451.2.3>
- Malviya, S., Scalco, E., Audic, S., Vincent, F., Veluchamy, A., Poulain, J., Wincker, P., Iudicone, D., De Vargas, C., Bittner, L., Zingone, A., & Bowler, C. (2016). Insights into global

- diatom distribution and diversity in the world's ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(11), E1516–E1525. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1509523113/DCSUPPLEMENTAL/PNAS.1509523113.SAPP.PDF>
- Mann, D. G. (1999). The species concept in diatoms. *Phycologia*, 38(6), 437–495. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-38-6-437.1>
- Mann, D., Sato, S., Trobajo, R., Vanormelingen, P., & Souffreau, C. (2010). DNA barcoding for species identification and discovery in diatoms. *Cryptogamie Algologie*, 31, 557–577.
- Mann, D., Trobajo, R., Sato, S., Li, C., Witkowski, A., Rimet, F., Ashworth, M., Hollands, R., & Theriot, E. (2020). Ripe for reassessment: A synthesis of available molecular data for the speciose diatom family Bacillariaceae. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 158, 106985. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.106985>
- Medlin, L. K., Elwood, H. J., Stickel, S., & Sogin, M. L. (1991). Morphological and genetic variation within the diatom *Skeletonema costatum* (Bacillariophyta): evidence for a new species, *Skeletonema pseudocostatum*. *Journal of Phycology*, 27, 514–524.
- Mohamad, H., Mora, D., Skibbe, O., Abarca, N., Deuschmeyer, V., Enke, N., Kusber, W., Zimmermann, J., & Jahn, R. (2022). Morphological variability and genetic marker stability of 16 monoclonal pennate diatom strains under medium-term culture. *Diatom Research*, 37, 307–328. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2022.2141346>
- Mora, D., Abarca, N., Proft, S., Grau, J., Enke, N., Jiménez, J., Skibbe, O., Jahn, R., & Zimmermann, J. (2019). Morphology and metabarcoding: a test with stream diatoms from Mexico highlights the complementarity of identification methods. *Freshwater Science*, 38, 448–464. <https://doi.org/10.1086/704827>
- Onuma, R., Mishra, N., & Miyagishima, S. (2017). Regulation of chloroplast and nucleomorph replication by the cell cycle in the cryptophyte *Guillardia theta*. *Scientific Reports*, 7(2345). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02668-2>
- Petrova, D., Bedoshvili, Y., Zakharova, Y., Volokitina, N., Likhoshway, Y., & Grachev, M. (2020). Changes in valve morphology of two pennate diatom species during long-term culture. *Acta Biologica Sibirica*, 6, 669–678. <https://doi.org/10.3897/abs.6.e57888>
- Ronquist, F., Teslenko, M., van der Mark, P., Ayres, D., Darling, A., Höhna, S., Larget, B., Liu, L., Suchard, M., & Huelsenbeck, J. (2012). MrBayes 3.2: Efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space. *Systematic Biology*, 61(3), 539–542. <https://doi.org/10.1093/sysbio/sys029>
- Rose, D., & Cox, E. J. (2013). Some diatom species do not show a gradual decrease in cell size as they reproduce. *Fundamental and Applied Limnology*, 182(2), 117–122. <https://doi.org/10.1127/1863-9135/2013/0406>
- Stepanek, J. G., & Kociolek, J. P. (2013). Several new species of *Amphora* and *Halamphora* from the western USA. *Diatom Research*, 28(1), 61–76. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2012.735205>
- Stepanek, J. G., & Kociolek, J. P. (2014). Molecular phylogeny of *Amphora* sensu lato (Bacillariophyta): an investigation into the monophyly and classification of the amporoid diatoms. *Protist*, 165(2), 177–195. <https://doi.org/10.1016/j.protis.2014.02.002>
- Stepanek, J. G., & Kociolek, J. P. (2015). Three new species of the diatom genus *Halamphora* (Bacillariophyta) from the prairie pothole lakes region of North Dakota, USA. *Phytotaxa*, 197, 27–36. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.197.1.3>
- Stepanek, J. G., Mayama, S., & Kociolek, J. P. (2015). Description and phylogenetic position of *Amphora aliformis* (Bacillariophyta), a new species from Tokyo Bay. *Phycologia*, 54, 78–86. <https://doi.org/10.2216/14-081.1>
- Stepanek, J. G., & Kociolek, J. P. (2018). *Amphora* and *Halamphora* from coastal and inland waters of the United States and Japan, with the description of 33 new species. In Lange-Bertalot, H. & Kociolek, J. P. *Bibliotheca Diatomologica*, volume 66, Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 260 pp.
- Stepanek, J. G., & Kociolek, J. P. (2019). Molecular phylogeny of the diatom genera *Amphora* and *Halamphora* (Bacillariophyta) with a focus on morphological and ecological evolution.

Recibido:

23/noviembre/2023

Aceptado:

21/junio/2024

- Journal of Phycology*, 55. <https://doi.org/10.1111/jpy.12836>
- Swofford, D. (2002). PAUP*. Phylogenetic Analysis Using Parsimony (*and Other Methods). Version 4.0b10. In *version 4.0b10 edn: Vol. Version 4*. Sinauer, Associates, Sunderland. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2002.tb00191.x>
- Van de Vijver, B., Kopalova, K., Zidarova, R., & Levkov, Z. (2014). Revision of the genus *Halamphora* (Bacillariophyta) in the Antarctic Region. *Plant Ecology and Evolution*, 147, 374–391. <https://doi.org/10.5091/plecevo.2014.979>
- Wachnicka, A., & Gaiser, E. (2007). Characterization of *Amphora* and *Seminavis* from South Florida, USA. *Diatom Research*, 22(2), 387–455. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2007.9705722>

RIQUEZA Y COMPOSICIÓN DE LÍQUENES DE LOS PUEBLOS MÁGICOS DE CUETZALAN Y TLATLAUQUITEPEC, PUEBLA, MÉXICO

LICHEN RICHNESS AND COMPOSITION OF THE MAGICAL TOWNS OF CUETZALAN AND TLATLAUQUITEPEC, PUEBLA, MEXICO

Pérez-Pérez, Rosa Emilia; Romina Silva-Espejo; Dulce María Figueroa-Castro y Carlos Castañeda-Posadas

RIQUEZA Y COMPOSICIÓN DE LÍQUENES DE LOS PUEBLOS MÁGICOS DE CUETZALAN Y TLATLAUQUITEPEC, PUEBLA, MÉXICO

LICHEN RICHNESS AND COMPOSITION OF THE MAGICAL TOWNS OF CUETZALAN AND TLATLAUQUITEPEC, PUEBLA, MEXICO



Riqueza y composición de líquenes de los pueblos mágicos de Cuetzalan y Tlatlauquitepec, Puebla, México

Lichen richness and composition of the magical towns of Cuetzalan and Tlatlauquitepec, Puebla, Mexico

Rosa Emilia Pérez-Pérez;
Romina Silva-Espejo; Dulce
María Figueroa-Castro y
Carlos Castañeda-Posadas

RIQUEZA Y COMPOSICIÓN
DE LÍQUENES DE LOS
PUEBLOS MÁGICOS DE
CUETZALAN Y
TLATLAUQUITEPEC,
PUEBLA, MÉXICO

LICHEN RICHNESS AND
COMPOSITION OF THE
MAGICAL TOWNS OF
CUETZALAN AND
TLATLAUQUITEPEC,
PUEBLA, MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 31-47, Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.3

Rosa Emilia Pérez-Pérez

Autor de correspondencia: emilia.perez@correo.buap.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5874-2849>

Romina Silva-Espejo <https://orcid.org/0009-0005-1394-8858>

Laboratorio de Liquenología, Facultad de Ciencias Biológicas,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México

Dulce María Figueroa-Castro <https://orcid.org/0000-0003-3611-191X>

Laboratorio de Interacciones Ecológicas, Facultad de Ciencias Biológicas,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México

Carlos Castañeda-Posadas <https://orcid.org/0000-0002-3002-2249>

Laboratorio de Paleobiología, Herbario y Jardín Botánico Universitario,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México

RESUMEN: Más allá de la riqueza cultural e histórica que identifica a Cuetzalan y Tlatlauquitepec, está la diversidad biológica que alberga. El tipo de vegetación dominante es el bosque mesófilo de montaña, el cual se encuentra en riesgo de desaparecer debido a la transformación a tierras de cultivo, plantíos de café y al turismo, lo que provoca la extirpación de las especies que ahí habitan, tales como helechos, licopodios y líquenes. El objetivo de este estudio fue documentar la riqueza líquénica del bosque mesófilo de montaña para lo cual se hicieron recorridos de campo y una recolecta oportunista no cuantitativa. Se identificaron 110 especies de líquenes en 52 géneros. La mayoría de las especies fueron líquenes costrosos (38%) y líquenes foliosos (51% líquenes). El género *Parmotrema* fue mesodiverso con 23 especies, mientras que 33 géneros fueron monoespecíficos al presentar cada uno de ellos una sola especie, tal es el caso de *Bacidia*, *Baeomyces*, *Bulbothrix*, *Dermatocarpon*, y *Teloschistes*. Se reporta a *Allographa chlorocarpa*, *A. rufopallida*, *Leucodermia guzmaniana* y a *Pyxine pyxinoides* como nuevos registros para el estado de Puebla. A pesar de los resultados obtenidos, aún falta mucho por hacer para completar el inventario de los líquenes. Es necesario diseñar estrategias efectivas en las que se incluya en las áreas prioritarias para la conservación a los líquenes, ya que son un componente importante de los ecosistemas.

Palabras clave: Formas de crecimiento, mesodiverso, monoespecífico, riqueza, conservación.

ABSTRACT: Beyond the cultural and historical richness that identifies Cuetzalan and Tlatlauquitepec, there is the biological diversity it houses. The dominant type of vegetation is the cloud forest, which is at risk of disappearing due to the transformation to land cultivation, coffee plantations, and tourism, causing the extirpation of the species that live there, such as ferns, lycopods, and lichens. This study aimed to document the lichen richness species of cloud forest; we conducted field trips and opportunistic non-quantitative recollections. We identified 110 lichen species in 52 genera. Most of the species were crustose lichens (38%) and foliose lichens (51%). The genus *Parmotrema* was mesodiverse with 23 species, while 33 genera were monospecific in presenting only one species each, such as *Bacidia*, *Baeomyces*, *Bulbothrix*, *Dermatocarpon*, and *Teloschistes*. We report to *Allographa chlorocarpa*, *A. rufopallida*, *Leucodermia guzmaniana*, and *Pyxine pyxinoides* that had not previously been recorded in the Puebla state. Instead of the results obtained, there is still much work to inventory the lichen thoroughly. It is necessary to design effective strategies in which lichens are included in priority areas for conservation since they are an important component of ecosystems.

Key words: Growth forms, mesodiverse, monospecific, richness, conservation.

INTRODUCCIÓN

El Programa “Pueblos Mágicos” fue implementado por el Gobierno Federal a través de la Secretaría de Turismo, tiene como propósito la valorización de las riquezas tangibles e intangibles de los pueblos mexicanos e impulsar el desarrollo económico en el sector turístico del país, fortalecer y elevar la calidad de vida de sus habitantes al mismo tiempo que optimizan el aprovechamiento racional de los recursos y atractivos naturales y culturales (Diario Oficial de la Federación (DOF), 2020; García Castro *et al.*, 2016; Pérez Towns, 2018). Aún cuando poseen esta categoría, se tiene el riesgo de que los recursos naturales se vean como una mercancía que puede ser sometida a procesos de privatización y sobreexplotación (Massieu Trigo, 2017; Rojas García & Fernández Lomelín, 2020), a pesar del esfuerzo que hacen los pobladores de estos pueblos ancestrales por llevar a cabo el aprovechamiento de la flora y fauna de manera respetuosa con la naturaleza (Massieu Trigo, 2017).

Los municipios de Cuetzalan y Tlatlauquitepec, llamados “pueblos mágicos”, pertenecen a la Región II Teziutlán, en la Sierra Nororiental del Estado de Puebla, presenta una orografía accidentada y abundante agua, es considerada como región prioritaria para la conservación debido a la existencia de bosques mesófilos de montaña (BMM) y de selva alta perennifolia (CONABIO, 2011). En estos municipios domina el BMM, el cual es considerado como el ecosistema que alberga la mayor diversidad biológica y el que posee un alto grado de endemismos (Challenger & Soberón, 2008; Rzedowski, 1996). A nivel mundial, se estima que la mayor abundancia y diversidad de especies se encuentra en los bosques mesófilos de montaña, los cuales están en riesgo de desaparecer (UNESCO, 2000). En México, este ecosistema se encuentra en forma de relictos en algunas cañadas, y se considera que ocupa menos del 1% del territorio nacional (Rosas Rangel *et al.*, 2019). En general, estos bosques presentan un alto nivel de amenaza debido a la alta densidad poblacional, lo cual provoca una gran demanda de recursos maderables y no maderables, así como la transformación a tierras agrícolas y ganaderas (CONABIO, 2010), provocando consecuencias irreversibles (UNESCO, 2000) y poniendo en riesgo a las especies que alberga, entre las que destacan las epífitas tales como bromelias, orquídeas, musgos y líquenes; todos estos organismos son parte sustancial de los bosques (p. ej. los líquenes contribuyen de manera importante en la fijación de nitrógeno) (Markham & Fernández Otárola, 2021).

Los líquenes, son la asociación simbiótica resultado de las interacciones entre hongos (micobionte primario y secundario), algas y/o cianobacterias (fotobiontes primario y secundario), y elementos de un microbioma bacteriano específico asociado con el talo liquénico (Lücking *et al.*, 2021; Spribille *et al.*, 2016). Los líquenes exhiben diferentes formas de crecimiento, siendo éstas: líquenes costrosos (microlíquenes), foliosos (incluidos gelatinosos y umbilicados), fruticosos y líquenes compuestos (todos ellos llamados macrolíquenes) (Nash III, 2008). Los líquenes son componentes indispensables de los ecosistemas (Dyer & Letourneau, 2007), se estima que pueden cubrir hasta el 8% de los ecosistemas terrestres (Purvis, 2000), son pioneros en sistemas rocosos desprovistos de vegetación, promueven la formación de suelo, incrementan la disponibilidad de nitrógeno en el sustrato y acumulan varios elementos esenciales tales como: potasio (K), fósforo (P) y azufre (S) (Hawksworth *et al.*, 2005); asimismo, influyen en el establecimiento de las plantas vasculares (Root & Dodson, 2016). Son una fuente de alimento para algunos vertebrados y son utilizados como camuflaje por algunos invertebrados y vertebrados (p. ej. mariposas, mamíferos y reptiles) (Allgaier, 2007; Soofi *et al.*, 2022). Algunas aves utilizan a los líquenes fruticosos (p. ej. *Ramalina celastri*) para construir sus nidos (Ibañez *et al.*, 2018), otras aves como los colibríes utilizan a algunos líquenes foliosos tales como *Parmotrema* e *Hypotrachyna* (Mercado-Díaz *et al.*, 2015) para “adornar” el exterior de sus nidos (Graves & Dal Forno, 2018).

No obstante a la importancia de los líquenes, la fragmentación y transformación de los ecosistemas, los pone en riesgo de desaparecer, esto debido a que se modifica la heterogeneidad estructural de su hábitat (p. ej. cambios microclimáticos, cambios en la estructura y cobertura de los bosques, baja disponibilidad de sustrato) (Cordova & Del Castillo, 2001; Löhmus *et al.*, 2023); y dada la susceptibilidad que tienen los líquenes a estos cambios, es importante tratar de estimar cuál es la riqueza de especies en los diferentes sitios, regiones o ecosistemas (Bergamini *et al.*, 2005, 2007; Lücking *et al.*, 2009).

La riqueza de especies estimada para la parte tropical de México es de aproximadamente 3600 especies (Lücking *et al.*, 2009); para el estado de Puebla, se tienen registradas 361, las cuales

exhiben diferentes tipos de crecimiento (Herrera-Campos *et al.*, 2014). Rivera-Aguilar *et al.* (2006) reportaron ocho especies de líquenes saxícolas para el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla. Sánchez Girón (2019), en un estudio llevado a cabo en un remanente de bosque de *Quercus* en la comunidad de San Pedro Atlixco, San Juan Tianguismanalco, Puebla; reporta 10 órdenes, 16 familias, 26 géneros y 85 especies de líquenes. Águila Rodríguez (2017), estudió la composición de la comunidad líquénica en dos remanentes de bosque mesófilo de montaña con diferente grado de conservación en la sierra nororiental de Puebla; a pesar de que el BMM se encontró muy deteriorado, la comunidad líquénica estuvo compuesta por 124 especies distribuidas en 7 órdenes 13 familias y 26 géneros. Para el municipio de Tlatlauquitepec, se han reportado 40 especies de líquenes foliícolas de la presa La Soledad (Herrera-Campos *et al.*, 2004; Lücking, 2008).

En otros estudios llevados a cabo en remanentes de bosque mesófilo de montaña en el estado de Veracruz, en donde cerca del 90% de estos bosques han desaparecido (Williams-Linera *et al.*, 2002), se ha documentado una riqueza de poco más de 300 especies de líquenes como resultado tanto de estudios ecológicos (Castillo-Campos *et al.*, 2019; Córdova-Chávez *et al.*, 2016; Pérez-Pérez *et al.*, 2015) como florísticos (Pérez-Pérez & Guzmán, 2015). Los líquenes reportados exhiben diferentes formas de crecimiento, tales como costrosos, foliosos, fruticosos y compuestos, en los que se incluyen además especies nuevas para la ciencia, tales como *Astrothelium coccineum* Córdova-Chávez, Aptroot & M. Cáceres, *Micarea viridicapitata* Córdova-Chávez, Aptroot & R.-E. Pérez, *Protoparmelia microspora* Córdova-Chávez, Aptroot & M. Cáceres (Córdova-Chávez *et al.*, 2014), *Cora lawreyana* Moncada, R.-E. Pérez & Lücking y *C. totonacorum* Moncada, R.-E. Pérez & Lücking (Moncada *et al.*, 2019).

En los municipios de Cuetzalan y Tlatlauquitepec se han hecho esfuerzos por recuperar y preservar no solo a la flora características del bosque mesófilo de montaña, tales como las orquídeas, licofitas y helechos (Cerón-Carpio, 2011; Cerón-Carpio *et al.*, 2006; CONABIO, 2011; Mendoza-Ruiz & Ceja-Romero, 2020), sino también a otras especies endémicas como los anfibios (Villaseñor-Amador *et al.*, 2022). Sin duda, otro elemento importante de estos bosque que vale la pena conservar, sobre todo por la importancia ecológica que tienen, son los líquenes; ya que si se toman en cuenta por un lado las características climáticas del BMM, y por el otro a que los líquenes son capaces de absorber vapor de agua de la niebla (Smith, 1995), es probable que sea hábitat de una gran riqueza líquénica, en la que sobresalgan los líquenes foliosos y fruticosos debido a que tienen mayor área para capturar y absorber la humedad. Considerando lo anterior es que se planteó como objetivo conocer cuáles son los géneros y/o especies que conforman a la comunidad líquénica en el bosque mesófilo de montaña de los pueblos mágicos de Cuetzalan y Tlatlauquitepec, Puebla, México.

MÉTODOS

Área de estudio

Los municipios de Cuetzalan y Tlatlauquitepec pertenecen a la Región II Teziutlán, Puebla; se localiza entre las coordenadas 19° 46' 23" y 20° 11' 55" latitud norte y 97° 09' 17" y 97° 38' 36" longitud oeste. Pertenecen a la región hidrológica Tuxpan-Nautla, tienen medias anuales de precipitación de más de 4000 mm, la temperatura media anual oscila entre los 14° C hasta los 24 °C (CONABIO, 2011).

Muestreo e identificación de líquenes

Se tuvieron siete sitios de muestreo, en cada uno de ellos se tomó un punto al azar en donde se registraron los datos de la posición geográfica; a partir de ahí se hicieron los recorridos de campo; cinco de ellos fueron en el 2013, en fragmentos de BMM del municipio de Cuetzalan, y dos más en el 2021, estos últimos pertenecieron al municipio de Tlatlauquitepec (Cerro de Necteppec y en la Presa La Soledad) (Tabla 1). En cada uno de los sitios y durante los recorridos se hicieron recolectas oportunistas no cuantitativas en todos los sustratos disponibles (Cáceres *et al.*, 2008; Sipman, 1996).

Tabla 1. Localización geográfica de los sitios de muestreo, así como la caracterización de cada uno de ellos, se indica además el municipio al cual pertenecen.

Table 1. The geographic location of the sampling sites, the characterization of each one, and the municipality to which they belong are indicated.

Sitio	Municipio	Caracterización	Posición geográfica	Altitud (msnm)
1. Jardín Botánico Xoxotic	Cuetzalan	BMM con elementos de encino	20° 02' 25,9" N 97° 30' 34" O	870
2. Grutas La Aventura	Cuetzalan	BMM con elementos de vegetación secundaria	20° 0' 15,3" N 97° 30' 34" O	1179
3. Cascada Las Golondrinas	Cuetzalan	BMM con cafetal	20° 0' 32,4" N 97° 30' 29,1" O	814
4. Cascada Las Brisas	Cuetzalan	BMM con cafetal	20° 02' 26,4" N 97° 30' 29,1" O	872
5. El Arenal	Cuetzalan	BMM con cultivos de plátano	19° 59' 59,9" N 97° 34' 56,1" O	1010
6. Cerro de Nectepac	Tlatlauquitepec	BMM perturbado con cafetal de sombra y sol	20° 00' 55,38" N 97° 26' 16,63" O	804
7. Presa La Soledad	Tlatlauquitepec	BMM perturbado	19° 57' 51,71" N 97° 26' 48,92" O	731

Las muestras de los talos liquénicos fueron previamente herborizadas; posteriormente, se separaron por formas de crecimiento para proceder a su identificación a nivel de género y/o especie utilizando claves especializadas (Brodo, 2016; Cáceres, 2007; Herrera-Campos *et al.*, 2016; Lücking, 2008; Mongkolsuk *et al.*, 2015). Para observar los caracteres anatómicos (p. ej. estructuras de reproducción) se utilizó un microscopio estereoscópico Carl Zeiss Stemi 305 y un microscopio óptico Carl Zeiss Primo Star. Se hicieron pruebas de reacciones macroquímicas en la corteza y en la médula con hidróxido de potasio al 10% (KOH), hipoclorito de sodio (NaOCl) y para-fenilenediamina (P); así mismo, cuando se requirió, los talos se observaron bajo la lámpara de luz ultravioleta de onda larga (UV 365 nm) (Brodo *et al.*, 2001). En algunos ejemplares se hizo además cromatografía en capa fina utilizando el solvente C (Tolueno-Ácido acético; 85:15, 240 ml) (Culberson & Kristinsson, 1970). Es importante mencionar que los talos muy pequeños o sin estructuras de reproducción se identificaron a nivel de género. La nomenclatura de cada especie se corroboró en la base de datos Mycobank (Robert *et al.*, 2005). Las muestras recolectadas están depositadas en el Herbario de líquenes de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (HUAPLI).

RESULTADOS

Aun cuando cada uno de los sitios de muestreo aportó en promedio 23 especies; todos ellos se consideraron parte de un mismo bosque; por consiguiente, la riqueza de la comunidad liquénica del bosque mesófilo de montaña de Cuetzalan y Tlatlauquitepec estuvo conformado por 110 especies que pertenecen a 52 géneros (Tabla 2). Destacan las especies *Allographa chlorocarpa* (Fée) Lücking & Kalb, *Allographa rufopallida* (Vain.) Lücking & Kalb, *Leucodermia guzmaniana* Guzmán-Guillermo, Díaz-Escandón & Medel y *Pyxine pyxinoides* (Müll. Arg.) Kalb por ser registros nuevos para el estado de Puebla.

Tabla 2. Lista de especies recolectadas en los diferentes sitios de muestreo de los municipios de Cuetzalan y Tlatlauquitepec; se indica su presencia en cada uno de ellos con el signo +. Se hace mención de la forma de crecimiento que exhibieron, representado por las letras C (Costroso), Cf (Costroso foliicola), Co (Compuesto), F (Folioso) y Fr (Fruticoso).

Table 2. List of species collected in the different sampling sites of the municipalities of Cuetzalan and Tlatlauquitepec; its presence is indicated in each of them with the + sign. The growth form they exhibited is mentioned, represented by the letters C (Crustose), Cf (Foliicolous Crustose), Co (Compose), F (Foliose), and Fr (Fruticose).

Especie	Forma de crecimiento	Sitio de muestreo						
		1	2	3	4	5	6	7
<i>Allographa chlorocarpa</i> (Fée) Lücking & Kalb	C		+					
<i>Allographa rufopallida</i> (Vain.) Lücking & Kalb	C		+					
<i>Allographa</i> sp.	C				+			
<i>Arthonia</i> sp.	Cf						+	
<i>Asterothyrium pittieri</i> Müll. Arg.	Cf							+
<i>Asterothyrium uniseptatum</i> Lücking	Cf							+
<i>Aulaxina</i> sp.	Cf						+	+
<i>Bacidia heterochroa</i> (Müll. Arg.) Zahlbr	C		+	+				
<i>Bacidina apiahica</i> (Müll. Arg.) Vězda	Cf						+	
<i>Bacidina pallidocarpa</i> (Müll. Arg.) Vězda	Cf						+	
<i>Baeomyces rufus</i> (Hudson) Rebent.	Co			+				
<i>Brasilicia brasiliensis</i> (Müll. Arg.) Lücking, Kalb & Sérus.	Cf							+
<i>Bulbothrix ventricosa</i> (Hale & Kurok) Hale	F	+						
<i>Byssoloma</i> sp.	Cf							+
<i>Calopadia subcoerulescens</i> (Zahlbr.) Vězda	Cf			+				+
<i>Caloplaca persimilis</i> Wetmore	C				+			
<i>Caloplaca stipitata</i> Wetmore	C				+			
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Stein	F	+	+			+		
<i>Chroodiscus</i> sp.	Cf						+	
<i>Cladonia</i> sp.	Co	+	+	+	+	+		
<i>Coccocarpia palmicola</i> (Spreng.) Arv. & D.J. Galloway	F			+				
<i>Coccocarpia pellita</i> (Ach.) Müll. Arg.	F			+				
<i>Coenogonium minimum</i> (Müll. Arg.) Lücking	Cf						+	
<i>Coenogonium</i> sp.	C			+	+			
<i>Crocodia aurata</i> (Ach.) Link	F	+	+	+		+		
<i>Dermatocarpon miniatum</i> (L.) W. Mann	F		+					
<i>Dirinaria picta</i> (Sw.) Clem. & Shear	F	+						
<i>Echinoplaca</i> sp.	Cf			+			+	
<i>Fellhanera bouteillei</i> (Desm.) Vězda	Cf						+	
<i>Graphis tenella</i> Ach.	C					+		
<i>Gyalectidium filicinum</i> Müll. Arg.	Cf	+		+		+		+
<i>Gyalectidium rosae-emiliae</i> Herrera-Camp. & Lücking	Cf						+	
<i>Gyalideopsis vulgaris</i> (Müll. Arg.) Lücking	Cf			+			+	+
<i>Herpothallon rubrocinctum</i> (Ehrenb.) Aptroot, Lücking & G. Thor	C	+	+	+	+	+	+	+
<i>Heterodermia</i> cf. <i>galactophylla</i> (Tuck.) W.L. Culb.	F		+					
<i>Heterodermia</i> grupo comosa	F		+		+	+		
<i>Heterodermia speciosa</i> (Wulfen) Trevis	F	+			+			
<i>Heterodermia tremulans</i> (Müll. Arg.) W.L. Culb.	F		+			+		
<i>Heterodermia tropica</i> (Kurok.) Kurok.	F				+			
<i>Heterodermia</i> sp.	F	+						

<i>Hypotrachyna imbricatula</i> (Zahlbr.) Hale	F			+					
<i>Hypotrachyna protenta</i> Hale	F	+							
<i>Hypotrachyna pulvinata</i> (Feé) Hale	F	+							
<i>Hypotrachyna vexans</i> (Zahlbr. ex W.L. Culb. & C.F. Culb.)	F			+					
<i>Lecanora argentata</i> (Ach) Röhl	C		+						
<i>Lecanora leprosa</i> Fée	C		+						
<i>Lepra ventosa</i> (Malme) Lendemer & R.C. Harris	C				+				
<i>Leptogium arsenei</i> Sierk	F				+				
<i>Leptogium azureum</i> (Sw.) Mont.	F			+					
<i>Leptogium corticola</i> (Taylor) Tuck	F			+					
<i>Leptogium cyanescens</i> (Ach.) Körb	F					+			
<i>Leptogium furfuraceum</i> (Harm.) Sierk	F					+			
<i>Leucodermia guzmaniana</i> Guzmán-Guillermo, Díaz-Escandón & Medel	F			+					
<i>Leucodermia leucomelos</i> (L.) Kalb	F		+						
<i>Lobariella</i> sp.	F						+		
<i>Malmidea vinosa</i> (Eschw.) Kalb, Rivas Plata & Lumbsch	C			+					
<i>Mazosia melanophthalma</i> (Müll. Arg.) R. Sant.	Cf								+
<i>Mazosia phyllosema</i> (Nyl.) Zahlbr.	Cf								+
<i>Parmotrema austrosinense</i> (Zahlbr.) Hale	F		+						
<i>Parmotrema conformatum</i> (Vain.) Hale	F			+					
<i>Parmotrema cooperi</i> (J. Steiner & Zahlbr.) Sérus.	F	+	+	+					
<i>Parmotrema coralliforme</i> (Hale) Hale	F	+							
<i>Parmotrema crinitum</i> (Ach.) M. Choisy	F			+					
<i>Parmotrema cristiferum</i> (Taylor) Hale	F		+						
<i>Parmotrema latissimum</i> (Feé) Hale	F		+						
<i>Parmotrema leucosemothetum</i> (Hue) Hale	F	+	+	+					
<i>Parmotrema mellissii</i> (C.W. Dodge) Hale	F			+					
<i>Parmotrema moreliense</i> (B. de Lesd.) W. Culb. & C. Culb.	F		+						
<i>Parmotrema paulense</i> (Zahlbr.) Hale	F			+					
<i>Parmotrema peralbidum</i> (Hale) Hale	F	+		+		+			
<i>Parmotrema perforatum</i> (Wulfen) A. Massal	F		+						
<i>Parmotrema perlatum</i> (Huds.) M. Choisy	F	+							
<i>Parmotrema praesorediosum</i> (Nyl.) Hale	F	+							
<i>Parmotrema rampoddense</i> (Nyl.) Hale	F	+		+					
<i>Parmotrema reticulatum</i> (Taylor) M. Choisy	F	+		+	+				
<i>Parmotrema robustum</i> (Degel.) Hale	F				+				
<i>Parmotrema sancti-angelii</i> (Lynge) Hale	F	+							
<i>Parmotrema stuppeum</i> (Taylor) Hale	F	+							
<i>Parmotrema subsumptum</i> (Nyl.) Hale	F	+		+					
<i>Parmotrema tinctorum</i> (Despr. ex Nyl.) Hale	F	+							
<i>Parmotrema ultralucens</i> (Krog) Hale	F			+		+			
<i>Peltigera cf. britannica</i> (Gyeln.) Holt.-Hartw. & Tønberg	F		+						
<i>Phaeographis lobata</i> (Eschw.) Müll. Arg.	C		+						
<i>Physcia solediosa</i> (Vain.) Lynge	F		+						
<i>Porina epiphylla</i> Fée	Cf							+	
<i>Porina kamerunensis</i> F. Schill.	Cf							+	
<i>Porina subepiphylla</i> Lücking & Vězda	Cf							+	

<i>Porina vezdae</i> Lücking	Cf	+		+				+
<i>Porina</i> sp.	Cf							+
<i>Pseudosagedia nitidula</i> Müll. Arg.	Cf						+	
<i>Puiggariella nemathora</i> (Mont.) S.H. Jiang, Lücking & J.C. Wei	Cf			+		+	+	+
<i>Punctelia bolliana</i> (Müll. Arg) Krog	F		+					
<i>Punctelia graminicola</i> (de Lesd.) Egan	F		+					
<i>Pyxine pyxinoides</i> (Müll. Arg.) Kalb	F				+			
<i>Ramalina cochlearis</i> Zahlbr.	Fr					+		
<i>Ramalina</i> sp. 1	Fr					+		
<i>Ramalina</i> sp.	Fr					+		
<i>Scytinium</i> cf. <i>rivale</i> (Tuck.) Otálora, P.M. Jørg. & Wedin	F			+				
<i>Scytinium palmatum</i> (Hudson) Gray	F			+				
<i>Segestria rubentior</i> (Stirt.) R.C. Harris	Cf						+	
<i>Sticta weigeli</i> (Ach.) Vain	F					+		
<i>Strigula smaragdula</i> Fr.	Cf	+					+	+
<i>Tapellaria epiphylla</i> (Müll. Arg.) R. Sant.	Cf	+						+
<i>Teloschistes chrysophthalmus</i> (L.) Th. Fr.	Fr	+	+			+		
<i>Usnea angulata</i> Ach	Fr				+			
<i>Usnea brasiliensis</i> (Zahlbr.) Motyka	Fr	+						
<i>Usnea cladocarpa</i> Fée	Fr			+				
<i>Usnea florida</i> (L.) Weber ex F.H. Wigg	Fr		+					
<i>Usnea glabrescens</i> (Nyl. ex Vain.) Vain.	Fr			+				
<i>Usnea</i> sp.	Fr	+	+	+	+			
Riqueza total de especies		29	29	36	18	17	18	16

Con respecto a la composición de la comunidad liquénica, el 38% (42 especies) fueron líquenes costrosos pertenecientes a 29 géneros; de estos 20 correspondieron a líquenes foliícolas (28 especies). Los líquenes foliosos representaron el 51% con 56 especies en 18 géneros. Los líquenes fruticosos representaron el 9% con 10 especies en tres géneros; mientras que, en el grupo de los líquenes compuestos solo se encontraron dos especies en dos géneros que correspondió al 2% del total de la comunidad liquénica (Tabla 2, Figura 1). La mayoría de las especies fueron líquenes cortícolas; aunque también hubo algunos saxícolas como el género *Dermatocarpon* y, edafícolas como el género *Peltigera*. En las figuras 2 y 3, se muestran algunos ejemplos de los géneros recolectados en el BMM de los municipios de Cuetzalan y Tlatlauquitepec, Puebla, México

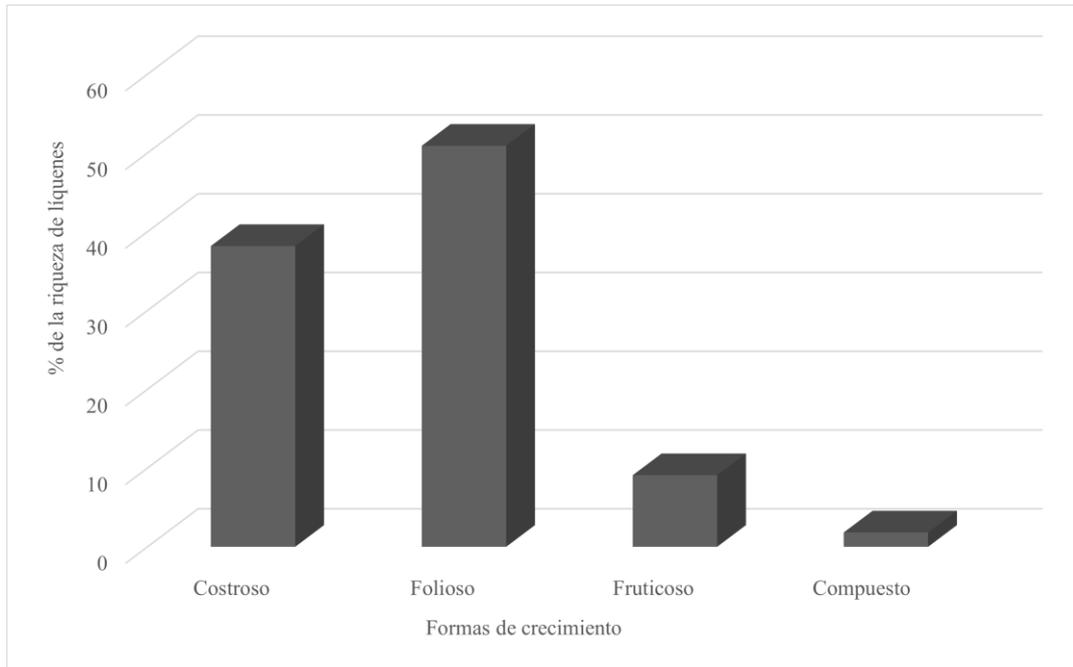


Figura 1. Porcentaje de la riqueza de líquenes por formas de crecimiento presentes en el bosque mesófilo de montaña de Cuetzalan y Tlatlauquitepec, Puebla, México.

Figure 1. Percentage of lichen richness by growth forms present in the mountain cloud forest of Cuetzalan and Tlatlauquitepec, Puebla, Mexico.

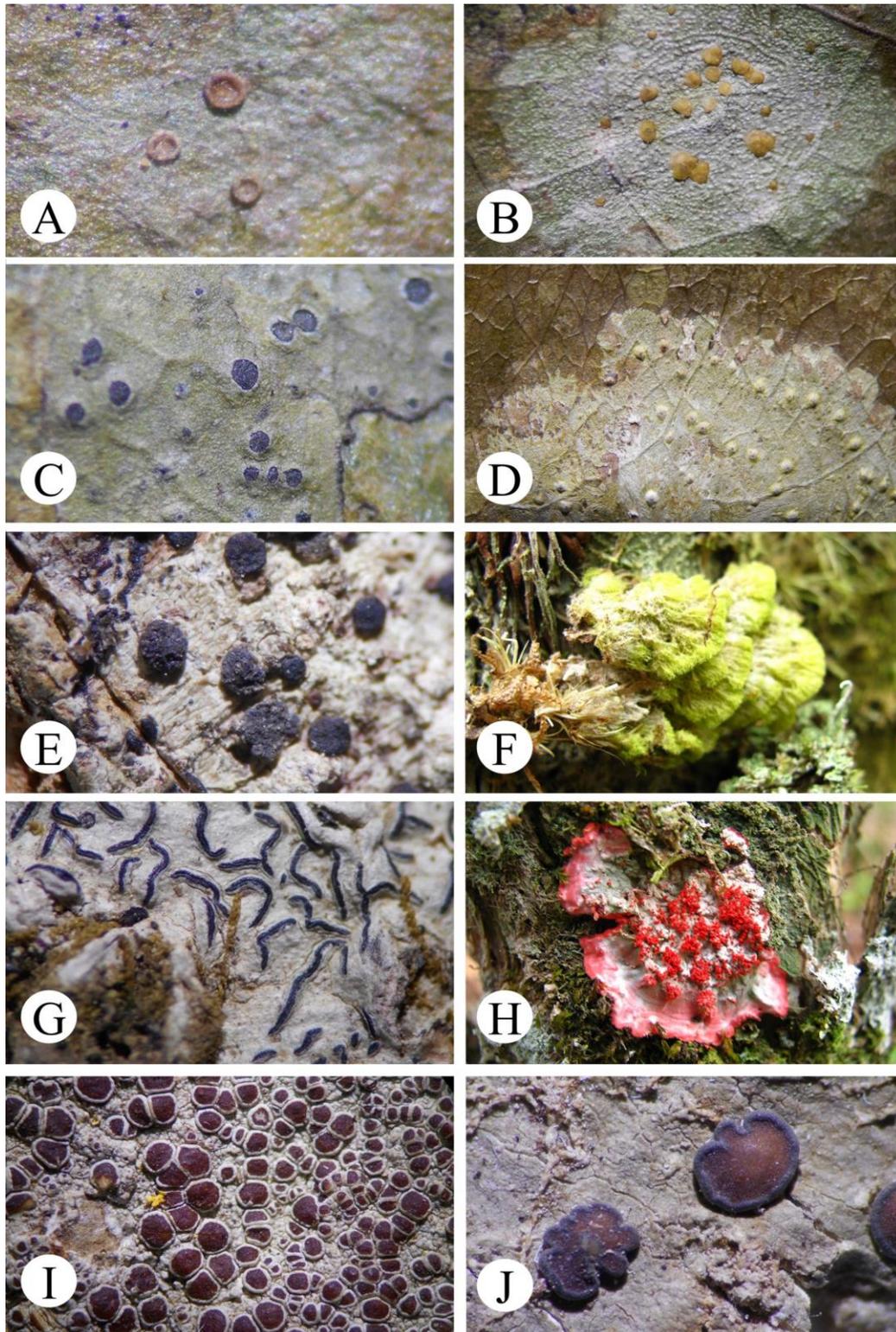


Figura 2. Algunos géneros de líquenes costrosos registrados en el BMM de Cuetzalan y Tlatlauquitepec, Puebla; de A a D corresponden a géneros de líquenes foliícolas. A) *Coenogonium* sp., B) *Gyalideopsis* sp., C) *Mazosia* sp., D) *Puiggariella* sp., E) *Bacidia* sp., F) *Coenogonium* sp., G) *Graphis* sp. H) *Herpothallon* sp., I) *Lecanora* sp., J) *Malmidea* sp. (Fotografías: R.E. Pérez-Pérez y R. Silva-Espejo).

Figure 2. Some genera of crustose lichens recorded in the BMM of Cuetzalan and Tlatlauquitepec, Puebla; A to D correspond to genera of foliicolous lichens. A) *Coenogonium* sp., B) *Gyalideopsis* sp., C) *Mazosia* sp., D) *Puiggariella* sp., E) *Bacidia* sp., F) *Coenogonium* sp., G) *Graphis* sp. H) *Herpothallon* sp., I) *Lecanora* sp., J) *Malmidea* sp. (Photographs: R.E. Pérez-Pérez and R. Silva-Espejo).

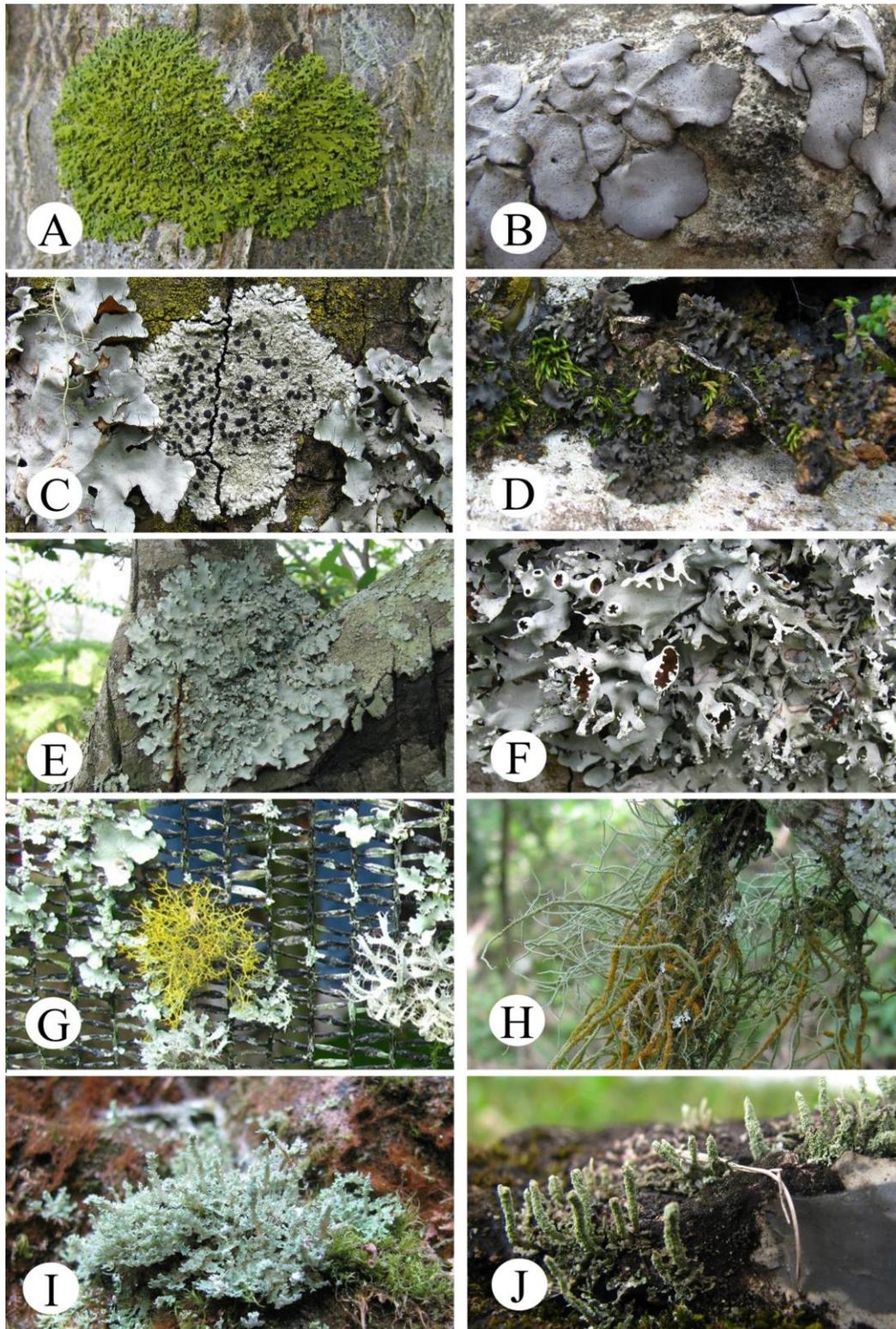


Figura 3. Algunos géneros de líquenes foliosos (A – F), fruticosos (G-H) y compuesto (I-J) registrados en el BMM de Cuetzalan y Tlatlauquitepec, Puebla; en donde A) *Candelaria* sp., B) *Dermatocarpon* sp., C) *Dirinaria* sp., D) *Leptogium* sp., E – F) *Parmotrema* sp., G) *Teloschistes* sp., H) *Usnea* sp., I – J) *Cladonia* sp. (Fotografías: R.E. Pérez-Pérez y R. Silva-Espejo).

Figure 3. Some genera of foliose (A – F), fruticose (G-H) and compose (I-J) lichens recorded in the BMM of Cuetzalan and Tlatlauquitepec, Puebla; where A) *Candelaria* sp., B) *Dermatocarpon* sp., C) *Dirinaria* sp., D) *Leptogium* sp., E – F) *Parmotrema* sp., G) *Teloschistes* sp., H) *Usnea* sp., I – J) *Cladonia* sp. (Photographs: R.E. Pérez-Pérez y R. Silva-Espejo).

Por último y siguiendo la propuesta de Lücking *et al.* (2017) para definir categorías considerando la riqueza de especies por géneros, se observó que el género *Parmotrema* fue mesodiverso al presentar 23 especies, mientras que 26 géneros resultaron monoespecíficos al presentar una sola especie (p. ej. *Brasilia*, *Calopadia*, *Crocodia*, *Pyxine*) (Tabla 2, 3).

Tabla 3. Categorías de riqueza de acuerdo al número de especies por géneros propuesta por Lücking *et al.* (2017).

Table 3. Richness categories according to the number of species by genus proposed by Lücking *et al.* (2017).

Categoría	Rango (número de especies)	Número de géneros
Monoespecífica	1	33
Biespecífica	2	11
Nanodiversa	3 a 5	5
Microdiversa	6 a 10	2
Mesodiversa	21 a 50	1

DISCUSIÓN

Los líquenes aunque no son plantas, también son muy diversos y vitales en los ecosistemas, y al igual que las plantas también están en riesgo (Yáñez-Ayabaca *et al.*, 2023), por lo que es importante documentar su riqueza y composición ya que esto a su vez, permite ampliar el conocimiento de los líquenes en los trópicos (Lücking *et al.*, 2009) pero sobre todo, en México (Miguel-Vázquez *et al.*, 2022). Lo cual se convierte en todo un reto considerando la continua fragmentación y transformación de los bosques; lo cual fue más evidente en el Cerro de Nectepéc, que poco a poco ha sido transformado en un bosque mesófilo de montaña perturbado con cafetal de sombra. Para estos casos, Aragón *et al.* (2019) indican que, es necesario implementar métodos rápidos para conocer la diversidad que existen en los bosques; y uno de ellos es utilizar las formas de crecimiento que presentan los líquenes.

En este estudio, la mayor riqueza correspondió a los líquenes foliosos cortícolas. Bergamini *et al.* (2005) consideran que los macrolíquenes tales como los líquenes foliosos y fruticosos pueden ser utilizados como indicadores de la riqueza total de la comunidad liquénica, esto debido a que son más fáciles de recolectar aunque no signifique que sean los más fáciles de identificar, lo cual coincide con Hawksworth *et al.* (2005) y Lücking *et al.* (2009) quienes mencionan que los macrolíquenes cortícolas son los más recolectados debido a que producen talos conspicuos y atractivos; como muestra de ello es el género *Parmotrema*, que exhibe talos grandes y son fáciles de recolectar, además fue el único género mesodiverso (23 especies). En contraste, se reporta a *Herpothallon rubrocinctum*, que a pesar de ser un líquen costroso cortícola, llama la atención por la coloración rojo carmín de su protalo y de los pseudoisidios granulares que presenta en el centro del talo (Bungartz *et al.*, 2013), lo que lo hace muy llamativo y visible (Figura 2H), y puede ser una de las razones por las que se recolectó en todos los sitios de muestreo.

Un componente importante de la biota liquénica, son los microlíquenes, los cuales a pesar de ser la forma de crecimiento dominante en algunos ecosistemas tales como los bosques tropicales secos (Miranda-González & McCune, 2020), son poco considerados ya sea en inventarios o bien, en estudios ecológicos, debido principalmente a la poca experiencia para llevar a cabo su identificación (Bergamini *et al.*, 2007; Lücking *et al.*, 2009). Si bien en este estudio la mayor riqueza correspondió a líquenes foliosos, cuando se analiza a nivel de género, los líquenes costrosos resultaron ser más diversos al presentar 29 géneros mientras que los líquenes foliosos estuvieron representados por 18. Estos resultados demuestran lo importante que es el incluir a los microlíquenes en los diferentes estudios, ya que de acuerdo a Bergamini *et al.* (2007), si solo se estudian a los macrolíquenes y un hábitat dominado por líquenes costrosos es erradicado, será difícil detectar la extirpación de especies con formas de crecimiento costrosas que pueden incluso ser raras.

A pesar de que se tiene un gran número de géneros monoespecíficos, y muchos de ellos pertenecen a líquenes costrosos tales como *Bacidia heterochoa*, *Dirinaria picta* y *Lepra ventosa*, por mencionar algunas, no pueden ser consideradas como especies raras, ya que para ello es necesario llevar a cabo muestreos cuantitativos que permitan detectar correctamente su condición en los ecosistemas (Cáceres *et al.*, 2008).

Otros microlíquenes que suelen encontrarse en los bosques mesófilos de montaña, son los líquenes foliícolas; los cuales debido a que son fáciles de recolectar, pueden ser buenos indicadores de la biodiversidad, de la dinámica de la vegetación y de factores ambientales (Lücking, 1997). Desafortunadamente, en los primeros recorridos que se hicieron en el municipio de Cuetzalan, solo se recolectaron algunas hojas; mientras que, en los sitios de Tlatlauquitepec, se hizo una recolecta más cuidadosa (Silva-Espejo *et al.*, datos no publicados). Herrera-Campos *et al.* (2004) y (Lücking, 2008), reportaron para el bosque mesófilo de montaña de La Presa la Soledad en Tlatlauquitepec, 17 géneros de líquenes foliícolas. Con los resultados obtenidos en este estudio, se integran a la lista los géneros *Aulaxina*, *Brasilicia*, *Byssoloma*, *Chroodiscus*, *Coenogonium*, *Fellhanera*, *Pseudosagedia*, *Puiggariella* y *Segestria*. Sin embargo, para poder complementar realmente el inventario de líquenes foliícolas, es necesario ampliar el número de hojas recolectadas tal y como lo sugieren Lücking & Lücking (1996).

La riqueza de especies reportadas hasta el momento (110 especies), es una contribución al conocimiento de la flora líquénica del BBM; lo que permite inferir de que, en efecto, son sitios con una alta diversidad de especies tal y como lo mencionan estudios previos llevados a cabo en relictos de bosques mesófilos de montaña de Puebla (Águila Rodríguez, 2017) y Veracruz (Castillo-Campos *et al.*, 2019; Pérez-Pérez *et al.*, 2015). Por consiguiente, es necesario diseñar estrategias efectivas en las que se incluya en las áreas prioritarias para la conservación a los líquenes, considerando que son parte del ecosistema, de las interacciones complejas entre las condiciones climáticas y el manejo antropogénico; y sobre todo porque dependen de un sustrato para sobrevivir (Scheidegger & Werth, 2009; Yáñez-Ayabaca *et al.*, 2023).

Por lo anteriormente descrito, y a pesar de que pueda ser complicada la publicación de listados de la flora líquénica (Yáñez-Ayabaca *et al.*, 2023), es necesario continuar con este tipo de estudios, que respalden el uso de los líquenes como bioindicadores aunque no se logre la identificación total de las especies (Hawksworth *et al.*, 2005). Lo que es cierto y coincidimos totalmente, es que a pesar de que este estudio contribuye al conocimiento de la riqueza y composición de la comunidad líquénica del bosque mesófilo de montaña de los llamados pueblos mágicos de Cuetzalan y Tlatlauquitepec; es necesario, para completar el inventario de los líquenes, ampliar los sitios de muestreo y hacer una recolecta más detallada de los líquenes en donde se incluyan todas las formas de crecimiento.

CONCLUSIONES

Aunque los líquenes no sean grandes y vistosos como algunos helechos característicos de los bosques mesófilos de montaña, también son importantes en el ecosistema y también están en riesgo de extirpación debido a la transformación de los ecosistemas a plantíos de café, tierras de cultivo y por la urbanización para llevar mejoras al turismo; por lo tanto, es necesario integrarlos en los planes y proyectos de conservación. Una manera de lograrlo es dar a conocer los resultados obtenidos en este estudio, no solo a la comunidad científica, sino también a la gente local que es la que está haciendo los verdaderos esfuerzos para conservar sus bosques. Una estrategia para ello, puede ser a través de talleres en donde se muestren las diferentes formas de crecimiento que pueden presentar los líquenes; y tratar de desarrollar un trabajo colaborativo. Por otro lado, y con los resultados obtenidos en este estudio, nos damos cuenta, que aún falta mucho para lograr completar el inventario de los líquenes en este bosque, y si bien los líquenes foliosos pueden ser utilizados como indicadores de áreas prioritarias para la conservación, no se deben de dejar de lado a los líquenes costrosos, no solo por que pueden encontrarse nuevos registros como en este estudio, sino por que son más susceptibles a la transformación de los ecosistemas. Por lo tanto, es necesario darle un valor de importancia a los listados de la flora líquénica los cuales pueden ser útiles a la hora de definir estrategias de conservación.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado por el apoyo brindado a través de Proyectos VIEP 2021-2022, en particular por el financiamiento otorgado al proyecto con clave 100521813-VIEP2021 desarrollado por el cuerpo académico BUAP-CA-335-Biogeografía Ecológica. A Amparo Bélgica Cerón Carpio, Xitlali Sánchez Girón y Mayolo Hernández por su apoyo en el trabajo de campo. A las doctoras Herrera-Campos (IB-UNAM) por su apoyo con la cromatografía en capa fina, y a Bibiana Moncada Cárdenas por su orientación en la identificación

de algunos líquenes costrosos. A los miembros del Jardín Botánico Xoxotic por las facilidades otorgadas durante las visitas a algunos sitios de muestreo. A los revisores anónimos por sus atinadas sugerencias.

LITERATURA CITADA

- Águila Rodríguez, G. (2017). *Composición de la comunidad líquénica en dos remanentes de bosque mesófilo con diferente grado de conservación en la sierra nororiental de Puebla* [Tesis de Licenciatura]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Allgaier, C. (2007). Active camouflage with lichens in a terrestrial snail, *Napaeus* (N.) *barquini* Alonso and Ibáñez, 2006 (Gastropoda, Pulmonata, Enidae). *Zoological Science*, 24(9), 869–876. <https://doi.org/10.2108/zsj.24.869>
- Aragón, G., Martínez, I., Hurtado, P., Benítez, Á., Rodríguez, C., & Prieto, M. (2019). Using growth forms to predict epiphytic lichen abundance in a wide variety of forest types. *Diversity*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/d11040051>
- Bergamini, A., Scheidegger, C., Stofer, S., Carvalho, P., Davey, S., Dietrich, M., Dubs, F., Farkas, E., Groner, U., Kärkkäinen, K., Keller, C., Lökös, L., Lommi, S., Máguas, C., Mitchell, R., Pinho, P., Rico, V. J., Aragón, G., Truscott, A.-M., ... Watt, A. (2005). Performance of macrolichens and lichen genera as indicators of lichen species richness and composition. *Conservation Biology*, 19(4), 1051–1062. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00192.x-i1>
- Bergamini, A., Stofer, S., Bolliger, J., & Scheidegger, C. (2007). Evaluating macrolichens and environmental variables as predictors of the diversity of epiphytic microlichens. *The Lichenologist*, 39(5), 475–489. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000059026>
- Brodo, I. M. (2016). *Keys to Lichens of North America: Revised and Expanded*. New Haven and London: Yale University Press.
- Brodo, I. M., Duran Sharnoff, S., & Sharnoff, S. (2001). *Lichens of North America*. Yale University Press. <https://books.google.com.mx/books?id=YyS-hS15Ty4C>
- Bungartz, F., Dután-Patiño, V. L., & Elix, J. A. (2013). The lichen genera *Cryptothecia*, *Herpothallon* and *Helminthocarpon* (Arthoniales) in the Galapagos Islands, Ecuador. *Lichenologist*, 45(6), 739–762. <https://doi.org/10.1017/S0024282913000522>
- Cáceres, M. E. da Silva. (2007). *Corticolous crustose and microfoliose lichens of Northeastern Brazil*. IHW-Verlag.
- Cáceres, M. E. S., Lücking, R., & Rambold, G. (2008). Efficiency of sampling methods for accurate estimation of species richness of corticolous microlichens in the Atlantic rainforest of northeastern Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 17(6), 1285–1301. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9342-3>
- Castillo-Campos, G., Pérez-Pérez, R. E., Córdova-Chávez, O., García-Franco, J. G., & Cáceres, M. E. da S. (2019). Vertical distribution of epiphytic lichens on *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. in a remnant of cloud forest in the state of Veracruz, México. *Nordic Journal of Botany*, 37(12). <https://doi.org/10.1111/njb.02459>
- Cerón-Carpio, A. B. (2011). Diversidad de especies: pteridofitas (helechos y grupos afines). En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (Ed.), *La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado* (pp. 127–132). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno de Estado de Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Cerón-Carpio, A. B., Arreguín-Sánchez, Ma. de la L., & Fernández-Nava, R. (2006). Listado con anotaciones de las pteridofitas del municipio de Tlatlauquitepec, Puebla, México, y distribución de las especies en los diferentes tipos de vegetación. *Polibotánica*, 21, 45–60.
- Challenger, A., & Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres. En *Capital natural de México. Conocimiento actual de la biodiversidad* (Vol. 1, pp. 87–108). CONABIO.
- CONABIO. (2010). *El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- CONABIO. (2011). *La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado*. México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Cordova, J., & Del Castillo, R. F. (2001). Changes in epiphyte cover in three chronosequences in a Tropical Montane Cloud Forest in Mexico. En G. Gottsberger & S. Liede (Eds.), *Life forms and dynamics in Tropical Forest, Dissertations Botanical* (pp. 79–94). J. Cramer.

- Córdova-Chávez, O., Aptroot, A., Castillo-Campos, G., Cáceres, M. E. D. S., & Pérez-Pérez, R. E. (2014). Three new lichen species from cloud forest in Veracruz, Mexico. *Cryptogamie, Mycologie*, 35(2), 157–162. <https://doi.org/10.7872/crym.v35.iss2.2014.157>
- Córdova-Chávez, O., Castillo-Campos, G., Pérez-Pérez, R. E., García-Franco, J. G., & Cáceres, M. E. da S. (2016). Alpha diversity of lichens associated with *Quercus laurina* in a mountain Cloud Forest at Cofre de Perote Eastern Slope (La Cortadura), Veracruz, Mexico. *Cryptogamie, Mycologie*, 37(2), 193–204. <https://doi.org/10.7872/crym/v37.iss2.2016.193>
- Culberson, C. F., & Kristinsson, H.-D. (1970). A standardized method for the identification of lichen products. *Journal of Chromatography*, 46, 85–93.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2020). *Acuerdo por el que se establecen los criterios generales para el Nombramiento de Pueblos Mágicos*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5588815&fecha=10/03/2020#gsc.tab=0
- Dyer, L. A., & Letourneau, D. K. (2007). Determinants of lichen diversity in a rain forest understory. *Biotropica*, 39(4), 525–529. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2007.00300.x>
- García Castro, P. E., Gatica Barrientos, M. L., Cruz Sosa, E. R., Vargas Hernández, R. del R., Hernández García, J., Luis Gatica, K., de los Santos Morales, S., & Silverio Beristáin, G. (2016). Pueblos mágicos en Puebla y su aportación al desarrollo regional. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Sociales y Humanísticas*, 5(10).
- Graves, G. R., & Dal Forno, M. (2018). Persistence of transported lichen at a hummingbird nest site. *Northeastern Naturalist*, 25(4), N27–N31. <https://doi.org/10.1656/045.025.0410>
- Hawksworth, D. L., Iturriaga, T., & Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 22(2), 71–82. [https://doi.org/10.1016/S1130-1406\(05\)70013-9](https://doi.org/10.1016/S1130-1406(05)70013-9)
- Herrera-Campos, M. A., Lücking, R., Pérez-Pérez, R. E., Campos, Á., Martínez Colín, P., & Bárcenas Peña, A. (2004). The foliicolous lichen flora of Mexico. V. Biogeographical affinities, altitudinal preferences, and an updated checklist of 293 species. *The Lichenologist*, 36(5), 309–327. <https://doi.org/10.1017/S0024282904014483>
- Herrera-Campos, M. A., Lücking, R., Pérez-Pérez, R. E., Miranda, R., Sánchez, N., Barcenás-Peña, A., Carrizosa, A., Zambrano, A., Ryan, B. D., & Nash III, T. H. (2014). Biodiversidad de líquenes en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 82–99. <https://doi.org/10.7550/rmb.37003>
- Herrera-Campos, M. A., Pérez-Pérez, R. E., & Nash III, T. H. (2016). Lichens of Mexico. The Parmeliaceae - Keys, distribution and specimen descriptions. En *Bibliotheca Lichenologica*. J. Cramer.
- Ibañez, L. M., García, R. A., Fiorini, V. D., & Montalti, D. (2018). Lichens in the nests of European starling *Sturnus vulgaris* serve a mate attraction rather than insecticidal function. *Turkish Journal of Zoology*, 42(3), 316–322. <https://doi.org/10.3906/zoo-1710-3>
- Lõhmus, A., Motiejūnaitė, J., & Lõhmus, P. (2023). Regionally varying habitat relationships in lichens: The concept and evidence with an emphasis on North-Temperate ecosystems. En *Journal of Fungi* (Vol. 9, Número 3, p. 341). MDPI. <https://doi.org/10.3390/jof9030341>
- Lücking, R. (1997). Estado actual de las investigaciones sobre líquenes foliícolas en la región Neotrópica, con un análisis biogeográfico preliminar. *Tropical Bryology*, 13, 87–114.
- Lücking, R. (2008). *Foliicolous lichenized fungi*. Published by New York Botanical Garden Press on behalf of Organization for Flora Neotropica. <http://www.jstor.org/stable/25660968>
- Lücking, R., Hodkinson, B. P., & Leavitt, S. D. (2017). The 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota—Approaching one thousand genera. *The Bryologist*, 119(4), 361–416. <https://doi.org/10.1639/0007-2745-119.4.361>
- Lücking, R., Leavitt, S. D., & Hawksworth, D. L. (2021). Species in lichen-forming fungi: balancing between conceptual and practical considerations, and between phenotype and phylogenomics. En *Fungal Diversity* (Vol. 109, Número 1, pp. 99–154). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s13225-021-00477-7>
- Lücking, R., & Lücking, A. (1996). Foliicolous bryophytes and lichens. En S. R. Gradstein, P. Hietz, R. Lücking, A. Lücking, H. J. M. Sipman, H. F. M. Vester, J. H. Wolf, & E. Gardette (Eds.), *How to sample the epiphytic diversity of tropical rain forests* (Vol. 2, pp. 67–72). Ecotropica.
- Lücking, R., Plata, E. R. I., Chaves, J. L., Umaña, L., Sipman, H. J. M., Ücking, R. L., Lata, E. R. I. P., Haves, J. L. C., Maña, L. U., & Ipman, H. J. M. S. (2009). How many tropical lichens are there ... really? *Bibliotheca Lichenologica*, 39, 399–418.
- Markham, J., & Fernández Otárola, M. (2021). Bryophyte and lichen biomass and nitrogen fixation in a high elevation cloud forest in Cerro de La Muerte, Costa Rica. *Oecologia*, 195(2), 489–497. <https://doi.org/10.1007/s00442-020-04840-4>
- Massieu Trigo, Y. (2017). Movimiento indígena, ordenamiento territorial y biodiversidad en Cuetzalan, Puebla. *Argumentos*, 30(83), 119–148.

- Mendoza-Ruiz, A., & Ceja-Romero, J. (2020). New records of lycophytes and ferns for the state of Puebla, Mexico. *Acta Botanica Mexicana*, 127. <https://doi.org/10.21829/ABM127.2020.1637>
- Mercado-Díaz, J. A., Gould, W. A., González, G., & Lücking, R. (2015). *Lichens in Puerto Rico: An Ecosystem Approach* (Número IITF-GTR-46). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. https://data.fs.usda.gov/research/pubs/iitf/IITF_GTR_46.pdf
- Miguel-Vázquez, M. I., Simijaca, D., Pérez-Pérez, R. E., & Ocampo, G. (2022). Lichenized fungi of the arid zones of central Mexico: new records for the country and the state of Aguascalientes. *Sydowia*, 74, 15–31. <https://doi.org/10.12905/0380.sydowia74-2021-0015>
- Miranda-González, R., & McCune, B. (2020). The weight of the crust: Biomass of crustose lichens in tropical dry forest represents more than half of foliar biomass. *BIOTROPICA*, 1–11.
- Moncada, B., Pérez-Pérez, R. E., & Lücking, R. (2019). The lichenized genus *Cora* (Basidiomycota: Hygrophoraceae) in Mexico: High species richness, multiple colonization events, and high endemism. *Plant and Fungal Systematics*, 64(2), 393–411. <https://doi.org/10.2478/pfs-2019-0026>
- Mongkolsuk, P., Meesim, S., Poengsunnoen, V., Buaruang, K., Schumm, F., & Kalb, K. (2015). The lichen family Physciaceae in Thailand—II. Contributions to the genus *Heterodermia* sensu lato. *Phytotaxa*, 235(1), 001–066. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.235.1.1>
- Nash III, T. H. (2008). *Lichen Biology* (T. H. Nash III, Ed.; Second). Cambridge University Press.
- Pérez Towns, A. (2018). *La percepción social del programa de Pueblos Mágicos: el caso de Tlatlauquitepec, Puebla* [Tesis de Licenciatura]. Escuela de Ciencias Sociales, Universidad de las Américas Puebla.
- Pérez-Pérez, R. E., Castillo-Campos, G., & Cáceres, M. E. da S. (2015). Diversity of corticolous lichens in cloud forest remnants in la Cortadura, Coatepec, Veracruz, México in relation to phorophytes and habitat Fragmentation. *Cryptogamie, Mycologie*, 36(1), 79–92. <https://doi.org/10.7872/crym.v36.iss1.2015.79>
- Pérez-Pérez, R. E., & Guzmán, G. (2015). Parmotrema species in a cloud forest region turned into an urban zone in Xalapa, Veracruz, Mexico. *Bosque*, 36(3), 357–362. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000300003>
- Purvis, W. (2000). *Lichens* (1a ed.). Natural History Museum, London / Smithsonian Institution, Washington.
- Rivera-Aguilar, V., Montejano, G., Rodríguez-Zaragoza, S., & Durán-Díaz, A. (2006). Distribution and composition of cyanobacteria, mosses and lichens of the biological soil crusts of the Tehuacán Valley, Puebla, México. *Journal of Arid Environments*, 67(2), 208–225. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.013>
- Robert, V., Stegehuis, G., & Stalpers, J. (2005). *MYCOBANK Data*. The MycoBank engine and related databases. <https://www.Mycobank.org/>.
- Rojas García, O., & Fernández Lomelín, L. E. (2020). La defensa del territorio y el agua: un bien común desde la perspectiva masewalmeh: Cuetzalan del Progreso, Puebla. *Revista de Paz y Conflictos*, 12(2), 135–154. <https://doi.org/10.30827/revpaz.v12i2.11542>
- Root, H. T., & Dodson, E. K. (2016). Pssst...pass the algae: succession in lichen soil crusts. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(8), 451–452. <https://doi.org/10.1002/fee.1419>
- Rosas Rangel, D. M., Mendoza, M. E., Gómez-Tagle, A., & Tobón Marín, C. (2019). Advances and challenges in the knowledge on the tropical mountain cloud forests of Mexico. *Madera y Bosques*, 25(1), e2511759. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511759>
- Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botanica Mexicana*, 35, 25. <https://doi.org/10.21829/abm35.1996.955>
- Sánchez Girón, X. (2019). *Composición de la comunidad liquénica asociada a la selva baja caducifolia de San Pedro Atlixco, San Juan Tianguismanalco, Puebla* [Tesis de Licenciatura]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Scheidegger, C., & Werth, S. (2009). Conservation strategies for lichens: insights from population biology. *Fungal Biology Reviews*, 23(3), 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2009.10.003>
- Sipman, H. J. M. (1996). Corticolous lichens. En S. R. Gradstein, P. Hietz, R. Lücking, A. Lücking, H. J. M. Sipman, H. F. M. Vester, J. H. D. Wolf, & E. Gardette (Eds.), *How to sample epiphytic diversity of tropical rainforest* (Vol. 2, pp. 59–72). Ecotropica.
- Smith, C. W. (1995). Lichens as Indicators of Cloud Forest in Hawai'i. En L. S. Hamilton, J. O. Juvik, & F. N. Scatena (Eds.), *Tropical Montane Cloud Forests. Ecological Studies* (Vol. 110, pp. 309–314). Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2500-3_22
- Soofi, M., Sharma, S., Safaei-Mahroo, B., Sohrabi, M., Ghorbani Organli, M., & Waltert, M. (2022). Lichens and animal camouflage: some observations from central Asian ecoregions. *Journal of Threatened Taxa*, 14(2), 20672–20676. <https://doi.org/10.11609/jott.7558.14.2.20672-20676>
- Spribille, T., Tuovinen, V., Resl, P., Vanderpool, D., Wolinski, H., Aime, M. C., Schneider, K., Stabentheiner, E., Toome-Heller, M., Thor, G., Mayrhofer, H., Johannesson, H., &

Recibido:
12/octubre/2023

Aceptado:
21/junio/2024

- McCutcheon, J. P. (2016). Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens. *Science*, 353(6298), 488–492. <https://doi.org/10.1126/science.aaf8287>
- UNESCO. (2000). *Decision time for cloud forests. Water-related issues and problems of the humid tropics and other warm humid regions. IHP Humid Tropics Programme Series no. 13.*
- Villaseñor-Amador, D., Rivera González, C. M., & Hernández Díaz, J. A. (2022). Un Santuario de Anfibios para Proteger la Biodiversidad de Cuetzalan. *Eco-Lógico*, 62–69. <https://www.researchgate.net/publication/372134471>
- Williams-Linera, G., Manson, R. H., & Vera Isunza, E. (2002). La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques*, 8(1), 73–89.
- Yáñez-Ayabaca, A., Benítez, Á., Batallas Molina, R., Naranjo, D., Etayo, J., Prieto, M., Cevallos, G., Caicedo, E., Scharnagl, K., McNerlin, B., Swanson, S., Aragón, G., Fernández-Prado, N., Martínez, I., Burgaz, A. R., González, Y., Déleg, J., Vega, M., Van Den Boom, P., ... Bungartz, F. (2023). Towards a dynamic checklist of lichen-forming, lichenicolous and allied fungi of Ecuador - using the Consortium of Lichen Herbaria to manage fungal biodiversity in a megadiverse country. *Lichenologist*, 55(5), 203–222. <https://doi.org/10.1017/S0024282923000476>

ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN Y DIVERSIDAD DE UN BOSQUE DE GALERÍA AL NOROESTE DE MÉXICO

STRUCTURE, COMPOSITION, AND DIVERSITY OF A GALLERY FOREST IN NORTHWEST MEXICO

Amarán, María de Fatima; Eduardo Alanís-Rodríguez; Andrés Eduardo Estrada-Castillón; Luis Gerardo Cuellar-Rodríguez; Oscar Alberto Aguirre-Calderón y Guadalupe Geraldine García-Espinoza

ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN Y DIVERSIDAD DE UN BOSQUE DE GALERÍA AL NOROESTE DE MÉXICO

STRUCTURE, COMPOSITION, AND DIVERSITY OF A GALLERY FOREST IN NORTHWEST MEXICO



Estructura, composición y diversidad de un bosque de galería al noroeste de México

Structure, composition, and diversity of a gallery forest in northwest of Mexico

María de Fátima Amaran;
Eduardo Alanís-Rodríguez;
Andrés Eduardo-Estrada Castellón;
Luis Gerardo Cuellar-Rodríguez;
Oscar Alberto Aguirre-Calderón
y Guadalupe Geraldine
García-Espinoza

ESTRUCTURA,
COMPOSICIÓN Y
DIVERSIDAD DE UN
BOSQUE DE GALERÍA AL
NOROESTE DE MÉXICO

STRUCTURE,
COMPOSITION, AND
DIVERSITY OF A GALLERY
FOREST IN NORTHWEST
MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 49-63. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.4

María de Fátima Amarán <https://orcid.org/0000-0001-5383-3792>
Eduardo Alanís-Rodríguez <http://orcid.org/0000-0001-6294-4275>
Andrés Eduardo Estrada-Castillón <https://orcid.org/0000-0003-1061-9862>
Luis Gerardo Cuellar-Rodríguez <https://orcid.org/0000-0003-4969-611X>
Oscar Alberto Aguirre-Calderón <https://orcid.org/0000-0001-5668-8869>
Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales,
Carretera Nacional Km 145, CP 67700, Linares, Nuevo León, México

Guadalupe Geraldine García Espinoza

Autor de correspondencia: geraldine.geraldine@umich.mx
<https://orcid.org/0000-0002-3296-0570>

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Agrobiología
"Presidente Juárez, P." Lázaro Cárdenas 2290, Emiliano Zapata, Melchor
Ocampo, CP 60170, Uruapan, Michoacán

RESUMEN: Los bosques de galería constituyen ecosistemas complejos con alta diversidad. En los últimos años se ha incrementado el interés por conocer la dinámica del funcionamiento de estos ecosistemas, existen pocas las investigaciones relacionadas con los mismos. El objetivo de este estudio fue describir la diversidad, composición y estructura vertical de un bosque de galería en la parte alta de la cuenca del río Presidio, al noroeste de México; ofreciendo información sobre la conformación de las especies del área evaluada, siendo un antecedente para la toma de decisiones y elaboración de planes de manejo en el área. Se establecieron parcelas rectangulares de 1000 m², dentro de estas se le midió al arbolado el diámetro a 1.30 m, altura total, y diámetro de copa. Se analizó la estructura horizontal con base en el Índice de Valor de Importancia (IVI) y clases diamétricas; además, se determinó la riqueza y diversidad de especies de acuerdo con los índices de Margalef (D_{Mg}) y de Shannon-Weiner (H'). Se registraron 10 taxones con una densidad de 261 individuos (N ha⁻¹), las especies de mayor valor ecológico (IVI) fueron *Pinus cooperi* (36.03) y *P. durangensis* (24.14). La diversidad y riqueza obtenida para el área fue de $H' = 1.59$ y $DMg = 1.53$ respectivamente. Los resultados muestran un bosque de galería sin especies particularmente dominantes, con valores de diversidad relativamente bajos; no existe una homogeneidad en la vegetación, la distribución de clases diamétricas mostró una tendencia negativa respecto a la abundancia y a la diversidad la cual puede ser atribuida a las prácticas de manejo forestal en el área.

Palabras clave: Estructura; índices de diversidad; distribución; bosque de galería.

ABSTRACT: Gallery forest constitute a complex ecosystem with high diversity. In recent years the interest in knowing the dynamic of those ecosystems operation has increased, there is still little research related to them. The objective of this study was to describe the diversity, composition, and horizontal structure of a gallery forest in the upper part of the Presidio River basin, northwest of Mexico; offering information on the conformation of the species in the evaluated area, being a background for decision-making and development of management plans in the area. Rectangular plots of 1000 m² were established, the diameter at 1.30 m, total height, and crown diameter were measured of each tree. The horizontal structure was analyzed based on the Importance Value Index (IVI) and the diameter classes; in addition, species richness and diversity were determined according to the Margalef (D_{Mg}) and Shannon-Weiner (H') indexes. 10 taxa were recorded with a density of 261 individuals (N ha⁻¹), the species with the highest ecological value (IVI) was *Pinus*

cooperi (36.03%) and *P. durangensis* (24.14). The diversity and richness obtained for the area was $H' = 1.59$ and $D_{Mg} = 1.53$ respectively. The results show a gallery forest without particularly dominant species, with relatively low absolute diversity values; there is no homogeneity in the vegetation, the distribution of diameter classes showed a negative trend with respect to abundance and diversity which can be attributed to forest management practices in the area.

Key words: Structure; diversity indexes; distribution; gallery forest.

INTRODUCCIÓN

Los bosques de galería son comunidades forestales complejas y frágiles que cumplen un papel fundamental en términos ecológicos, hidrológicos y de biodiversidad para la conservación de la vitalidad del paisaje y los ríos (Naiman & Decamps, 1997; Vargas-Ríos, 2021). Este tipo de ecosistema provee servicios ecosistémicos, que incluyen la estabilización de bancos y la protección de la calidad del agua, el apoyo a la cadena alimentaria, control de inundaciones y el hábitat de peces y vida silvestre (Richardson *et al.*, 2007). Siendo un ecosistema que juega un papel decisivo en el bienestar y la sostenibilidad del ambiente (Etchegaray *et al.*, 2022).

La fisonomía y estructura de los bosques de galería es muy heterogénea, en comparación con otros tipos de vegetación circundantes, debido a que incluyen varios estratos verticales de plantas que forman espesura, o bien está constituida sólo por árboles muy espaciados, cuyas alturas varían de cuatro a 40 m (Rzedowski, 2006). Por otro lado, los patrones de distribución de las especies a nivel local están relacionados con la topografía, tal es el caso de la elevación sobre el cauce del arroyo que contribuye a la existencia de interacciones favorables de microclima y alta humedad (Naiman & Decamps, 1997).

La evaluación de la estructura y condición de los bosques de galería requieren de información detallada de la riqueza, abundancia, diversidad ecológica de los árboles y de la vegetación del sotobosque para generar estrategias de manejo que garanticen asegurar la provisión de los servicios ambientales (Eskelson *et al.*, 2013; Méndez-Toribio *et al.*, 2014). Cabe señalar que en este tipo de vegetación se han evaluado múltiples perspectivas científicas y aplicadas, como la hidrología, el manejo forestal, los usos de suelo, la biología, la geografía, la teledetección, la gestión y la restauración (González *et al.*, 2015). Por lo tanto, la generación del conocimiento proporciona herramientas importantes para una amplia gama de campos y disciplinas (Dufour *et al.*, 2019). Sin embargo, la vegetación ribereña está bajo una presión significativa de una variedad de actividades antropogénicas, como la alteración del régimen de perturbación, la regulación del caudal por represas, la contaminación, el cambio de uso del suelo, la extracción de madera, el desvío de agua, la minería, la deforestación y las especies invasoras (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2020; Poff *et al.*, 2011).

A lo largo de los márgenes de los cauces, la delimitación de los bosques de galería aporta múltiples servicios ecológicos, por ejemplo, su disposición vertical en capas de vegetación es primordial para mantener la calidad del agua, amortiguar los procesos de sedimentación de los lechos de los ríos, y proporcionar protección contra la erosión de los suelos, además proveen de hábitat a la fauna silvestre (Granados-Sánchez *et al.*, 2006).

El Estado de Durango se caracteriza por tener bosques de pino-encino en la mayor parte de su territorio, y en menor medida bosques xerófilos, matorrales y pastizales (Rzedowski, 2006). El Estado está dividido en tres regiones hidrológicas administrativas y 19 cuencas hidrológicas en las que nacen cinco importantes cauces que desembocan tanto en el Océano Pacífico, Golfo de México o al interior del país. El río Presidio forma parte de estos cuerpos de agua, naciendo en la sierra del Estado a más de 3000 msnm y desembocando en el Estado de Sinaloa (INEGI, 2020). Las partes intermedias y altas de esta cuenca han sido poco estudiadas en cuanto a la dinámica y la vegetación asociada al cuerpo de agua. El interés de su estudio se ha enfocado a temas relacionados mayormente con la agricultura y pesca (González-Elizondo *et al.*, 2012).

La localidad El Salto, Durango se ubica en la región hidrológica Presidio San Pedro, en la parte alta de la cuenca del río Presidio en donde vive una población que asciende a 21,793 habitantes (INEGI, 2020, 2022). La vegetación en la mayor parte está formada por bosques de pino, encino y mixtos (González-Elizondo *et al.*, 2012). Cabe señalar que históricamente las poblaciones humanas que se asientan y desarrollan sobre los márgenes de ríos y comunidades vegetales son la principal causa del deterioro y presión de este tipo de bosque ya que han sometido al ecosistema a intensas y variadas actividades, por lo que esta región no es la excepción (Richardson *et al.*, 2007). De esta manera, resulta de vital importancia la realización un diagnóstico que permita proponer las bases para estrategias de conservación, protección y manejo de la vegetación asociada al río. Por lo cual, se requiere de estudios sobre la estructura y composición de la vegetación asociada a cuerpos de agua (Risser & Harris, 1989); considerando que los estudios enfocados a este tipo de vegetación son muy escasos o nulos en comparación con otras comunidades vegetales (Ding & Zhao, 2016).

Por lo expuesto, el objetivo fue evaluar la estructura vertical, composición y diversidad de las especies arbóreas y arbustivas de un bosque de galería en el noreste de México, con la finalidad de establecer fuentes de información importantes que permitan comprender la comunidad vegetal y la importancia de los múltiples beneficios que este tipo de ecosistemas brindan a la sociedad directa o indirectamente.

MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se desarrolló en el bosque de galería en el río Presidio en la localidad de El Salto, municipio de Pueblo Nuevo, Durango, perteneciente a la región hidrológica Presidio-San Pedro. La comunidad estudiada se encuentra dentro de las coordenadas geográficas UTM 456633 E 2627447 N y las coordenadas 456326 E y 2628188 N (Figura 1), dentro del área urbana y rural del municipio de Pueblo Nuevo, por lo cual presenta impactos asociados a la actividad recreativa de la población. El clima predominante es templado-subhúmedo con precipitaciones de 782 mm anuales. La temperatura media anual es de 18.5 °C (CONAGUA, 2018). La cuenca tiene una extensión de 6,479 km², en cuanto al río Presidio, posee una longitud de 352 km; se trabajó en la parte alta con elevaciones superiores a los 2,600 msnm. La vegetación dominante de la localidad de El Salto se distribuye en 24 taxas de *Pinus* (46% del total nacional), 54 de *Quercus* (34%) y 7 de *Arbutus* (100%), que son los principales componentes fisonómicos de los bosques en la región. Los bosques de pino cubren 12% y se sitúan entre los 1,600 – 3,320 msnm; los de pino-encino ocupan 30% (González-Elizondo *et al.*, 2012). Ambos tipos de vegetación son muy diversos y se desarrollan en climas templados y semifríos, así como en los semisecos templados. Presentan una gran diversidad y proporcionan grandes beneficios ecológicos y económicos (SEMARNAT, 2011).

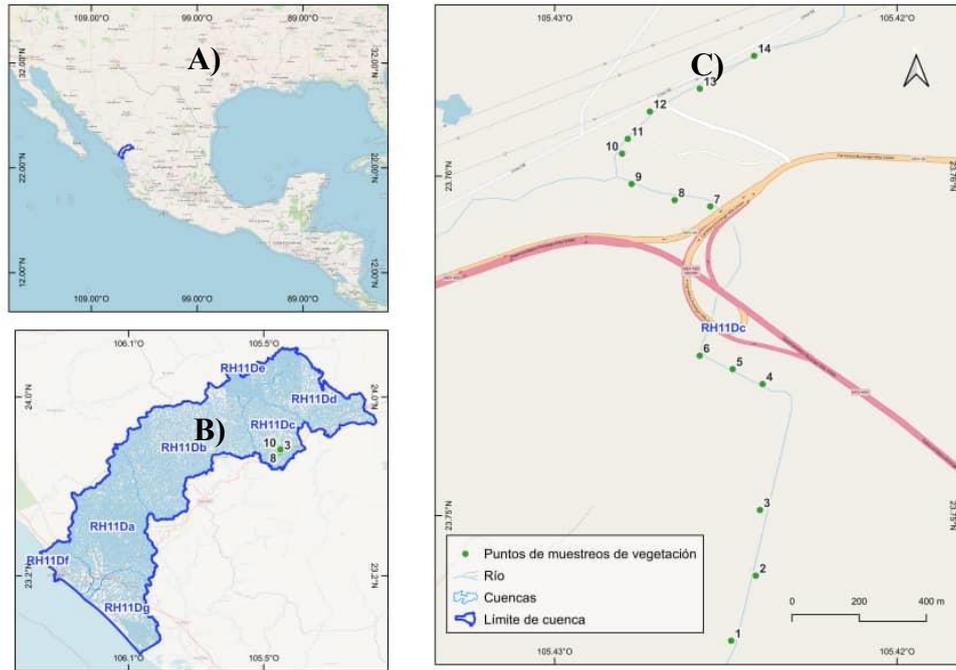


Figura 1. A) Mapa de ubicación de la región hidrológica en México, B) Mapa de la región hidrológica de la cuenca, C) Ubicación de los sitios de muestreo.

Figure 1. A) Map showing the location of the hydrological region in Mexico, B) Map of the hydrological region of the basin, C) Location of the sampling sites.

Muestreo y toma de datos

Se establecieron de manera aleatoria 14 sitios de muestreo rectangulares de 1,000 m² (20 x 50 m) (Alanís *et al.*, 2020; CONAFOR, 2011) a lo largo de la ribera del cauce principal del río Presidio, en el nivel elevacional de 2,600 msnm, la superficie muestral total fue de 14,000 m². Los sitios se establecieron en forma paralela de acuerdo con la dirección del cauce del río (Canizales-Velázquez *et al.*, 2021). En cada sitio se midieron todos los individuos con un diámetro normal igual o mayor a 2.5 cm, como se indica en la metodología del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (CONAFOR, 2012). Las variables dasométricas evaluadas fueron altura total (h), diámetro normal ($d_{1.30\text{ m}}$) y el diámetro de copa (d_{copa}) que se midió en dos ejes, norte-sur y este-oeste. Para verificar la nomenclatura correcta de las especies se utilizó la plataforma Trópicos® (Tropicos, 2023).

Análisis de la información

Para evaluar la estructura horizontal de cada especie se determinó su abundancia de acuerdo con el número de individuos, la dominancia en función de su área de copa y la frecuencia con base a su presencia en los sitios de muestreo. Con estos valores se calculó el Índice de Valor de Importancia (IVI), el cual adquiere valores porcentuales en una escala del 0 al 100 (Alanís *et al.*, 2020; Curtis & McIntosh, 1951). La riqueza y diversidad se estimaron con el índice de Margalef (DMg) que está basado en la cuantificación del número de especies presentes (riqueza específica), el índice de entropía de Shannon (H'), el cual está basado en la distribución proporcional de la abundancia de cada especie (Magurran, 2004) y el índice de diversidad verdadera de Shannon (1D) (Jost, 2006). Las ecuaciones utilizadas para determinar los índices de diversidad y los parámetros ecológicos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Fórmulas utilizadas para determinar los índices de diversidad e indicadores ecológicos de las especies.

Fórmula	Descripción
$A_i = N_i/S$ $AR_i = \left(\frac{A_i}{\sum_{i=1..n} A_i} \right) \times 100$	A_i = abundancia absoluta de la especie i AR_i = abundancia relativa de la especie i N_i = número de individuos de la especie i S = superficie de muestreo (ha)
$D_i = Ab_i/S(ha)$ $DR_i = \left(\frac{D_i}{\sum_{i=1..n} D_i} \right) \times 100$	D_i = dominancia absoluta DR_i = dominancia relativa de la especie i respecto a la dominancia total Ab_i = área basal de la especie i $S_{(ha)}$ = superficie (ha)
$F_i = P_i/NS$ $FR_i = \left(\frac{F_i}{\sum_{i=1..n} F_i} \right) \times 100$	F_i = frecuencia absoluta FR_i = frecuencia relativa de la especie i respecto a la frecuencia total P_i = número de sitios en los que está presente la especie i NS = el número total de sitios de muestreo.
$IVI = \frac{AR_i + DR_i + FR_i}{3}$	AR_i = abundancia relativa de la especie i respecto a la densidad total DR_i = dominancia relativa de la especie i respecto a la dominancia total FR_i = frecuencia relativa de la especie i respecto a la frecuencia total

Para caracterizar de manera horizontal a la comunidad vegetal arbórea se generó un gráfico de clases diamétricas, para describir la estructura vertical un gráfico de clases de altura y para la estructura de la comunidad se generó una gráfica de dominancia-diversidad (Brower *et al.*, 1998), la cual describe la relación de la abundancia absoluta de las especies en función de un arreglo secuencial, esto es, de la de mayor a la de menor abundancia (Martella *et al.*, 2012).

RESULTADOS

Composición del área de estudio

En total se registraron 10 especies, pertenecientes a cuatro géneros y cuatro familias. La familia con el mayor número de especies fue Pinaceae con cinco, seguida de Cupressaceae, Fagaceae con dos y Ericaceae con una especie (Tabla 2). De la lista de especies registradas, *Arbutus unedo* y *Cupressus sempervirens* son introducidas; sin embargo, ya se encuentran naturalizadas en la zona. No se encontraron individuos en el estrato arbustivo, lo cual se atribuye a las prácticas de manejo en el área de estudio que buscan favorecer individuos de alto porte para el aprovechamiento forestal.

Tabla 2. Familias y especies registradas en el área de estudio.**Table 2.** Families and species recorded in the study area.

Familia	Nombre científico	Nombre común
Pinaceae	<i>Pinus duranguensis</i> Martínez	Pino alazán
	<i>Pinus cooperi</i> C.E. Blanco	Pino blanco
	<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	Ocote
	<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	Pino prieto
	<i>Pinus strobiformis</i> Engelm.	Pino semillero
Ericaceae	<i>Arbutus unedo</i> L.	Madroño
Fagaceae	<i>Quercus rugosa</i> Née	Encino
	<i>Quercus sideroxyla</i> Humb. & Bonpl.	Encino chaparro
Cupressaceae	<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	Tascate
	<i>Cupressus sempervirens</i> L.	Ciprés

En la Tabla 3 se presentan los valores de abundancia, dominancia (cobertura de copa), frecuencia e índice de valor de importancia (IVI) de las familias arbóreas registradas. La familia Pinaceae fue la de mayor abundancia (197 individuos) y la de mayor índice de valor de importancia del 67.08%. La segunda familia con mayor índice de valor de importancia fue Cupressaceae, teniendo un 22.62%, ambas familias suman un 89.70% de IVI.

Tabla 3. Parámetros ecológicos de las familias arbóreas registradas en el área de estudio.
Table 3. Ecological parameters of the tree families recorded in the study area.

Familia	Abundancia (ind ha ⁻¹)		Dominancia (m ² ha ⁻¹)		Frecuencia (%)		IVI
	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.	
Pinaceae	197	75.62	10.57	84.99	13	40.63	67.08
Cupressaceae	49	18.90	1.42	11.45	12	37.50	22.62
Fagaceae	14	5.21	0.43	3.45	6	18.75	9.14
Ericaceae	1	0.27	0.01	0.10	1	3.13	1.17
Total	261	100	12.44	100	32	100	100

Donde *Abs* es Absoluta y *Rel.* es relativa.

En la Tabla 4 se muestran los valores de la abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia (IVI) de las especies arbóreas registradas en el área de estudio. En general, la comunidad evaluada presentó una abundancia absoluta de 261 Nha⁻¹, con una cobertura de copa de 4363 m²ha⁻¹. Específicamente las especies *Pinus cooperi* y *Arbutus unedo*, fueron las que presentaron los mayores y menores valores de abundancia relativa y dominancia respectivamente. El índice de valor de importancia presentó una dominancia dada por las especies de *P. cooperi* y *P. duranguensis* que en conjunto equivale al 60% de importancia ecológica. Las especies de *P. strobiformis* y *Arbutus unedo*; fueron las de menores valores de IVI con 1.26 y 0.65% respectivamente.

Tabla 4. Parámetros ecológicos de las de las especies arbóreas registradas en el área de estudio.
Table 4. Ecological parameters of the tree species recorded in the study area.

Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		IVI
	Abs. N ha ⁻¹	Rel.	Abs m ² ha ⁻¹	Rel.	Abs	Rel.	
<i>Pinus cooperi</i>	117	44.93	1883.19	43.16	12	20.00	36.03
<i>Pinus duranguensis</i>	60	23.01	1210.73	27.75	13	21.67	24.14
<i>Cupressus sempervires</i> *	34	12.88	463.34	10.62	10	16.67	13.39
<i>Pinus leiophylla</i>	11	4.38	331.98	7.61	7	11.67	7.89
<i>Juniperus depeana</i>	16	6.03	165.15	3.79	6	10.00	6.60
<i>Pinus teocote</i>	8	3.01	157.14	3.60	4	6.67	4.43
<i>Quercus sideroxylla</i>	8	3.01	9.68	0.22	4	6.67	3.30
<i>Quercus rugosa</i>	6	2.19	60.47	1.39	2	3.33	2.30
<i>Pinus strobiformis</i>	1	0.27	80.78	1.85	1	1.67	1.26
<i>Arbutus unedo</i> *	1	0.27	0.56	0.01	1	1.67	0.65
Suma	261	100	4363	100	60	100	100

Abs. = absoluta, *Rel.* = relativa, IVI = índice de valor de importancia, N·ha⁻¹ = Número de individuos por hectárea; m² ha⁻¹= metros cuadrados de cobertura de copa por hectárea.

* Especies introducidas

Distribución de las clases diamétricas

En la figura 2 de clases diamétricas muestra que la mayor abundancia se registró en los individuos de 10 cm de diámetro normal con 80 Nha⁻¹, seguido de las clases diamétricas 20, 30 y 40 con 76 Nha⁻¹, 47 Nha⁻¹ y 28 Nha⁻¹ respectivamente. Se observa una tendencia decreciente en la abundancia de individuos conforme aumenta el diámetro de éstos, siendo las categorías de 60 y 70 cm las que presentaron la menor abundancia con 6 Nha⁻¹ y 1 Nha⁻¹ respectivamente (Figura 2).

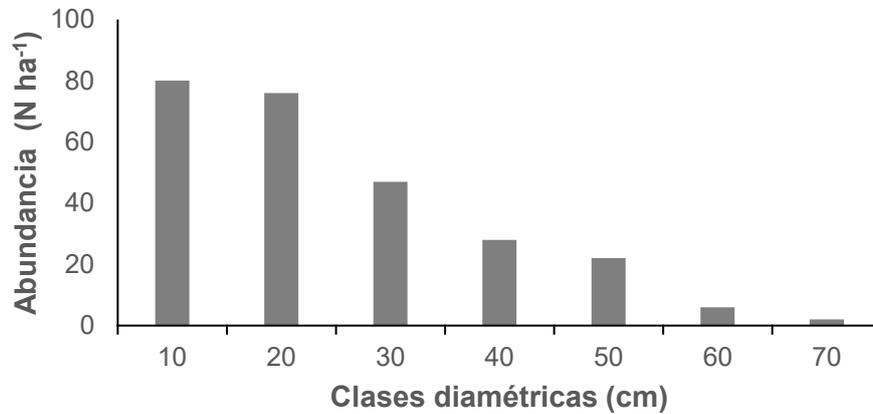


Figura 2. Distribución de las categorías diamétricas para la vegetación arbórea del bosque de galería en el río Presidio.

Figure 2. Distribution of diameter categories for the tree vegetation of the gallery forest in the Presidio River.

La Figura 3 de clases de altura no presentó una tendencia conforme aumenta o disminuye la altura de los individuos; mostrando heterogeneidad entre las mismas. Las clases 5, 10 y 20 m son las que presentan mayor densidad de individuos con 61, 69 y 64 Nha⁻¹ respectivamente, siendo en conjunto el 74.32% de la comunidad (Figura 3); mientras que el resto de las clases diamétricas presenta una baja densidad, siendo la clase 30 la de menor representatividad en la comunidad con tan solo el 0.38%.

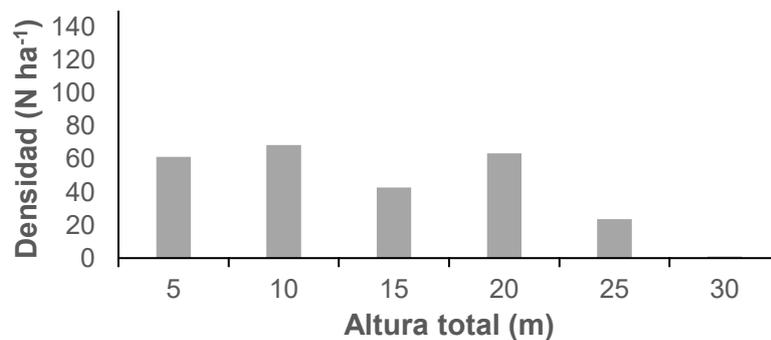


Figura 3. Distribución de clases de altura para la vegetación arbórea del bosque de galería en el río Presidio.

Figure 3. Distribution of height classes for the tree vegetation of the gallery forest in the Presidio River.

La figura 4 (rango/abundancia) describe de manera gráfica la relación entre la abundancia y las especies ordenadas en categorías de la de mayor a la de menor abundancia (Villarreal *et al.*, 2006). La distribución de las especies muestra que la diversidad-abundancia presenta una tendencia exponencial negativa, con un número pequeño de especies abundantes y una alta proporción de especies poco abundantes, lo que se refleja a través de una curva de jota invertida. En la figura 4 se aprecia que *Pinus duranguesis* y *Pinus cooperi* presentan mayor abundancia, las cuales son especies nativas de la Sierra Madre Occidental (SMO), siendo esta última endémica de México.

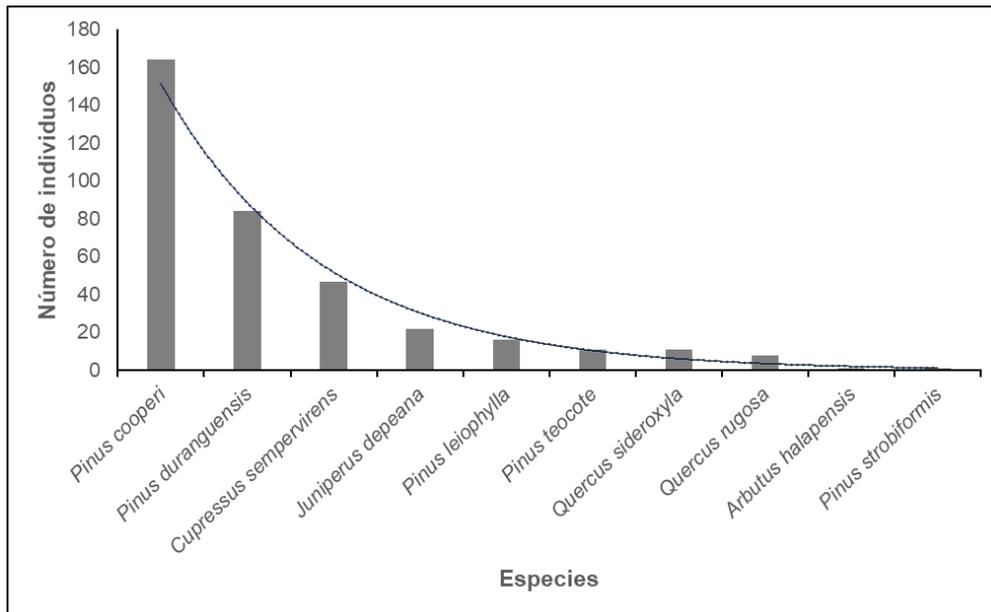


Figura 4. Gráfico dominancia-diversidad de la vegetación arbórea del bosque de galería del río Presidio.
Figure 4. Dominance-diversity graph of the tree vegetation in the gallery forest of the Presidio River.

De acuerdo con el análisis de diversidad alfa, la comunidad vegetal analizada presentó una riqueza de 10 especies, un índice de diversidad de Margalef (DMg) de 1.53, un índice de entropía de Shannon de 1.59, y un índice de Simpson de 0.27.

DISCUSIÓN

En el área estudiada el género *Pinus* fue el que figuró en mayor proporción, lo anterior ha sido reportado por diferentes estudios en los bosques de Durango (Alonso-Torrens *et al.*, 2016; Graciano-Ávila *et al.*, 2017; Zúñiga Vásquez *et al.*, 2018). Cabe señalar que el número de especies registradas son similares a las encontradas por varios autores para bosques templados los cuales pueden variar de 5 a 13 especies (Avila-Flores *et al.*, 2012; Encina-Domínguez *et al.*, 2016).

En los sitios evaluados no se encontraron especies particularmente dominantes, lo que coincide con lo planteado por Holguín-Estrada *et al.*, (2021) para un bosque de galería en el Estado de Chihuahua. Aunado a lo anterior, Treviño *et al.*, (2001), Mata *et al.*, (2020) y Alanís *et al.*, (2022) mencionan que es común que en los bosques de galería no exista una dominancia clara para ninguna especie, aunque especies como *Populus deltoides* subsp. *wislizenii*, y *Platanus occidentalis*, muestran una alta capacidad de colonización ya que sus semillas son dispersadas por el viento (Treviño *et al.*, 2001).

Cupressus sempervirens es una especie nativa del Mediterráneo y en México se cultiva como planta ornamental (Kostapoulou *et al.*, 2010; UNAM, 2024). En la región de El Salto, Durango, esta especie ha sido establecida con los mismos fines, lo anterior podría ser la razón de su presencia en el área de estudio.

Los valores obtenidos de abundancia absoluta son relativamente bajos (261 Nha⁻¹) en comparación con otros estudios realizados en bosques de galería, por ejemplo, Canizales *et al.*, (2010) para un bosque de galería con poco grado de antropización registraron un total de 970 Nha⁻¹ y a su vez Alanís-Rodríguez *et al.*, (2020) reportaron 2187 N ha⁻¹ en un bosque de galería de difícil acceso y sin alteración aparente. La abundancia de la vegetación presenta similitud a lo reportado por Caballero Cruz *et al.*, (2022), quienes estimaron 267 y 273Nha⁻¹ para dos comunidades arbóreas de un bosque templado ubicado en el centro de México, lo cual podría atribuirse al efecto de las actividades que se llevan a cabo en las áreas. Por lo anterior, Alanís-Rodríguez *et al.*, (2020) señalan que las actividades antropogénicas pueden

cambiar o modificar el paisaje en cuanto a la abundancia de especies, lo cual ha sido reportado por Hernández-Salas *et al.*, (2013) y Holguín-Estrada *et al.*, (2021) para comunidades cercanas a los 2100 msnm. Particularmente en el área de estudio el manejo forestal puede ser el factor clave que favorece al desarrollo de ciertas especies de interés económico en la región, principalmente las pertenecientes al género *Pinus* (Luna Robles *et al.*, 2020; Valenzuela & Granados, 2009).

La familia Pinaceae presentó el valor más alto en dominancia relativa (84.99%), mientras que el más bajo fue para la familia Ericaceae (0.10%). Flores Morales *et al.* (2022) evaluaron la diversidad y estructura arbórea de un bosque templado bajo manejo en Durango, México, obteniendo el 63 y 2.23% de dominancia relativa para las familias Pinaceae y Ericaceae, respectivamente, lo cual es similar a lo reportado en el presente estudio. Las especies con mayor dominancia relativa fueron *Pinus cooperi* Blanco y *Pinus duranguensis* Martínez con 43.16 y 27.75%, respectivamente, esto difiere con lo obtenido por Aguilar Luna (2018), quien reportó 0.43% para una especie de pino en bosque de galería en Puebla, además, menciona que lo más común a lo largo de los bosques de galería es que no exista una dominancia estricta para ninguna especie.

La familia Pinaceae obtuvo el mayor valor de IVI. Diversos autores han reportado a esta familia como una de las de mayor importancia en bosques templados Manzanilla *et al.* (2020), Silva-García *et al.* (2021) y Villela-Suárez *et al.* (2021). Las especies que presentaron valores superiores en el IVI fueron *Pinus cooperi* (36.03%) y *Pinus duranguensis* (24.14%), este último valor fue similar a lo obtenido por Holguín-Estrada *et al.*, (2021) para la misma especie (20.4%) en un bosque de galería y por Rascón-Solano *et al.*, (2022) (55.93%) para bosques templados del noroeste y noreste de México respectivamente. Cuando una especie alcanza un valor de importancia destacado, es indicador de una clara dominancia ecológica, y es común que unas cuantas especies, con valores de importancia más altos, representen las poblaciones más significativas de los ecosistemas (Guzmán-Lucio, 2009; Manzanilla *et al.*, 2020).

Los índices de diversidad se calculan para comparar la diversidad y abundancia de especies en diferentes condiciones a una escala similar; cuanto mayor es su número, más alta será su riqueza y diversidad. El valor obtenido para el índice de entropía de Shannon (H') (1.59) puede clasificarse como bajo si se tiene en cuenta que valores menores a 2 se consideran bajos y superiores a 3 son considerados altos (Shannon, 1948); lo cual indica que no existe homogeneidad en la abundancia de las especies. El resultado es similar a los obtenidos por Alanís *et al.* (2008); Graciano-Ávila *et al.* (2017) para bosques templados y por (Holguín-Estrada *et al.* 2021) para un bosque de galería en el estado de Chihuahua, México. La riqueza de especies del índice de Margalef (1.53) se considera baja ya que los inferiores a 2.00 son considerados como baja diversidad y los superiores a 5.00 se consideran como indicativos de alta diversidad (Margalef, 1972); resultados similares reportaron (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2012; Graciano-Ávila *et al.*, 2017; López-Hernández *et al.*, 2017) para comunidades de bosques templados.

Aunado a lo anterior en estas zonas el manejo forestal puede influir sobre la diversidad de especies ya que, por lo general, el objetivo de la aplicación de los tratamientos silvícolas es promover el establecimiento de las especies con mayor interés económico derivando a tener una masa forestal más uniforme (García *et al.*, 2019; Hernández, 2007).

Referente a la distribución de las clases diamétricas, los resultados del presente estudio presentaron una tendencia negativa respecto a las variables de densidad y abundancia, lo cual coincide con (Canizales-Velázquez *et al.*, 2021) quienes mencionan que este comportamiento es debido a la densidad del arbolado joven respecto al arbolado en etapa de madurez, lo anterior puede estar atribuido a los efectos del manejo forestal implementados en la zona.

A pesar de que García *et al.* (2019) plantean que los estudios para evaluar las características estructurales de las comunidades en México han crecido exponencialmente, aún son insipientes los estudios respecto a los bosques de galerías, principalmente en la Sierra Madre Oriental.

CONCLUSIONES

La comunidad vegetal evaluada presenta valores estructurales de abundancia, dominancia (cobertura de copa) e índice de valor de importancia similares a los de un bosque templado y no a los de un bosque de galería, lo anterior se atribuye a las prácticas de manejo forestal que están enfocadas a la producción maderable de árboles de grandes dimensiones. Las clases diamétricas indican un estado de regeneración activo donde existe un alto número de ejemplares de porte bajo, lo que confirma el gráfico de clases diamétricas, al presentar varios pisos de altura. Los índices de riqueza y diversidad son similares a otros bosques templados de altitudes similares.

La estructura de la vegetación arbórea del bosque de galería estudiado indicó un bajo número de especies de forma general y casi nula representación de especies indicadoras de cuerpos de agua. Las especies con mayor IVI fueron *Pinus cooperi* y *P. duranguensis*. Las variables diversidad, abundancia y dominancia también mostraron bajos valores, siguiendo una tendencia negativa respecto a las clases diamétricas y de alturas, indicando una vegetación heterogénea con mayor número de individuos en las categorías inferiores.

Asimismo, estos resultados podrían contribuir a los estudios de la vegetación riparia en otras localidades de la región que compartan características similares. Permitiendo de esta manera tener una referencia sobre la dinámica de la vegetación y de los cambios a futuro que pudieran presentar; lo cual permitirá crear herramientas para la toma de decisiones tanto para la restauración de la vegetación ribereña como para las elaboraciones de los planes de manejos en la parte alta del río Presidio.

LITERATURA CITADA

- Aguilar Luna, J. M. E. (2018). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea de un bosque de galería en el estado de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9 (47), 230–252.
- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Valdecantos-Dema, A., González-Tagle, M. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., & Treviño-Garza, E. J. (2012). Composición y diversidad de la regeneración natural en comunidades de *Pinus- Quercus* sometidas a una alta recurrencia de incendios en el noreste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(4), 1208–1214. <https://doi.org/10.7550/rmb.29708>
- Alanís-Rodríguez, E., Rubio-Camacho, E. A., Canizales-Velázquez, P. A., Mora-Olivo, A., Pequeño-Ledezma, M. Á., & Buendía Rodríguez, E. (2020). Structure and diversity of a gallery forest in northeastern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(58), 134-153. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.591>
- Alanís, E., Jiménez, J., Aguirre, Ó., Treviño, E., Jurado, E., & González, M. (2008). Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral tamaulipeco. *Ciencias UANL*, 11, 56–62.
- Alanís, E., Mora, A., & Marronquín, J. (2020). *Muestreo ecológico de la vegetación*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Alanís, E., Mora, A., Molina, V. M., Gárate, H., & Sigala, J. Á. (2022). Urban tree characterization in the downtown area of Hualahuises, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(73), 29–49. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i73.1271>
- Alonso-Torrens, Y., Ramón-Hernández Martínez, F., Barrero-Medel, H., López-Ibarra, G., Madanes, N., & Prieto-Méndez, J. (2016). Estructura y composición de la vegetación de pinares de Alturas de Pizarras en la empresa agroforestal Minas, Cuba. *Madera y Bosques*, 22(3), 75–86.
- Avila-Flores, D. Y., González-Tagle, M. A., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., Vargas-Larreta, B., Salto, E., Nuevo, P., & México, D. (2012). Sierra madre oriental, México. [Stand structure of *Pinus hartwegii* affected by fire using neighbourhood parameters in the Sierra madre oriental, Mexico.]. In *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 15(2), 337-387.
- Brower, J. E., Zar, J. ., & Von Ende, C. N. (1998). *Fiel and laboratory methods for general ecology (Vol. 4)* (W. McGraw-Hill (ed.).

- Caballero Cruz, P., Treviño-Garza, E. J., Mata-Balderas, J. M., Alanís-Rodríguez, E., Yereña-Yamallel, J. I., & Cuéllar Rodríguez, L. (2022). Análisis de la estructura y diversidad arbórea de bosques templados en la ladera oriental del volcán Iztaccihuatl, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(71), 76–102.
- Canizales-Velázquez, P. A., Alanís-Rodríguez, E., García-García, S. A., Holguín-Estrada, V. A., & Collantes-Chávez-Costa, A. (2021). Estructura y diversidad de un bosque de galería urbano en el río Camachito, noreste de México. *Polibotánica*, (51), 91-105 . <https://doi.org/10.18387/polibotanica.51.6>
- Canizales, P. A., Alanís, G. J., Favela, S., Torres, M., Alanís, E., Jiménez, J., & Padilla, H. (2010). Efecto de la actividad turística en la diversidad y estructura del bosque de galería en el noreste de México. *Ciencia UANL*, XIII(1), 55–63. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=40211897009>
- CONAFOR. (2011). *Manual y procedimientos para el muestreo en campo* (SEMARNAT (ed.)).
- Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1951). An Upland Forest Continuum in the Prairie-Forest Border Region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), 476–496. <https://doi.org/10.2307/1931725>
- Ding, J., & Zhao, W. (2016). Comparing Chinese and international studies of riparian forests: A bibliometric survey (1981–2014). In *Shengtai Xuebao* (Vol. 36, Issue 5, pp. 377–385). Science Press. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2016.05.004>
- Dufour, S., Rodríguez-González, P. M., & Laslier, M. (2019). Tracing the scientific trajectory of riparian vegetation studies: Main topics, approaches and needs in a globally changing world. In *Science of the Total Environment* (Vol. 653, pp. 1168–1185). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.383>
- Encina-Domínguez, J. A., Estrada-Castillón, E., Villarreal-Quintanilla, J. A., Villaseñor, J. L., Cantú-Ayala, C. M., & Arévalo, J. R. (2016). Floristic richness of the Sierra de Zapalinamé, Coahuila, Mexico. *Phytotaxa*, 283(1), 1–42. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.283.1.1>
- Eskelson, B. N. I., Anderson, P. D., & Temesgen, H. (2013). Sampling and Modeling Riparian Forest Structure and Riparian Microclimate. In *Density Management in the 21st Century: West Side Story* (Gen. Tech. Rep., pp. 126–135). Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Etchegaray, D., Jarabo, P., & Flores, A. (2022). Consideraciones y aspectos fundamentales de la nueva ley de humedales de la provincia de misiones. *Revista Electrónica Del Departamento e Ciencias Sociales UNLU*, 9, 94–113.
- Flores Morales, E. A., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., González Tagle, M. A., Alanís-Rodríguez, E., Angeles Pérez, G., & Huizar Amezcua, F. (2022). Diversidad y estructura arbórea de un bosque templado bajo manejo en el municipio de Pueblo Nuevo, Durango, México. *Polibotánica*, 54, 11–26.
- García-García, S. A., Holguín-Estrada, V. A., & Collantes-Chávez-Costa, A. (2019). Diversity and vertical structure of the pine-oak forest in Guadalupe y Calvo, Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(53), 41-63 . <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i53.173>
- González-Elizondo, S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., & López-Enríquez, L. (2012). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: Una síntesis. *Acta Botanica Mexicana*, 100(1), 351–404. <https://doi.org/10.21829/abm100.2012.40>
- González, E., Sher, A. A., Tabacchi, E., Masip, A., & Poulin, M. (2015). Restoration of riparian vegetation: A global review of implementation and evaluation approaches in the international, peer-reviewed literature. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 158, pp. 85–94). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.04.033>
- Graciano-Ávila, G., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., & Luján-Soto, J. E. (2017). Composición, estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del Noroeste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 535-542. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1114>
- Granados-Sánchez, D., Hernández-García, M. Á., & López-Ríos, G. F. (2006). Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 12(1), 55–69.

- Guerrero-Hernández, R., González-Gallegos, G., & Castro-Castro, Y. A. (2014). Análisis florístico de un bosque de *Abies* y el bosque mesófilo de montaña adyacente en Juanacatlán, Mascota, Jalisco, México. *Botanical Sciences*, 92(4), 541–562.
- Guzmán-Lucio, M. A. (2009). Distribución sistemática y algunos aspectos ecológicos del mezquite *Prosopis* spp. (L) en el estado de Nuevo León, México. In *Doctoral dissertation*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Hernández-Salas, J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., Luján-Alvarez, C., Olivas-García, J. M., & Domínguez-Pereda, L. A. (2013). Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 19(2), 189–199. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.052>
- Hernández, I. (2007). *Cambios en la estructura y composición del bosque bajo dos tratamientos silviculturales en la comunidad de Capulálpam de Méndez, Ixtlán, Oaxaca, México*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Holguín-Estrada, V. A., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O., Yerena-Yamallel, J. I., & Pequeño-Ledezma, M. Á. (2021). Structure and floristic composition of a gallery forest in an altitudinal gradient in the northwest of México. *Madera y Bosques*, 27(2), 1-16 . <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722123>
- INEGI. (2020). *Mapas de corriente de agua*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (2022). *Conteo de población y vivienda por localidad*. (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) Disco Compacto. México.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos* 113, 2, 263–275.
- Kostapoulou, P., Radaglou, K., Dini-Papanastasi, & Spyroglou, G. (2010). Enhancing planting stock quality of Italian cypress (*Cupressus sempervirens* L.) by pre-cultivation in mini-plugs. *Ecological Engineering*, 36(7), 912–919. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.04.004>
- López-Hernández, J. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Monarrez-Gonzalez, J. C., González-Tagle, M. A., & Jiménez-Pérez, J. (2017). Composición and diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera Bosques*, 23(1), 39–51. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311518>
- Luna Robles, E. O., Cantú Silva, I., & Yáñez Díaz, M. I. (2020). Efectos del manejo forestal en la composición y diversidad de la regeneración natural arbórea en bosques de la Sierra Madre Occidental. *Polibotánica*, 50, 19-30. <https://doi.org/10.18387/polibotánica.50.2>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity* (A. E. Magurran (ed.); 1era ed.). Blackwell Science Ltd.
- Manzanilla, G. E., Mata-Balderas, J. M., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., & Yerena-Yamallel, J. I. (2020). Diversidad, estructura y composición florística de bosques templados al sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11 (61), 94–123.
- Martella, M., Trumper, E., Bellis, L., Renison, D., Giordano, P., Bazzano, G., & Gleiser, R. (2012). Manual de Ecología Evaluación de la biodiversidad. *Reduca (Biología)*. *Serie Ecología*, 5(1), 71–115.
- Mata, J. M., Hernández, S. E., Alanís, E., & Mora, A. (2020). Riqueza, composición y abundancia de especies en una comunidad vegetal ribereña en el río Santa Catarina, Monterrey, Nuevo León. *CienciaUAT*, 14(2), 6-20. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i2.1248>
- Méndez-Toribio, M., Zermeño-Hernández, I., & Ibarra-Manríquez, G. (2014). Effect of land use on the structure and diversity of riparian vegetation in the Duero river watershed in Michoacán, Mexico. *Plant Ecology*, 215(3), 285–296. <https://doi.org/10.1007/s11258-014-0297-z>
- Naiman, R. J., & Decamps, H. (1997). The Ecology of Interfases: Riparian Zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28, 621–658. <http://www.jstor.org/stable/2952507>
- Poff, B., Koestner, K. A., Neary, D. G., & Henderson, V. (2011). Threats to riparian ecosystems in Western North America: An analysis of existing literature. *Journal of the American Water Resources Association*, 47(6), 1241–1254. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2011.00571.x>

Recibido:
10/octubre/2023

Aceptado:
20/junio/2024

- Rascón-Solano, J., Galván-Moreno, V. S., Aguirre-Calderón, O. A., & García-García, S. A. (2022). Caracterización estructural y carbono almacenado en un bosque templado frío censado en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(70), 136–165.
- Richardson, D. M., Holmes, P. M., Esler, K. J., Galatowitsch, S. M., Stromberg, J. C., Kirkman, S. P., Pyšek, P., & Hobbs, R. J. (2007). Riparian vegetation: Degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. *Diversity and Distributions*, 13(1), 126–139. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2006.00314.x>
- Risser, R. J., & Harris, R. (1989). Mitigation for Impacts to Riparian Vegetation on Western Montane Streams. In J. A. Gore & G. E. Petts (Eds.), *Alternatives in regulated river management* (II, pp. 236–247). CRC Press, Inc.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad (ed.); 1ra. edición digital).
- SEMARNAT. (2011). *Anuario estadístico de la producción forestal 2009*. México: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/forestalsuelos/Anuarios/>
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 623–656. <https://people.math.harvard.edu/~ctm/home/text/others/shannon/entropy/entropy.pdf>
- Silva-García, J. E., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Jurado Ybarra, E., Jiménez-Pérez, J., & Vargas-Larreta, B. (2021). Estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del Noreste de México. *Polibotánica*, 52, 89–102.
- Treviño, J. E., Camacho, C., & Aguirre, O. A. (2001). Distribución y estructura de los bosques de galería en dos ríos del centro sur de Nuevo León. *Madera y Bosques*, 7(1), 13–25.
- Tropicos. (2023). *Tropicos.org. Missouri Botanical Garden*. <http://www.tropicos.org>
- UNAM. (2024). *Cupressus sempervirens*. http://biologia.fciencias.unam.mx/plantasvasculares/ArbolesArbustosFCiencias/Gimnospermas/cupressus_sempervirens.html
- Valenzuela, L. M., & Granados, D. (2009). Caracterización fisionómica y ordenación de la vegetación en el área de influencia de El Salto, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 15(1), 29–41.
- Vargas-Ríos, O. (2021). *Bases ecológicas y sociales para la restauración de los páramos* (Primera ed).
- Villela-Suárez, J. M., García-Espinoza, G. G., Marroquín-Castillo, J. . J., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., & Alanís-Rodríguez, E. (2021). Composición y diversidad arbórea de un bosque de coníferas en el suroeste de Chihuahua, México. *E-CUCBA*, 17, 96–103.
- Zúñiga Vásquez, J. M., Martínez López, E. A., Navarrete Gallardo, C., Graciano Luna, J. de J., Maldonado Ayala, D., & Cano Mejía, B. (2018). Análisis ecológico de un área de pago por servicios ambientales hidrológicos en el ejido La Ciudad, Pueblo Nuevo, Durango, México. *Investigación y Ciencia*, 26(73), 27–36.

ANEXOS



**ESTADO ACTUAL DE LA
ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DEL
BOSQUE DE *Pinus culminicola* var.
culminicola EN UN GRADIENTE
ALTITUDINAL EN EL CERRO EL
POTOSÍ, GALEANA, NUEVO LEÓN,
MÉXICO**

**CURRENT STATUS OF THE
STRUCTURE AND COMPOSITION OF
THE *Pinus culminicola* var. *culminicola*
FOREST IN AN ALTITUDINAL
GRADIENT AT CERRO EL POTOSI,
GALEANA, NUEVO LEON, MEXICO**

Tovar-Cárdenas, Aldo; Homero Alejandro Gárate-Escamilla; Luis Gerardo Cuellar Rodríguez; Marisela Pando-Moreno, José Israel Yerena-Yamallel y Enrique Jurado-Ybarra

ESTADO ACTUAL DE LA ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DEL BOSQUE DE *Pinus culminicola* var. *culminicola* EN UN GRADIENTE ALTITUDINAL EN EL CERRO EL POTOSÍ, GALEANA, NUEVO LEÓN, MÉXICO

CURRENT STATUS OF THE STRUCTURE AND COMPOSITION OF THE *Pinus culminicola* var. *culminicola* FOREST IN AN ALTITUDINAL GRADIENT AT CERRO EL POTOSI, GALEANA, NUEVO LEON, MEXICO



Estado actual de la estructura y composición del bosque de *Pinus culminicola* var. *culminicola* en un gradiente altitudinal en el Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León, México

Current status of the structure and composition of the *Pinus culminicola* var. *culminicola* forest in an altitudinal gradient at Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo Leon, Mexico

Tovar-Cárdenas, Aldo;
Homero Alejandro Gárate-Escamilla;
Luis Gerardo Cuellar Rodríguez;
Marisela Pando-Moreno,
José Israel Yerena-Yamallel
y Enrique Jurado-Ybarra

ESTADO ACTUAL DE LA
ESTRUCTURA Y
COMPOSICIÓN DEL
BOSQUE DE *Pinus*
culminicola var. *culminicola*
EN UN GRADIENTE
ALTITUDINAL EN EL
CERRO EL POTOSÍ,
GALEANA, NUEVO LEÓN,
MÉXICO

CURRENT STATUS OF THE
STRUCTURE AND
COMPOSITION OF THE
Pinus culminicola var.
culminicola FOREST IN AN
ALTITUDINAL GRADIENT
AT CERRO EL POTOSÍ,
GALEANA, NUEVO LEON,
MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 56: 65-83. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.5

Aldo Tovar-Cárdenas <https://orcid.org/0000-0002-1625-510X>

Homero Gárate-Escamilla

Autor de correspondencia: hgaratesc@uanl.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2060-1463>

Luis Gerardo Cuéllar Rodríguez <https://orcid.org/0000-0003-4969-611X>

Marisela Pando-Moreno <https://orcid.org/0000-0001-5122-175X>

José Israel Yerena-Yamallel <https://orcid.org/0000-0002-9216-7427>

Enrique Jurado-Ybarra <https://orcid.org/0000-0002-4043-5549>

Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León,
Linares, Nuevo León, México

RESUMEN: Las variaciones climáticas modifican la distribución de las especies en los bosques templados, afectando su composición, estructura, riqueza, crecimiento y regeneración. El Cerro El Potosí ha experimentado múltiples eventos de origen antrópico que han ocasionado una degradación y reducción en la cobertura vegetal, afectando y aminorando las poblaciones de *Pinus culminicola* Andresen & Beaman. El objetivo fue determinar la composición, estructura, diversidad, dasometría y regeneración de especies en el área de distribución del *Pinus culminicola* en un gradiente altitudinal (3190 a 3700 msnm) en el Cerro El Potosí. Se establecieron 12 sitios circulares de 400 m² distribuidos en 4 pisos altitudinales. Se determinaron los índices de valor de importancia (IVI), de riqueza de especies (Simpson, Shannon-Weiner y de Margalef), los parámetros dasométricos (altura, diámetro de fuste y área de copa) y la regeneración natural. Para el análisis de la información se utilizaron las pruebas de Levene, Shapiro-Wilk, ANOVA y Tukey. Se encontró que la familia *Pinaceae* es la más abundante, con cuatro especies. La diversidad de especies es baja en las altitudes más altas y aumenta gradualmente a medida que la altitud disminuye. Las especies con mayor IVI en cada piso altitudinal fueron las siguientes: 1) a 3190 msnm: *Pinus hartwegii*; 2) a 3300 msnm: *Pinus culminicola*; 3) a 3500 y 3700 msnm: *Pinus hartwegii* y *Pinus culminicola* tuvieron valores similares. Los parámetros dasométricos mostraron que los tamaños *P. culminicola* y *P. hartwegii* disminuyen con la altitud, siendo los 3500 msnm en donde se presentaron los individuos más grandes. La densidad de árboles adultos es mayor que los jóvenes en todas las altitudes, por lo que el estado de regeneración es bajo. Se concluye que en el Cerro El Potosí, el aumento de la altitud tiene un efecto en las variables estudiadas de abundancia y riqueza. Lo encontrado en el presente trabajo pudieran orientar futuros estudios que incluyan planes de manejo y conservación.

Palabras clave: bosque templado; índice de valor de importancia; *Pinus*; regeneración.

SUMMARY: Climatic variations modify the distribution of species in temperate forests, affecting their composition, structure, richness, growth and regeneration. Cerro El Potosí has experienced multiple anthropogenic events that have caused a degradation and reduction in vegetation cover, affecting and reducing the populations of *Pinus culminicola* Andresen & Beaman. The objective was to determine the composition, structure, diversity, dasometry and regeneration of species in the distribution area of *Pinus culminicola* in an altitudinal gradient (3190

to 3700 masl) in Cerro El Potosí. Twelve circular sites of 400 m² distributed in 4 altitudinal levels were established. The importance value indexes (IVI), species richness (Simpson, Shannon-Weiner and Margalef), dasometric parameters (height, stem diameter and crown area) and natural regeneration were determined. Levene, Shapiro-Wilk, ANOVA and Tukey tests were used for data analysis. The *Pinaceae* family was found to be the most abundant, with four species. Species diversity is low at higher altitudes and gradually increases as altitude decreases. The species with the highest IVI at each altitudinal level were the following: 1) at 3190 masl: *Pinus hartwegii*; 2) at 3300 masl: *Pinus culminicola*; 3) at 3500 and 3700 masl: *Pinus hartwegii* and *Pinus culminicola* had similar values. The dasometric parameters showed that the sizes of *P. culminicola* and *P. hartwegii* decreased with altitude, with the largest individuals occurring at 3500 masl. The density of adult trees is higher than young trees at all altitudes, so the state of regeneration is low. It is concluded that in Cerro El Potosí, the increase in altitude influences the studied variables of abundance and richness. The findings of this study could guide future studies that include management and conservation plans.

Key words: temperate forest; importance value index; Pinus; regeneration.

INTRODUCCIÓN

En México los bosques templados exhiben una amplia diversidad de especies en el que los pinos y encinos son los más representativos, ocupando el 17.7% de la superficie nacional (CONAFOR, 2020). Dentro del territorio mexicano se distribuyen 94 especies de coníferas, de las cuales 43 son endémicas, en el caso específico de Nuevo León existen 24 especies, siendo el segundo estado con mayor diversidad de coníferas (Gernandt & Pérez-de la Rosa, 2014).

El estudio y conservación de la biodiversidad en ecosistemas montañosos ha sido un tema de interés creciente en las últimas décadas (Adhikari *et al.*, 2018; Egan & Price, 2017; García-García *et al.*, 2023). Estos ecosistemas, caracterizados por su singular topografía y aislamiento geográfico, albergan una gran diversidad de especies, principalmente coníferas, de las cuales muchas son endémicas y altamente vulnerables a las perturbaciones ambientales (Galicía *et al.*, 2018).

Diversas investigaciones señalan que las condiciones climáticas determinadas por el factor altitudinal pueden moldear la composición y estructura de las comunidades presentes en un determinado ecosistema y pueden servir de base para determinar estatus de una población, al respecto Speziale (2012) menciona, que estas comunidades y los ecosistemas se ven alterados por las variaciones climáticas, las cuales modifican la distribución de las especies. Tal efecto se agudiza en los gradientes de altitud, dado que, según la altitud, las condiciones ambientales como humedad y temperatura se disminuyen o se intensifican (Estrada, 2011). Lo anterior, produce una variación sobre el crecimiento de los árboles (Salzer *et al.*, 2014), teniendo un impacto significativo en diversas características tales como: 1) la composición y estructura de la vegetación (Holguín-Estrada *et al.*, 2021); 2) la densidad de individuos; 3) la riqueza de especies (Bhat *et al.*, 2020; García-García *et al.*, 2023); 4) el volumen de fuste y el área basal (Siles *et al.*, 2017; Velasco *et al.*, 2023); y 5) en la regeneración natural (Ribeiro *et al.*, 2022). Así, las especies que se distribuyen a diversas altitudes pueden desarrollar diversas estrategias ecológicas con el propósito de adaptarse de eficazmente a las variaciones climáticas presentes en distintas zonas verticales de los bosques de montaña (Zhang *et al.*, 2022).

El Cerro El Potosí es poseedor de una amplia diversidad de especies vegetales que varía según el nivel altitudinal en que se encuentren (Aguirre *et al.*, 2003; Estrada, 2011; García *et al.*, 1999; García-Arévalo & González-Elizondo, 1991). En este, se han identificado 81 especies vasculares y 30 familias, de las cuales 13 son endémicas (Beaman & Andresen, 1966). En cuanto a las coníferas presentes en la zona son: *Pinus culminicola* Andresen & Beaman var. *culminicola*, *Pinus hartwegii* Lindl., *Pinus arizonica* Engelm. var. *stormiae* Martínez, *Pinus strobiformis* Engelm., *Pinus greggii* Engelm., *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus teocote* Schldl. & Cham., *Pinus nelsonii* Shaw, *Pseudotsuga menziessi* (Mirb.) Franco

var. *glauca* (Mayr) Franco, *Abies vejarii* Martínez var. *mexicana* (Martínez) T. S. Liu, *Juniperus zanonii* R. P. Adams y *Juniperus monosperma* (Engelm.) Sarg (Estrada, 2011; Estrada *et al.*, 2014).

El *P. culminicola* Andresen & Beaman var. *culminicola* del estudio en cuestión, es un árbol de porte arbustivo que generalmente puede medir de 2 a 3 metros y rara vez hasta 5 metros de altura, su ramificación es desde la base y con un follaje denso, sus estróbilos o conos son resinosos y flexibles en forma de diamante, con semillas duras tipo piñón, esta especie se distribuye desde los 3200 hasta los 3700 msnm (Estrada *et al.*, 2014; Rzedowski, 2006). El Cerro El Potosí ha experimentado múltiples eventos que han ocasionado una degradación y reducción en la cobertura vegetal (Manzanilla, 2017), como en *Pinus culminicola*, *Pinus hartwegii*, *Pinus strobiformis*, *Pseudotsuga menziessi*, entre otras, sin embargo, las poblaciones de *P. culminicola* se han visto drásticamente reducidas en un 40%, quedando alrededor de 30 ha (Estrada *et al.*, 2014; García-Arévalo & González-Elizondo, 1991; Manzanilla, 2017; Sánchez *et al.*, 1987). No obstante, esta especie, presenta una distribución aislada en otras montañas de la Sierra Madre Oriental, como la Sierra de la Martha y en la Sierra La Viga en Coahuila (Estrada *et al.*, 2014; Manzanilla, 2017). A pesar de la importancia que tiene el entender la composición y estructura del ecosistema en diferentes altitudes, existen pocos estudios que evalúen o tomen en cuenta la diversidad y abundancia de las especies vegetales a lo largo de un gradiente altitudinal en el Cerro El Potosí (Aguirre *et al.*, 2003; Estrada, 2011; García *et al.*, 1999; Ramos, 2015). La falta de estudios resalta la necesidad de generar más información que pudiera ser de utilidad para futuras investigaciones. Por tanto, para el presente estudio se planteó la siguiente hipótesis de trabajo: a medida que se aumenta en altitud dentro de la distribución del *Pinus culminicola* var. *culminicola*, los valores de los parámetros de abundancia y riqueza de especies disminuyen. El objetivo general es determinar la composición y estructura, así como la diversidad, dasometría y regeneración de especies en el área de distribución del *Pinus culminicola* var. *culminicola* en un gradiente altitudinal con exposición Este del bosque templado en el Cerro El Potosí en el municipio de Galeana en el estado de Nuevo León, México.

MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se realizó en el Área Natural Protegida de competencia estatal (ANP) Cerro El Potosí ubicado en la Sierra Madre Oriental en Galeana, Nuevo León, entre las coordenadas geográficas 24° 52' 7" N y 100° 13' 55" O (Figura 1). El Cerro El Potosí posee una extensión territorial de 7,392 hectáreas, de las cuales 989 ha están designadas como ANP (García *et al.*, 1999). Además, posee un gradiente altitudinal de la montaña va desde los 2000 msnm, hasta los 3721 msnm (INEGI, 1986, 2017). Su tipo de suelo es litosol o protorendzina poco profundo (1-5 cm), es roca caliza, rico en contenido de materia orgánica y con un pH ligeramente alcalino (7.5). En la cima del cerro, las heladas son habituales y los vientos son intensos (Rzedowski, 2006). La temperatura promedio en esta región varía en un rango de 7 a 14°C, llegando a descender hasta -3 °C, la precipitación oscila entre los 400 a 500 mm (CONAGUA, 2015; IMTA, 2013; Ramos, 2015).

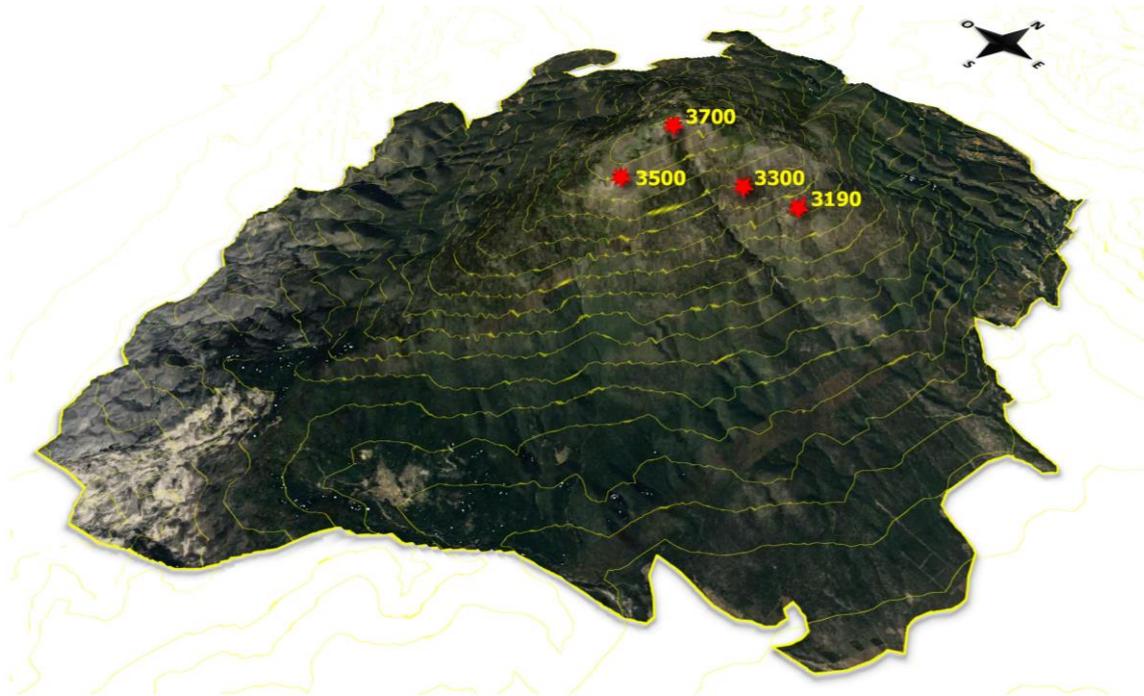


Figura 1. Sitos de muestreo en el Cerro El Potosí en Galeana, Nuevo León.
Figure 1. Sampling sites at Cerro El Potosí in Galeana, Nuevo León.

Sitios de muestreo

Para identificar el valor de importancia ecológica, la estructura vertical, la regeneración y la riqueza de especies, se establecieron 12 sitios circulares de 400 m² mediante un muestreo al azar (Alanís *et al.*, 2020) dentro de la distribución de la especie de *P. culminicola* y que no presentaran perturbación, distribuidos en cuatro niveles altitudinales en el Cerro El Potosí. El nivel 1 se encuentra a una altitud de 3190 msnm, ubicado entre las coordenadas geográficas 24° 52' 45" N y 100° 13' 8" O. El nivel 2 se localizó a los 3300 msnm, situado entre las coordenadas 24° 52' 25" N y 100° 13' 22" O. El nivel 3 se estableció a los 3500 msnm, entre las coordenadas 24° 51' 42" N y 100° 13' 47" O. Finalmente, el nivel 4 se posicionó a los 3700 msnm, entre las coordenadas 24° 52' 20" N y 100° 13' 54" O (Figura 1). En cada nivel altitudinal, se situaron tres parcelas con orientación Este. Se colectaron muestras de las especies vegetales que se encontraran dentro de los sitios para identificarlas en el laboratorio de botánica de la Facultad de Ciencias Forestales de la U.A.N.L.

Toma de datos

En cada parcela experimental, se registraron los siguientes parámetros dasométricos: el diámetro normal ($d_{1.30}$; cm), el diámetro de copa de Norte a Sur y de Este a Oeste (m) y la altura total (h; m). Para analizar la regeneración, se consideraron los individuos cuyo diámetro era igual o menor a (\leq) 7.5 cm, siguiendo la metodología de la CONAFOR (2018). El diámetro normal fue tomado con una cinta diamétrica marca Lufkin W606PM, el diámetro de copa se estimó con un longímetro marca Truper de 100 m modelo TEC-100ME y para la altura se utilizó un hipsómetro láser marca Nikon modelo Forestry Pro II.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Parámetros ecológicos

Para conocer el valor de importancia de las especies en el ecosistema, se calculó la abundancia (Ar), dominancia (Dr) y la frecuencia (Fr), a partir de estas variables se obtuvo el índice de valor de importancia (IVI), el cual obtiene valores en forma de porcentaje en una escala que va desde cero hasta cien (Alanís *et al.*, 2020; Mostacedo & Fredericksen, 2000). El IVI se obtiene al analizar las variables abundancia, dominancia, cobertura y frecuencia en un bosque (Tabla 1; López-Hernández *et al.*, 2017).

Índices de riqueza de especies

La riqueza de especies fue estimada con el índice de Simpson (λ), Shannon-Weiner (H') y de Margalef (D_{Mg}) (Tabla 1). Cada uno de estos índices proporciona una medida específica sobre la diversidad y manejan un rango de valores distinto. Los valores para el índice de (λ), oscilan de 0 y 1, donde 0 representa una baja diversidad y un valor próximo a 1 sugiere una alta diversidad (Salmerón *et al.*, 2017). El índice H' indica baja diversidad cuando los valores son inferiores a 2 y alta diversidad si los valores son superiores a 3 (Somarriba, 1999). Asimismo, el índice D_{Mg} denota poca diversidad cuando los valores son menores a 2, mientras que mayores a 5, indican alta diversidad (Margalef, 1972).

Tabla 1. Fórmulas utilizadas para determinar los índices de diversidad e indicadores ecológicos de las especies.
Table 1. Formulas used to determine species diversity indices and ecological indicators.

Fórmula	Donde:
$IVI = \frac{\sum_{i=1}^n (AR_i, DR_i, FR_i)}{3}$	IVI = índice de valor de importancia AR _i = abundancia relativa por especie DR _i = dominancia relativa de la especie FR _i = frecuencia relativa de la especie
$Ar = \left(\frac{n}{N}\right) \times 100$	Ar = abundancia relativa por especie n = número de individuos de la especie N = número general de todas las especies
$Dr = \left(\frac{i}{N}\right) \times 100$	Dr = dominancia relativa de la especie i = área de copa de la especie N = área de copa general de todas las especies
$Fr = \left(\frac{n}{N}\right) \times 100$	Fr = frecuencia relativa de la especie n = número de sitios en donde la especie está presente N = número total de sitios muestreados.
$D_{\square} = \frac{S - 1}{\ln N}$	D_{Mg} = diversidad de Margalef S = número de especies presentes ln = logaritmo natural N = número total de individuos
$\begin{aligned} \lambda &= \sum pi^2 \\ \text{Complemento de Simpson} \\ &= 1 - \sum pi^2 \end{aligned}$	λ = índice de Simpson pi = la abundancia conforme a la especie i
$\begin{aligned} H' &= - \sum_{i=1}^s p_i \times \ln (p_i) \\ p_{\square} &= n_i/N \end{aligned}$	H' = índice de Shannon-Wiener, P_i = abundancia proporcional de la especie S = número total de las especies ln = logaritmo natural n_i = número de individuos de la especie i N = número total de individuos

Análisis de datos

Para comprobar la existencia de diferencias estadísticas en la riqueza de especies, parámetros dasométricos, abundancia y dominancia, se realizó la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, posteriormente se ejecutó la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar la normalidad de los datos. Dado que los supuestos se cumplieron, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) en todas las variables para determinar diferencias entre los tratamientos. Para la comparación entre las medias se utilizó la prueba Tukey para la riqueza, abundancia y dominancia (Einot & Gabriel, 1975). Los análisis estadísticos estuvieron basados en la diferencia estadística " $p < 0.05$ " indicando que los números mostraron diferencias estadísticas.

RESULTADOS

Composición y riqueza de especies

En total se evaluaron 301 individuos vegetales, de los cuales 227 son árboles y el 74 son de porte arbustivo. Se registraron 2 órdenes (Asparagales y Pinales), 2 familias (Asparagaceae y Pinaceae) y 3 géneros (*Agave*, *Pinus* y *Pseudotsuga*). El número de especies registradas fue de 5 (*Agave montana* Villarreal, *Pinus culminicola*, *Pinus hartwegii* Lindl., *Pinus strobiformis* Engelm y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). La familia más representativa fue Pinaceae con cuatro especies.

En el nivel 1 se registró el mayor número de especies (*Agave montana*, *Pinus culminicola*, *Pinus hartwegii* y *Pseudotsuga menziesii* con 71, 21, 30 y 3 individuos respectivamente). En el nivel 2 se encontraron 36 individuos de *P. culminicola*, 14 de *P. hartwegii* y 13 de *P. strobiformis*. En los niveles 3 y 4, únicamente se identificaron dos especies, específicamente *P. culminicola* (con 36 individuos en el nivel 3 y 26 en el nivel 4) y *Pinus hartwegii* (con 21 individuos en el nivel 3 y 30 en el nivel 4).

Los índices de diversidad (Simpson, Shannon – Weiner y Margalef) mostraron una baja diversidad para todo el gradiente altitudinal, desde el nivel 1 (3190 msnm) hasta el nivel 4 (3700 msnm) (Tabla 2). Sin embargo, a medida que la altitud disminuye, se aprecia un incremento gradual en los valores de diversidad. El análisis de varianza indicó que existen diferencias significativas entre los niveles altitudinales en los índices de Shannon – Weiner (*p value*: 0.01) y Margalef (*p value*: 0.03). La prueba de Tukey indicó que los niveles 1, 2 y 4 son estadísticamente diferentes respecto a la diversidad de especies (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de los índices de riqueza de especies por piso altitudinal.

Table 2. Values of species richness indexes by altitudinal level.

Altitud (msnm)	Índices de diversidad		
	Margalef	Simpson	Shannon
3700	0.2484 *	0.2337	0.3493 *
3500	0.2473	0.4645	0.6573
3300	0.4846 *	0.5113	0.8701 *
3190	0.6213 *	0.5788	1.0157 *

*: Diferencias estadísticas significativas.

Valores de importancia

En los 3190 msnm, las especies más abundantes fueron *A. montana* con 59% (617 individuos ha⁻¹) y *P. hartwegii* con 26% (275 individuos ha⁻¹). Además, se observó que *P. hartwegii* fue la especie que mostró mayor dominancia con 69% (5277 m²/ha), mientras que *P. menziesii* exhibió menor dominancia con 5% (452 m²/ha). Respecto a la frecuencia relativa, se observó que *A. montana*, *P. culminicola* y *P. hartwegii* mostraron el mismo valor (30%). Las especies con mayor representatividad (IVI) en esta altitud fueron *P. hartwegii* y *A. montana* con 41% y 31% respectivamente (Tabla 3).

En los 3300 msnm, se destacó *P. culminicola* con la mayor *Ar* con 57% (300 individuos ha⁻¹). Las especies más dominantes fueron *P. strobiformis* y *P. hartwegii* con 40% (2816 m²/ha) y 37% (2624 m²/ha) respectivamente. Todas las especies registradas en este rango altitudinal mostraron la misma *Fr* (33.3%). Además, el mayor peso ecológico fue de *P. culminicola* con 37% (Tabla 3).

En los 3500 msnm, el *P. culminicola* fue la especie más abundante con 63% (300 individuos ha⁻¹), mientras que el más dominante fue el *P. hartwegii*, ya que registró el mayor valor con 73% (5769 m²/ha). Ambas especies tuvieron el mismo valor de frecuencia (50%). El índice de valor de importancia para esta altitud fue superior para *P. hartwegii* (53%) (Tabla 3).

En los 3700 msnm, *P. hartwegii* fue la especie que registró los valores más altos para *Ar*, *Dr* e *IVI* con 53% (250 individuos ha⁻¹), 67% (4581 m²/ha) y 53% respectivamente. Por otra parte, *P. culminicola*, de *Ar*, *Dr* e *IVI* obtuvo 46% (216 individuos ha⁻¹), 32% (2251 m²/ha) y 46% respectivamente. Además, se presentó en todos los sitios de muestreo (*Fr*: 60%) (Tabla 3).

Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas entre las altitudes para la abundancia (*p value*: 0.0005) y dominancia (*p value*: 0.0002). Respecto a la abundancia, solo se identificó que la altitud 3190 es estadísticamente diferente (*p value*: 0.0001). Por otra parte, en la dominancia, se identificaron diferencias en las altitudes 3700 (*p value*: 0.003) y 3300 (*p value*: 0.0006). Se encontraron diferencias significativas entre las altitudes en las variables de abundancia y dominancia de *P. culminicola* y *P. hartwegii* (*p value*<0.05). La prueba de Tukey únicamente para la altitud 3190, reveló diferencias significativas en la abundancia (*p value*: 0.002) y dominancia (*p value*: 0.047) de *P. culminicola*. En *P. hartwegii*, la altitud 3300 fue estadísticamente diferente en la abundancia (*p value*: 0.015) y dominancia (*p value*: 0.011).

Tabla 3. Valores de abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia.

Table 3. Abundance, dominance, frequency and importance value index values.

Altitud (msnm)	Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valores de importancia	
		N ha ⁻¹	%	m ² ha	%	N/Sitio	%	IVI	%
3700	<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	250.17	53.57	4581.83	67.05	2	40	160.62	53.54
	<i>Pinus culminicola</i> Andresen & Beaman	216.81	46.43	2251.26	32.95	3	60	139.38	46.46
	Total	466.98	100	6833.09	100	5	100	300	100
3500	<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	175.12	36.84	5769.34	73.45	3	50	160.29	53.43
	<i>Pinus culminicola</i> Andresen & Beaman	300.20	63.16	2085.23	26.55	3	50	139.71	46.57
	Total	475.32	100	7854.57	100	6	100	300	100
3300	<i>Pinus culminicola</i> Andresen & Beaman	300.20	57.14	1561.67	22.30	3	33.33	112.78	37.59
	<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	116.75	22.22	2624.62	37.48	3	33.33	93.03	31.01
	<i>Pinus strobiformis</i> Engelm.	108.41	20.63	2816.87	40.22	3	33.33	94.19	31.40
	Total	525.35	100	7003.16	100	9	100	300	100
3190	<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	275.19	26.4	5277.89	69.03	3	30	125.43	41.81
	<i>Agave montana</i> Villarreal	617.08	59.2	496.94	6.50	3	30	95.70	31.90
	<i>Pinus culminicola</i> Andresen & Beaman	125.08	12	1418.40	18.55	3	30	60.55	20.18
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	25.02	2.4	452.87	5.92	1	10	18.32	6.11
	Total	1042.37	100	7646.11	100	10	100	300	100

Parámetros dasométricos

Los valores del área de copa de *P. culminicola* en función del gradiente altitudinal revelan una disminución constante, desde el nivel 4 hasta el 2, con excepción del nivel 1, donde se observa un área de copa mayor en comparación con los niveles 2, 3 y 4. Por su parte, *P. hartwegii* tuvo su punto máximo en el nivel 3 y se reduce gradualmente a medida que baja la altitud (Figura 3).

Respecto a la altura, para *P. culminicola* fue similar en los cuatro niveles altitudinales, observándose que los individuos con mayor altura se encuentran en el nivel 3. Asimismo, para *P. hartwegii* se observa una tendencia similar, donde los individuos más altos predominan en el nivel 3, mientras que los de menor altura se encuentran en el nivel 4 (Figura 3).

En relación con el diámetro, *P. culminicola* evidencia una disminución progresiva desde el nivel 4 hasta el nivel 1, siendo los individuos del nivel 4 (3700 msnm) los que presentan los diámetros más grandes (Figura 3). Por otro lado, en *P. hartwegii*, se observa una similitud en los diámetros entre los niveles 2, 3 y 4, destacándose el nivel 3 con individuos que muestran un mayor diámetro.

Los valores de área de copa, altura y diámetro de *P. culminicola* y *P. hartwegii* en cada nivel altitudinal, tuvieron homogeneidad de varianzas y una distribución normal ($p > 0.05$) respectivamente. Además, no se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los niveles altitudinales de las dos especies (*P. culminicola* *p* value; área de copa: 0.56; altura: 0.61; diámetro: 0.55) (*P. hartwegii* *p* value; área de copa: 0.79; altura: 0.16; diámetro: 0.24).

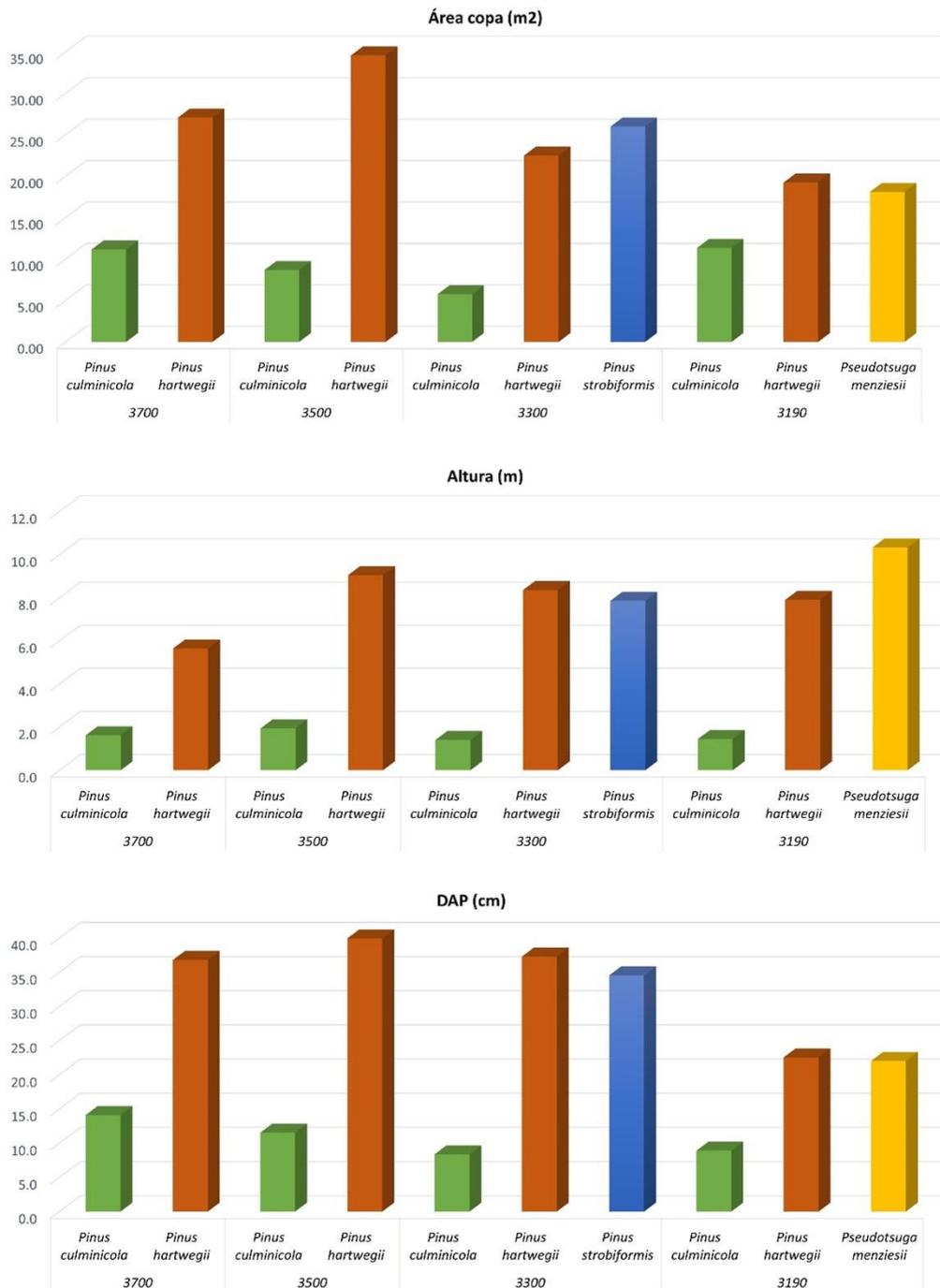


Figura 3. Área de copa, altura y DAP de las especies por gradiente altitudinal.
Figure 3. Crown area, height and DBH of the species by altitudinal gradient.

Análisis de regeneración

A lo largo del gradiente altitudinal, se observó que todas las especies tuvieron mayor densidad de árboles adultos, que de árboles jóvenes. En todas las altitudes, se observó una regeneración natural en por lo menos una especie. Particularmente, en las altitudes 3500 y 3700 *P. culminicola* y *P. hartwegii* se registraron valores de densidad de árboles nuevos. Asimismo, solo en la altitud 3300, se encontró regeneración de *P. culminicola*, mientras que sólo en los 3190 se apreció árboles jóvenes de *P. hartwegii*. Sin embargo, en todas las altitudes, el estado de regeneración se encuentra en una categoría mala (Tabla 4).

Tabla 4. Densidad de árboles adultos y jóvenes por altitud.
Table 4. Density of adult and young trees by altitude.

Altitud	Especie	Adultos (N ha ⁻¹)	Jóvenes (N ha ⁻¹)	Estado
3700	<i>Pinus culminicola</i>	200.14	16.68	M
	<i>Pinus hartwegii</i>	175.12	75.05	M
3500	<i>Pinus culminicola</i>	283.52	75.05	M
	<i>Pinus hartwegii</i>	133.42	8.34	M
3300	<i>Pinus culminicola</i>	316.88	33.36	M
	<i>Pinus hartwegii</i>	116.75	0	M
	<i>Pinus strobiformis</i>	108.41	0	M
3190	<i>Pinus culminicola</i>	125.08	0	M
	<i>Pinus hartwegii</i>	258.51	16.68	M
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	25.02	0	M

DISCUSIÓN

Composición y riqueza de especies

En este estudio la familia *Pinaceae* es el taxon más representativo en El Cerro El Potosí sobre el gradiente altitudinal evaluado. Esta información concuerda con Ramos *et al.*, (2017), quienes encontraron que, a lo largo de un gradiente de altitud en el Cerro El Potosí, la familia con más representatividad es *Pinaceae*. Coincidiendo con lo reportado con otros autores, que esta familia exhibe una amplia distribución en los bosques templados que se extienden a lo largo de las cadenas montañosas de Europa, Asia y América del norte, centro y sur (Altman *et al.*, 2020; Crofts & Brown, 2020; Graciano-Avila *et al.*, 2020; Haq *et al.*, 2021; Hernández-Salas *et al.*, 2013; Ramos *et al.*, 2017; Rundel, 2019; Sykes & Prentice, 1996). Lo anterior enfatiza en la importancia de las *Pinaceae*s en los bosques templados, ya que proveen servicios ecosistémicos fundamentales (González-Hernández *et al.*, 2023; López-Marcos, 2021). Por tanto, la conservación de las *Pinaceae*s, así como para otras especies presentes en el Cerro El Potosí, es imprescindible para la salud de este ecosistema.

El mayor número de individuos y riqueza de especies se encuentra en los 3190 msnm, mientras que conforme aumenta la altitud, estos valores disminuyen. Nuestros resultados concuerdan Salas-Morales & Williams-Linera (2019), dado que estudiaron la estructura de la vegetación y la diversidad de especies en dos gradientes de altitud en Oaxaca y Veracruz; con García-García *et al.* (2023) quienes evaluaron la riqueza de especies en un bosque templado a lo largo de un gradiente altitudinal en Guadalupe y Calvo en el estado de Chihuahua; y con Bhat *et al.* (2020), ya que analizaron la diversidad de especies en un gradiente altitudinal en el Santuario de Vida Silvestre de Kedarnath en los Himalayas, India. Estos estudios encontraron que a medida que la altitud aumenta, el número de especies e individuos descende. Esto también coincide con Ávila-Sánchez *et al.*, (2018), quienes mencionan que es frecuente encontrar una escasa diversidad y riqueza de especies en los bosques templados de pino-encino. Quizá este fenómeno pudiera deberse a la heterogeneidad ambiental, ya que este factor influye en la distribución y diversidad de las especies (Sabás-Rosales *et al.*, 2015). Esto pudiera deberse a las condiciones ambientales del sitio (contenido de fósforo y arena, capacidad de intercambio catiónico, altitud, precipitaciones), que pueden variar en función de la posición altitudinal (Ávila-Sánchez *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2020).

La riqueza de especies de Simpson (λ), Shannon-Weiner (H') y de Margalef (D_{Mg}) indican baja diversidad en todos los niveles altitudinales, lo que coincide con lo obtenido por Haga clic o pulse aquí para escribir texto. (Medrano *et al.*, 2017) quienes descubrieron que la menor diversidad de especies (H' : 1.94 y λ : 0.18) se encuentra en el mayor intervalo altitudinal evaluado (2700-3000 msnm) en la Sierra Madre Occidental en El Salto; con Gárate-Escamilla *et al.* (2023) quienes reportan valores bajos de diversidad para un bosque

templado en el municipio de Santiago en Nuevo León (α' : 0.46, H' : 0.77 y D_{Mg} : 0.74); con (González *et al.*, 2018), donde reportan baja diversidad con el índice H' y D_{Mg} en un bosque templado en el ejido la Encantada en Zaragoza, Nuevo León; y con (Caballero *et al.*, 2022) quienes encontraron baja diversidad de especies en un bosque de pino en Puebla (α' : 0.17, H' : 0.40 y D_{Mg} : 1.50). La diversidad de especies de un área puede deberse a la estructura del ecosistema analizado y a la composición de especies.

Valores de importancia

En el Cerro El Potosí se observa que los parámetros ecológicos de abundancia y dominancia se ven influenciados por el factor altitudinal, dado que se mostraron diferencias estadísticas significativas en ambos parámetros en por lo menos una altitud ($p\text{ value} < 0.05$), apreciándose una disminución del número de individuos conforme la altitud aumenta. Lo anterior coincide con lo señalado por Siles *et al.* (2017) quienes indican que la densidad de individuos se ve influenciada por la altitud, siendo diferente el número de individuos vegetales en cada determinada altitud. Por otra parte, la dominancia en los bosques templados puede verse afectada por los requerimientos de luz de las especies (Velasco *et al.*, 2023). Esto puede explicar la variación de los valores de dominancia a lo largo del gradiente de altitud del Cerro El Potosí, dado que las especies no se encuentran distribuidas de la misma manera en los diversos niveles altitudinales, donde, además, dicho efecto puede no ser lineal (Holguín-Estrada *et al.*, 2021),

Agave montana solo se presenta en los 3190 msnm, dado que se encuentra en su límite de distribución en el Cerro El Potosí, además posee la mayor abundancia en dicha altitud, lo que podría indicar una buena adaptación de dicha especie a esta elevación. Asimismo, Estrada (2011) menciona que, en el Cerro El Potosí, se ha documentado la presencia de esta especie en todas las exposiciones, extendiéndose hasta aproximadamente los 3100 msnm. Además, García (2007) indica que *A. montana* puede ser muy abundante localmente si se encuentra en óptimas condiciones para su establecimiento y desarrollo como lugares rocosos, escarpados, planicies, y señala además que, en general los agaves tienen la capacidad de crecer hasta los 3400 msnm, pero comúnmente se encuentran entre los 1000 y 2000 msnm. La alta abundancia de *A. montana* a 3190 msnm puede atribuirse a su predilección por las áreas planas y rocosas en que se encuentra en el Cerro El Potosí.

En los 3300 msnm, *Pinus strobiformis* exhibe la mayor Dominancia, sin embargo, solo se encuentra en esta altitud, mientras que *Pseudotsuga menziesii* únicamente se presenta en los 3190 msnm. Estos resultados coinciden con Ramos *et al.* (2017), dado que, en su estudio, ambas especies (*Pinus strobiformis* y *Pseudotsuga menziesii*) poseen valores bajos relacionados a la importancia ecológica en el Cerro El Potosí, en una cota altitudinal de 2800 a 3600 msnm.

En relación con *Pinus hartwegii*, dicha especie posee el mayor valor de Dr en las altitudes 3190, 3500 y 3700. Estos valores pueden deberse a que *P. hartwegii* ostenta una amplia cobertura del follaje mostrándose superior a las demás especies del Cerro El Potosí, además esta especie posee adaptación al fuego, el cual favorece su germinación, rebrote y crecimiento (Rodríguez-Trejo, 2002). Asimismo, Chávez-Aguilar *et al.* (2022) en su trabajo realizado en el bosque templado en El Nevado de Toluca en un gradiente de altitud (2800-4300 msnm), exponen que *P. hartwegii* es el taxon más dominante en todo el gradiente, coincidiendo con nuestros resultados. También, *P. hartwegii* puede tener una alta influencia en la estructura del bosque, así como un rol significativo en la captura de carbono, dado que exhibe una alta dominancia en todos los niveles altitudinales (Carrillo *et al.*, 2016; Martínez *et al.*, 2020).

Pinus culminicola presenta una amplia distribución dado que se encuentra en todos los niveles altitudinales; destaca particularmente en los 3300 msnm por su alto peso ecológico (IVT), y por su abundancia (Ar) en los 3300 y 3500 msnm. De acuerdo con Aguirre *et al.* (2003) *P. culminicola* habita diversos rodales a diferentes elevaciones del Cerro El Potosí. Asimismo, Sánchez *et al.*, (1990) indica que la presencia de *P. culminicola* está determinada por factores relacionados con la altitud, temperatura, nubosidad, la intensa exposición al sol y el escurrimiento. Asimismo, Villanueva *et al.* (2018) menciona que, tanto *P. culminicola* como *P. hartwegii* son especies sensibles a las condiciones climáticas de precipitación y

temperatura, sin embargo, la sensibilidad de *P. hartwegii* a las condiciones climáticas es menor que la de *P. culminicola*.

Parámetros dasométricos

Siles *et al.* (2017) señalan que la altitud tiene una influencia sobre el área basal y volumen de fuste. El área de copa en *Pinus culminicola* muestra una disminución desde los 3700 hasta los 3300 msnm, con excepción de los 3190 msnm, donde se aprecia un valor superior a las otras altitudes. En relación con la altura, *P. culminicola* y *Pinus hartwegii* muestran una tendencia similar, con los individuos más altos en los 3500 msnm. El diámetro de *P. culminicola* exhibe una disminución gradual a medida que se desciende en altitud, siendo los individuos de los 3700 msnm los que tienen los mayores diámetros. Velasco *et al.* (2023) en su estudio encontró que el diámetro, área basal y la altura aumentan conforme asciende la altitud, además expone que, en la mayor altitud evaluada, los rodales se encuentran en un mejor estado de conservación, indicando ser una característica de un bosque maduro. Esto podría explicar los valores de área de copa, altura y diámetro en el caso de *P. culminicola* a 3190 msnm, ya que es posible que estos árboles no se hayan visto tan afectados por incendios, lo que a su vez indicaría que son árboles de mayor edad y tamaño.

Respecto a *P. hartwegii*, se evidencia un efecto en U invertida, dado que su valor máximo se registra en los 3500 msnm y se reduce gradualmente a medida que la altitud disminuye. Los diámetros de esta especie presentan similitudes las altitudes 3300, 3500 y 3700 msnm, destacando el diámetro de los 3500 msnm. Sin embargo, los valores de esta especie podrían atribuirse a la reducción de individuos de mayores dimensiones, como resultado de la explotación forestal (Sánchez *et al.*, 1987).

Análisis de regeneración

El análisis de regeneración en el Cerro El Potosí muestra que la densidad de árboles adultos es muy superior en comparación con la densidad de árboles jóvenes. Lo cual indica que el potencial de regeneración natural del bosque en la exposición Este es malo. Flores-Rodríguez *et al.* (2022) menciona que la variable exposición (N, S, E y O) tiene influencia sobre la regeneración natural, donde según la exposición, puede ejercer un efecto positivo o negativo sobre el proceso de regeneración. Según Godínez *et al.* (2016) la exposición N, es la orientación más benévola para la regeneración natural, mientras que la exposición cenital y sur son las menos favorables. Esto se podría deber a que la exposición norte recibe menos luz solar, por tanto, es la orientación más propicia para la regeneración debido a su contenido de mayor humedad (Flores-Rodríguez *et al.*, 2022).

Pese a la mala regeneración del bosque templado del Cerro El Potosí, se aprecia presencia de árboles jóvenes (regeneración) de al menos una especie en todos los niveles altitudinales, lo que coincide con Ribeiro *et al.* (2022), quienes mencionan que lo anterior resalta la importancia de la regeneración natural, ya que es un proceso esencial y complejo que fundamentalmente actúa en la conservación y renovación de los bosques. Esta información muestra la capacidad regenerativa del bosque del Cerro El Potosí pese a los diversos sucesos de degradación que ha atravesado a lo largo del tiempo. Asimismo, Martínez-Garza *et al.* (2022) mencionan que una alta abundancia de plantas indicaría que el bosque tiene un potencial alto de regeneración, sin embargo, esta es limitada en los bosques que fueron gravemente afectados por incendios. Lo cual podría explicar la poca regeneración de las especies en el gradiente evaluado en el Cerro El Potosí.

Particularmente, en los 3500 y 3700 msnm, se registran árboles jóvenes de *Pinus hartwegii* y *Pinus culminicola*, esto podría indicar que en estas altitudes se encuentran las condiciones óptimas para la regeneración de ambas especies. En concordancia con Romahn-Hernández *et al.* (2020), quienes encontraron que en las altitudes media y alta de un bosque templado (2900-3600 msnm) la regeneración natural en coníferas es más exitosa. Pese a la reducción poblacional a causa de los disturbios antrópicos, se han visto individuos jóvenes de *P. culminicola* (Sánchez *et al.*, 1987). Cortés-Cabrera *et al.* (2018) encontraron que la densidad de plántulas (regeneración) fue mayor en los 3050 y 3225 msnm. Por otra parte, considerando que muchas de las especies de pinos son intolerantes a la sombra (Rodríguez-Trejo & Quiahua, 2021), la apertura del dosel puede influir en la regeneración, ya que crea un entorno

más propicio para dicha regeneración (García-García *et al.*, 2023). Por tanto, dicha apertura del dosel puede ser benéfica para los pinos del Cerro el Potosí. Sin embargo, para las áreas con dosel muy abierto, algunos autores recomiendan el uso de estrategias de restauración ecológica con el fin de estimular los procesos de regeneración natural del bosque (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2020; Martínez-Garza *et al.*, 2022; Ramos, 2015).

CONCLUSIÓN

De acuerdo con los resultados encontrados, a lo largo del gradiente de altitud del bosque templado del Cerro El Potosí, se observó una disminución en los valores de los parámetros de abundancia y riqueza de especies conforme la elevación aumentaba. Lo anterior confirma la hipótesis planteada en este estudio, dado que mostraron una tendencia decreciente conforme aumenta la altitud. *Pinus culminicola* y *Pinus hartwegii* son las especies de mayor valor de importancia ecológica en todo el gradiente altitudinal. Los parámetros dasométricos altura, diámetro normal y área de copa no mostraron diferencias significativas entre las altitudes.

El estado de regeneración de todas las especies analizadas (*Pinus culminicola*, *Pinus hartwegii*, *Pinus strobiformis* y *Pseudotsuga menziesii*) es malo en todos los niveles altitudinales.

Los resultados obtenidos de esta investigación proporcionan conocimiento actual que guarda la estructura y composición de *Pinus culminicola*, así como de *P. hartwegii*, *P. strobiformis* y *P. menziesii* a través de su distribución altitudinal en el Cerro El Potosí, este trabajo muestra además la importancia ecológica de las especies que componen este ecosistema. Esperando que esta investigación aporte datos para futuros estudios y planes de manejo y conservación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por el otorgamiento de la beca de doctorado que financia la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Adhikari, S., Baral, H., & Nitschke, C. R. (2018). Identification, prioritization and mapping of ecosystem services in the Panchase Mountain Ecological Region of Western Nepal. *Forests*, 9(9), 554. <https://doi.org/10.3390/f9090554>
- Aguirre, Ó. A., Jiménez Pérez, J., Kramer, H., & Akça, A. (2003). Análisis estructural de ecosistemas forestales en el Cerro del Potosí, Nuevo León, México. *Ciencia UANL*, 6(2), 219–225. <http://eprints.uanl.mx/1220/>
- Alanís, E., Mora Olivo, A., & Marroquín de la Fuente, J. S. (2020). *Muestreo ecológico de la vegetación* (E. Alanís Rodríguez, A. Mora Olivo, & J. S. Marroquín de la Fuente, Eds.; 1st ed.). Editorial Universitaria UANL. https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Rodriguez-65/publication/343137042_Muestreo_Ecologico_de_la_vegetacion/links/5f186f4545851515ef3e6b0f/Muestreo-Ecologico-de-la-vegetacion.pdf
- Alanís-Rodríguez, E., Sánchez-Castillo, L., Méndez-Osorio, C., Canizales Velázquez, P. A., Mora-Olivo, A., & Rubio Camacho, E. (2020). Structure and diversity of trees on post-fire regenerated areas in Sierra de Guerrero, Mexico. *Botanical Sciences*, 98(2), 210–218. <https://doi.org/10.17129/botsci.2220>
- Altman, J., Treydte, K., Pejcha, V., Cerny, T., Petrik, P., Srutek, M., Song, J.-S., Trouet, V., & Dolezal, J. (2020). Tree growth response to recent warming of two endemic species in Northeast Asia. *Climatic Change*, 162, 1345–1364. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02718-1>

- Ávila-Sánchez, P., Sánchez-González, A., Catalán-Heverástico, C., Almazán-Núñez y J. Jiménez-Hernández, R. C., & Jiménez-Hernández, J. (2018). Patrones de Riqueza y Diversidad de Especies Vegetales en un gradiente altitudinal en Guerrero, México. *Polibotánica*, 0(45), 101–113. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.8>
- Beaman, J. H., & Andresen, J. W. (1966). The Vegetation, Floristics and Phytogeography of the Summit of Cerro Potosi, Mexico. *The American Midland Naturalist*, 75(1), 1–33. <https://doi.org/10.2307/2423480>
- Bhat, J. A., Kumar, M., Negi, A. K., Todaria, N. P., Malik, Z. A., Pala, N. A., Kumar, A., & Shukla, G. (2020). Species diversity of woody vegetation along altitudinal gradient of the Western Himalayas. *Global Ecology and Conservation*, 24, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01302>
- Caballero, P., Treviño Garza, E. J., Mata Balderas, J. M., Alanís Rodríguez, E., Yerena Yamallel, J. I., & Cuéllar Rodríguez, L. G. (2022). Análisis de la estructura y diversidad de bosques templados en la ladera oriental del volcán Iztaccíhuatl, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(71), 76–102. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1253>
- Cadena-Zamudio, D. A., Flores-Garnica, J. G., Lomelí-Zavala, M. E., & Flores-Rodríguez, A. G. (2022). Does the severity of a forest fire modify the composition, diversity and structure of temperate forests in Jalisco? *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 28(1), 461–478. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.12.076>
- Carrillo, F., Acosta Mireles, M., Jiménez Cruz, C. del R., González Molina, L., & Etchevers Barra, J. D. (2016). Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa y el carbono de la parte aérea de *Pinus hartwegii* en el Parque Nacional Ixta-Popo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 681–691. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n3/2007-0934-remexca-7-03-681.pdf>
- Chávez-Aguilar, G., Campos-Ángeles, G. V., & Pérez-Suárez, M. (2022). Estructura y composición del bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. en su distribución altitudinal en el Nevado de Toluca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(74), 54–76. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i74.1257>
- CONAFOR. (2018). Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe de Resultados 2009-2014. In *Comisión Nacional Forestal*. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2018/CD002905.pdf>
- CONAFOR. (2020). *Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFYS), Datos del Inventario, Principales indicadores Forestales (2015 - 2020)*. <https://snmf.cnf.gob.mx/principalesindicadoresforestalesciclo-2015-2020/>
- CONAGUA. (2015, April 20). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Navidad-Potosí-Raíces (1916), Estado de Nuevo León*. Diario Oficial de La Federación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103175/DR_1916.pdf
- Cortés-Cabrera, H. E., Jurado, E., Pompa-García, M., Aguirre-Calderón, O. A., Pando-Moreno, M., & González-Tagle, M. A. (2018, August). Effect of fire and elevation on the regeneration of *Pinus hartwegii* Lindl. in northeastern Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 197–205. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.09.057>
- Crofts, A. L., & Brown, C. D. (2020). The importance of biotic filtering on boreal conifer recruitment at alpine treeline. *Ecography*, 43(6), 914–929. <https://doi.org/10.1111/ecog.04899>
- Dávila-Lara, M. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., Jurado-Ybarra, E., Treviño-Garza, E., González-Tagle, M. A., & Trincado-Villagrán, G. F. (2019). Estructura y diversidad de especies arbóreas en bosques templados de San Luis Potosí, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18), 399–409. <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2112>
- Egan, P. A., & Price, M. F. (2017). *Mountain Ecosystem Services and Climate Change: A Global Overview of Potential Threats and Strategies for Adaptation (UNESCO)* (P. A. Egan & M. F. Price, Eds.). United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000248768>
- Einot, I., & Gabriel, K. R. (1975). A Study of the Powers of Several Methods of Multiple Comparisons. *Journal of the American Statistical Association*, 70(351), 574. <https://doi.org/10.2307/2285935>
- Estrada, E., Villarreal Quintanilla, J. Á., Salinas Rodríguez, M. M., Cantú Ayala, C. M., González Rodríguez, H., & Jiménez Pérez, J. (2014). *Coníferas de Nuevo León, México*

- (A. E. Estrada Castellón, J. Á. Villarreal Quintanilla, M. M. Salinas Rodríguez, C. M. Cantú Ayala, H. González Rodríguez, & J. Jiménez Pérez, Eds.; 1st ed.). Universidad Autónoma de Nuevo León. https://www.researchgate.net/publication/275276634_Coníferas_de_Nuevo_Leon_Mexico
- Estrada, J. R. (2011). *Cambios en composición, estructura y diversidad vegetal en diferentes gradientes de exposición y altitud en el Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León, México* [Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L.]. <https://eprints.uanl.mx/2390/1/1080224668.pdf>
- Flores-Rodríguez, A. G., Flores-Garnica, J. G., González-Eguiarte, D. R., Gallegos-Rodríguez, A., Zarazúa Villaseñor, P., Mena-Munguía, S., Lomelí-Zavala, M. E., & Cadena-Zamudio, D. A. (2022). Variables ambientales que determinan la regeneración natural de pinos en ecosistemas alterados por incendios. *Ecología Aplicada*, 21(1), 25–33. <https://doi.org/10.21704/rea.v21i1.1872>
- Galicia, L., Chávez-Vergara, B. M., Kolb, M., Jasso-Flores, R. I., Rodríguez-Bustos, L. A., Solís, L. E., Guerra de la Cruz, V., Pérez Campuzano, E., & Villanueva, A. (2018). Perspectivas del enfoque socioecológico en la conservación, el aprovechamiento y pago de servicios ambientales de los bosques templados de México. *Madera y Bosques*, 24(2), 01–18. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421443>
- Gárate-Escamilla, H. A., Tovar Cárdenas, A., Jurado Ybarra, E., Cotera Correa, M., Alanís Rodríguez, E., & Gutiérrez Gutiérrez, M. (2023). Diversidad y análisis germinativo de especies arbóreas y arbustivas de interés ecológico en un área incendiada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(79), 317–331. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i79.1352>
- García, A. (2007). Los Agaves de México. *Ciencias*, 87, 14–23. <https://www.redalyc.org/pdf/644/64408704.pdf>
- García, M. A., Treviño Garza, E. J., Cantú Ayala, C. M., & González Saldívar, F. N. (1999). Zonificación ecológica del cerro “El Potosí”, Galeana, Nuevo León, México. *Investigaciones Geográficas*, 38, 31–40. <https://doi.org/10.14350/rig.59076>
- García-Arévalo, A., & González-Elizondo, S. (1991). Flora y vegetación de la cima del cerro Potosí, Nuevo León, México. *Acta Botánica Mexicana*, 13, 53–74. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57401305>
- García-García, S. A., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, Ó. A., Treviño-Garza, E. J., Cuéllar-Rodríguez, L. G., & Chávez-Costa, A. C. (2023). Composición, estructura y estado de la regeneración arbórea en un gradiente altitudinal en un bosque templado de Guadalupe y Calvo, Chihuahua. *Polibotánica*, 0(56), 81–100. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.56.5>
- Germandt, D. S., & Pérez-de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 126–133. <https://doi.org/10.7550/rmb.32195>
- Godínez, S. M., Rodríguez, F. A., López, N. P., & Camposeco, J. (2016). Evaluación de la regeneración natural de tres especies coníferas en áreas de distribución natural en el altiplano occidental de Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 3(1), 5–16. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v3i1.119>
- González, R., Treviño-Garza, E. J., Duque-Montoya, A., González Tagle, M. A., Gómez-Cárdenas, M., & Bautista-Cruz, A. (2018). Diversidad y estructura arbórea en un bosque de *Abies vejarii* Martínez en el sur del estado de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.142>
- González-Hernández, L., Romo-Lozano, J. L., Cristóbal-Acevedo, D., Martínez Damian, M. Á., & Mohedano Caballero, L. (2023). Valoración económica de los servicios ecosistémicos de cuatro sistemas forestales periurbanos a través de i-Tree Eco. *Madera y Bosques*, 29(3), e2932588. <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2932588>
- Graciano-Ávila, G., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O., González-Tagle, M. A., Treviño-Garza, E., Mora-Olivo, A., & Corral-Rivas, J. (2020). Cambios en la composición y estructura de especies arbóreas en un bosque templado de Durango, México. *Acta Botánica Mexicana*, 127, 1–16. <https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1522>
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F., & Hernández-García, M. A. (2007). Ecología y silvicultura en bosques templados. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 13(1), 67–83. <https://www.redalyc.org/pdf/629/62913110.pdf>

- Haq, S. M., Calixto, E. S., Rashid, I., & Khuroo, A. A. (2021). Human-driven disturbances change the vegetation characteristics of temperate forest stands: A case study from Pir Panchal mountain range in Kashmir Himalaya. *Trees, Forests and People*, 6, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100134>
- Hernández-Salas, J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., Luján-Álvarez, C., Olivas-García, J. M., & Domínguez-Pereda, L. A. (2013). Efecto del Manejo Forestal en la Diversidad y Composición Arbórea de un Bosque Templado del Noroeste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 19(2), 189–199. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.052>
- Holguín-Estrada, V. A., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O., Yerena-Yamallel, J. I., & Pequeño-Ledezma, M. Á. (2021). Estructura y composición florística de un bosque de galería en un gradiente altitudinal en el noroeste de México. *Madera y Bosques*, 27(2), 1–16. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722123>
- IMTA. (2013). *ERIC III Ver. 4. Extractor Rápido de Información Climatológica*. Instituto Mexicano de Tecnología Del Agua. http://hidrosuperf.imta.mx/sig_eric/
- INEGI. (1986). *Síntesis geográfica del estado de Nuevo León* (1st ed.). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvineg/i/productos/historicos/2104/702825220747/702825220747_1.pdf
- INEGI. (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Nuevo León 2017*. https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/NL_ANUARIO_PDF.pdf
- Li, T., Xiong, Q., Luo, P., Zhang, Y., Gu, X., & Lin, B. (2020). Direct and indirect effects of environmental factors, spatial constraints, and functional traits on shaping the plant diversity of montane forests. *Ecology and Evolution*, 10(1), 557–568. <https://doi.org/10.1002/ece3.5931>
- López-Hernández, J. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Monárrez-González, J. C., González-Tagle, M. A., & Jiménez-Pérez, J. (2017). Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y Bosques*, 23(1), 39–51. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311518>
- López-Marcos, D. (2021). Servicios ecosistémicos de masas mixtas de pino resinero y pino albar: conservación de la biodiversidad y secuestro de carbono. *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 47(1), 27–38. <https://doi.org/10.31167/csecfv5i47.19924>
- Manzanilla, U. (2017). *Pinus culminicola*: un pino mexicano raro, en peligro de extinción y único en el mundo. *Herbario CICY, Centro de Investigación Científica de Yucatán*, 9, 9–12. <https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1003/2433>
- Margalef, R. (1972). Homage to Evelyn Hutchinson, or why there is an upper limit to diversity. *Connecticut Academy of Arts and Sciences*, 44, 211–235. <https://digital.csic.es/handle/10261/166281>
- Martínez, J. E., Carrillo Anzures, F., Acosta Mireles, M., Romero Sánchez, M. E., & Perez-Miranda, R. (2020). Ecuaciones alométricas para estimar carbono en brinzales de *Pinus hartwegii* Lindl. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(60), 144–160. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i60.726>
- Martínez-Garza, C., Juan-Baeza, I., León-Carvajal, K., & Hernández-Hernández, M. (2022). La regeneración del bosque después de un incendio. *Inventio*, 18(44), 1–11. <https://doi.org/10.30973/inventio/2022.18.44/9>
- Medrano, M. de J., Hernández, F. J., Corral Rivas, S., & Nájera Luna, J. A. (2017). Diversidad arbórea a diferentes niveles de altitud en la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(40), 57–68. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v8n40/2007-1132-remcf-8-40-00057.pdf>
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. El País. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACL893.pdf
- Otavo, S., & Echeverría, C. (2017). Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hotspot mundiales de biodiversidad. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(4), 924–935. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.041>
- Pretzsch, H. (2009). *Forest Dynamics, Growth and Yield* (Vol. 1). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88307-4>

- Ramos, J. C. (2015). *Análisis del crecimiento, composición y estructura de un bosque de coníferas: relación del fuego y variabilidad climática en el Cerro el Potosí* [Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L.]. <https://eprints.uanl.mx/13931/1/1080237743.pdf>
- Ramos, J. C., Treviño Garza, E. J., Buendía Rodríguez, E., Aguirre Calderón, O. A., & López Martínez, J. I. (2017). Productividad y estructura vertical de un bosque templado con incidencia de incendios forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(43), 64–88. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322017000500064&lng=es&tlng=es
- Ribeiro, S., Cerveira, A., Soares, P., & Fonseca, T. (2022). Natural Regeneration of Maritime Pine: A Review of the Influencing Factors and Proposals for Management. *Forests*, 13(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/f13030386>
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2002). Ecología del fuego en el ecosistema de *Pinus hartwegii* Lindl. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 7(2), 145–151. https://www.researchgate.net/profile/Dante-Rodriguez-Trejo/publication/321434002_Ecologia_del_fuego_en_el_bosque_de_Pinus_hartwegii/links/5eb20c5845851592d6bd4895/Ecologia-del-fuego-en-el-bosque-de-Pinus-hartwegii.pdf
- Rodríguez-Trejo, D. A., & Quiahua, B. (2021). *Pinus* L. (Pinaceae). In *Semillas de Especies Forestales* (1st ed., pp. 223–245). División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. <https://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/SemillasdeEspeciesForestales.pdf>
- Romahn-Hernández, L. F., Rodríguez-Trejo, D. A., Villanueva-Morales, A., Monterroso-Rivas, A. I., & Pérez-Hernández, M. de J. (2020). Rango altitudinal: factor de vigor forestal y determinante en la regeneración natural del oyamel. *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, 8(22), 1–17. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2020.22.72751>
- Rubio, E. A., González Tagle, M. A., Jiménez Pérez, J., Alanís Rodríguez, E., & Ávila Flores, D. Y. (2014). Diversidad y distribución vertical de especies vegetales mediante el índice de Pretzsch. *Ciencia UANL*, 17(65), 34–41. <https://eprints.uanl.mx/7024/1/Diversidad-y-distribucion-vertical-de-especies.pdf>
- Rubio-Camacho, E. A., González-Tagle, M. A., Alanís-Rodríguez, E., Chávez-Durán, Á. A., & Aguirre-Calderón, O. A. (2015). Analysis of the structure and diameter distribution in temperate forests under the perspective of the potential fire regime. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 21(3), 281–294. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.10.053>
- Rundel, P. W. (2019). A Neogene Heritage: Conifer Distributions and Endemism in Mediterranean-Climate Ecosystems. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00364>
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (1st ed.). Limusa, S.A. <https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxPort.pdf>
- Sabás-Rosales, J. L., Sosa-Ramírez, J., & Luna-Ruiz, J. D. J. (2015). Diversidad, distribución y caracterización básica del hábitat de los encinos (*Quercus*: Fagaceae) del Estado de San Luis Potosí, México. *Botanical Sciences*, 93(4), 881–897. <https://doi.org/10.17129/botsci.205>
- Salas-Morales, S. H., & Williams-Linera, G. (2019). Patterns of vegetation along contrasting elevation gradients in Oaxaca and Veracruz, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(0), 1–21. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.3059>
- Salmerón, A., Geada López, G., & Fagilde Espinoza, M. del C. (2017). Propuesta de un índice de diversidad funcional: Aplicación a un bosque semideciduo micrófilo de Cuba Oriental. *Bosque (Valdivia)*, 38(3), 457–466. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000300003>
- Salzer, M. W., Larson, E. R., Bunn, A. G., & Hughes, M. K. (2014). Changing climate response in near-treeline bristlecone pine with elevation and aspect. *Environmental Research Letters*, 9(11), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/11/114007>
- Sánchez, R., López García, J., & Espinoza, J. M. (1987). Cambios en la comunidad de *Pinus culminicola* Andresen & Beaman en el Cerro Potosí, NL México. *Investigaciones Geográficas*, 1(17), 65–73. <https://doi.org/10.14350/ig.59407>

Recibido:
27/noviembre/2023

Aceptado:
20/junio/2024

- Sánchez, R., López García, J., & Espinoza Rdz., J. M. (1990). *Pinus culminicola* Andresen y Beaman y sus asociaciones en la ladera sur del cerro La Viga, Coahuila. *Investigaciones Geográficas*, 1(21), 21–43. <https://doi.org/10.14350/ig.58989>
- Siles, P., Talavera, P., Andino Rugama, F., Alaníz, L., & Ortiz González, W. (2017). Composición florística, estructura y biomasa de los bosques de pino-encino en la reserva Santa Rosa, Tisey, Estelí, Nicaragua. *Revista de Biología Tropical*, 65(2), 763–775. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i2.22928>
- Somarriba, E. (1999). Diversidad Shannon. *Agroforestería En Las Américas*, 6(23), 72–74. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6079?locale-attribute=fr>
- Speziale, K. L. (2012). *Composición y diversidad de la flora de afloramientos rocosos del norte de la Patagonia y su relación con factores ambientales a distintas escalas* [Tesis de Doctorado, Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue]. <http://rdi.uncoma.edu.ar/bitstream/handle/uncoma/177/Speziale-Tesis%20doctoral.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sykes, Martin T., & Prentice, I. C. (1996). Climate change, tree species distributions and forest dynamics: A case study in the mixed conifer/northern hardwoods zone of northern Europe. *Climatic Change*, 34(2), 161–177. <https://doi.org/10.1007/BF00224628>
- Velasco, M. U., Velázquez Martínez, A., Hernández de la Rosa, P., Fierros González, A. M., & Vera Castillo, J. A. G. (2023). Caracterización de un bosque templado en un gradiente altitudinal en Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 29(1), 1–14. <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2912465>
- Villanueva, J., Vázquez Selem, L., Estrada Ávalos, J., Martínez Sifuentes, A. R., Cerano Paredes, J., Canizales Velázquez, P. A., Franco Ramos, O., & Reyes Camarillo, F. del R. (2018). Comportamiento hidroclimático de coníferas en el Cerro Potosí, Nuevo León, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(49), 165–186. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.128>
- Zhang, H., Cai, Q., & Liu, Y. (2022). Altitudinal difference of growth-climate response models in the north subtropical forests of China. *Dendrochronologia*, 72, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.125935>

COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD DEL ARBOLADO URBANO DE LA COLONIA CONTRY EN MONTERREY, MÉXICO

COMPOSITION, STRUCTURE, AND DIVERSITY OF THE URBAN TREE OF COLONIA CONTRY IN MONTERREY, MEXICO

Hernández-Cavazos, María Cecilia; Eduardo Alanís-Rodríguez; Víctor Manuel Molina-Guerra; Javier Jiménez-Pérez; Oscar Alberto Aguirre-Calderón y Luis Gerardo Cuellar- Rodríguez

COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD DEL ARBOLADO URBANO DE LA COLONIA CONTRY EN MONTERREY, MÉXICO

COMPOSITION, STRUCTURE, AND DIVERSITY OF THE URBAN TREE OF COLONIA CONTRY IN MONTERREY, MEXICO



Composición, estructura y diversidad del arbolado de la Colonia Contry en Monterrey, México

Composition, structure, and diversity of trees at the Colonia Contry in Monterrey, Mexico

María Cecilia Hernández-Cavazos; Eduardo Alanís-Rodríguez; Víctor Manuel Molina-Guerra; Javier Jiménez-Pérez; Oscar Alberto Aguirre-Calderón y Luis Gerardo Cuellar-Rodríguez

COMPOSICIÓN,
ESTRUCTURA Y
DIVERSIDAD DEL
ARBOLADO URBANO DE
LA COLONIA CONTRY EN
MONTERREY, MÉXICO

COMPOSITION,
STRUCTURE, AND
DIVERSITY OF THE URBAN
TREE OF COLONIA
CONTRY IN MONTERREY,
MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 85-101. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.6

María Cecilia Hernández-Cavazos <https://orcid.org/0009-0004-9516-5381>

Eduardo Alanís-Rodríguez

Autor de correspondencia: eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6294-4275>

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales,
Linares, Nuevo León, México

Víctor Manuel Molina-Guerra <https://orcid.org/0000-0003-4405-699X>

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales,
Linares, Nuevo León, México

RENAC Asesorías Ambientales, S.A. de C.V., Linares, Nuevo León, México

Javier Jiménez-Pérez <https://orcid.org/0000-0003-4246-7613>

Oscar Alberto Aguirre-Calderón <https://orcid.org/0000-0001-5668-8869>

Luis Gerardo Cuellar-Rodríguez <https://orcid.org/0000-0003-4969-611X>

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales,
Linares, Nuevo León, México

RESUMEN: Conocer el estado actual del arbolado urbano, es fundamental para sustentar planes de manejo y conservación que permitan incrementar a su máximo los servicios y beneficios que proveen a la sociedad y al medio urbano. El objetivo de este estudio fue conocer el estado actual de salud forestal del arbolado urbano de la Colonia Contry en Monterrey, Nuevo León, a través de los indicadores de composición, estructura y diversidad, con la finalidad de aportar información para su gestión y conservación. En agosto del 2023, se realizó un censo de los árboles existentes en el área de estudio, en el cual se obtuvo la altura total, diámetro de copa y diámetro normal de cada individuo. Se estimaron las variables absolutas y relativas de abundancia, dominancia y frecuencia; así como las variables absolutas y compuestas de área de la superficie de copa y volumen de copa. Considerando estos valores, se determinó el índice de importancia urbano (IVIU). También se evaluó la riqueza y diversidad mediante los índices de Margalef, Shannon-Wiener y diversidad verdadera de Shannon. Se registraron 21 familias, 30 géneros y 31 especies, de las cuales 16 son nativas y 15 introducidas. La familia más representativa fue Fabaceae con 7 especies. La especie con mayor IVIU fue *Fraxinus berlandieriana* con 53.33%, seguida de *Quercus virginiana* con 10.70 %, el resto de las especies presentaron valores menores al 10%. El índice de Margalef ($D_{Mg} = 4.28$) muestra una riqueza intermedia; mientras que los índices de Shannon-Wiener ($H' = 1.55$) y diversidad verdadera de Shannon (${}^1D = 4.71$) indican una diversidad baja en el área de estudio. La especie *F. berlandieriana* al ser la de mayor IVIU, se considera como la de mayor potencial actual para proveer servicios ecosistémicos como el secuestro de carbono, importante en la mitigación del cambio climático.

Palabras clave: Caracterización, áreas verdes urbanas, diversidad de especies.

ABSTRACT: Knowing the current state of the urban trees is essential to support management and conservation plans that allow to maximize the services and benefits provided to society and the urban environment. The objective of this study was to know the current state of forest health of the urban trees of Colonia Contry in Monterrey, Nuevo León, through the indicators of composition, structure, and diversity, to provide information for its management and conservation. In August 2023, a census was carried out of the trees in the study area, in which the total height, crown diameter and normal diameter of everyone was obtained. Absolute and relative variables of abundance, dominance and frequency were estimated, as well

as absolute and composite variables of crown surface area and crown volume. Considering these values, the value index of urban importance (IVIU) was determined. Richness and diversity were also assessed using the Margalef, Shannon-Wiener and Shannon true diversity indices. There were 21 families, 30 genera and 31 species, of which 16 are native and 15 introduced. The most representative family was Fabaceae with 7 species. The species with the highest IVIU was *Fraxinus berlandieriana* with 53.33%, followed by *Quercus virginiana* with 10.70%, the rest of the species had values lower than 10%. The Margalef index (DMg = 4.28) shows an intermediate richness; while the Shannon-Wiener indices ($H = 1.55$) and true Shannon diversity ($1D = 4.71$) indicate low diversity in the study area. The species *F. berlandieriana* being the largest IVIU, is considered as the one with the greatest potential to provide ecosystem services such as carbon sequestration, important in climate change mitigation.

Key words: Characterization, urban green areas, species diversity.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los estudios sobre arbolado urbano han adquirido relevancia a nivel nacional como internacional (Borelli *et al.*, 2023). Las ciudades buscan la adaptación y mitigación del cambio climático mediante el manejo de áreas verdes urbanas (López-López *et al.*, 2018), ya que ofrecen servicios ecosistémicos que en conjunto ayudan a reducir los efectos de la variación global del clima en el planeta (Pimienta-Barrios *et al.*, 2014; Vásquez, 2016).

Entre los servicios ambientales que aportan las áreas verdes urbanas se encuentran la producción de oxígeno que es vital para los seres vivos (Livesley *et al.*, 2016), la regulación y modificación del microclima urbano (Flores-De la O. *et al.*, 2018; Lemoine-Rodríguez *et al.*, 2022), la captura y almacenamiento de carbono (López-López *et al.*, 2018), la remoción de contaminantes atmosféricos (Escobedo & Chacalo, 2008; Vázquez-Arceo *et al.*, 2023), así como la captación de agua de lluvia y el control de escorrentías (Véliz-Chávez *et al.*, 2012). Además, contribuyen a la formación de barreras contra el viento, la retención del suelo, y son refugio y alimento para la fauna silvestre (G. J. Alanís-Flores, 2005).

Cabe indicar, que los servicios y diservicios que aporta el arbolado urbano están directamente relacionados con las especies o grupos arbóreos, sus dimensiones, cobertura y condición de salud forestal (Saavedra-Romero *et al.*, 2019). De ahí la importancia de contar con estudios sobre caracterización de áreas verdes urbanas que permitan determinar la diversidad, estructura arbórea, composición de especies y estratos presentes, para conocer su situación actual (Leal-Elizondo *et al.*, 2023) y orientar las acciones de mantenimiento y mejoramiento. En México, los estudios sobre caracterización de arbolado urbano se han concentrado principalmente en la Zona metropolitana de la Ciudad de México, particularmente en el Bosque de San Juan de Aragón (Velasco Bautista *et al.*, 2013; Saavedra-Romero *et al.*, 2019), en el Bosque de Chapultepec (Benavides-Meza & Young-Fernández Grandizo, 2012), en arbolados de alineación de diferentes delegaciones de la CDMX (Benavides-Meza & Segura-Bailón, 1996; Chacalo-Hilú *et al.*, 1996), y diferentes áreas verdes de la Ciudad de Texcoco (Morales-Gallegos *et al.*, 2023); así como en Nuevo León, específicamente en las ciudades de Linares (Alanís *et al.*, 2014; Leal Elizondo *et al.*, 2018; Canizales-Velázquez *et al.*, 2021; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2023), Montemorelos (Canizales-Velázquez *et al.*, 2020), Hualahuises (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2022) y Área Metropolitana de Monterrey (Rocha-Estrada *et al.*, 1998; Alanís-Flores, 2005).

Si bien existen estudios sobre el arbolado urbano en la ciudad de Monterrey, estos estudios se han enfocado al análisis espacio-temporal (Jiménez-Pérez *et al.*, 2013; Yépez-Rincón & Lozano-García, 2014; Yépez-Rincón *et al.*, 2016; Manzanilla-Quñones *et al.*, 2021), uso y manejo de especies (Alanís-Flores *et al.*, 2004; Alanís-Flores, 2011) e incluso, reseñas históricas (Casillas-Zapata *et al.*, 2018); sin embargo, hace falta evaluar atributos estructurales y de diversidad que contribuyan en el manejo de las áreas verdes de la metrópoli. Para la investigación se consideró la Colonia Contry, la cual tiene seis décadas de su fundación y presenta arbolado representativo de las Colonias del sur del área metropolitana de Monterrey.

El presente estudio tiene como principal objetivo conocer el estado actual de salud forestal del arbolado urbano de la Colonia Contry en Monterrey, Nuevo León, a través de los indicadores de composición, estructura y diversidad, con la finalidad de aportar información para su gestión y conservación.

MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se realizó en la Colonia Contry localizada al sur de la ciudad de Monterrey, Nuevo León en el noreste de México, en las coordenadas geográficas 25°38'07'' de latitud norte y 100°16'42'' de longitud oeste. La Colonia Contry abarca un área de 140 hectáreas en donde habitan alrededor de 4,590 personas (Predik Data Driven, 2023). El clima predominante es el semicálido subhúmedo con lluvia escasa todo el año. La temperatura media anual es de 22.5°C, con una precipitación promedio de 613.6 mm. El tipo de suelo dominante es el Vertisol (INEGI, 2017).

El área verde urbana evaluada tiene superficie total de 66,000 m², conformada por seis parques y camellones identificados como: 1) Parque Estrellas con una superficie de 15,000 m²; 2) Parque Conchita con una superficie de 7,620 m², 3) Parque Neptuno con una superficie de 11,800 m², 4) Parque Constelaciones con una superficie de 4,000 m², 5) Parque Libra con una superficie de 3,100 m², 6) Parque Eridano con una superficie de 6,700 m² y 7) Camellones que cubren una superficie de 17,780 m² (Figura 1).

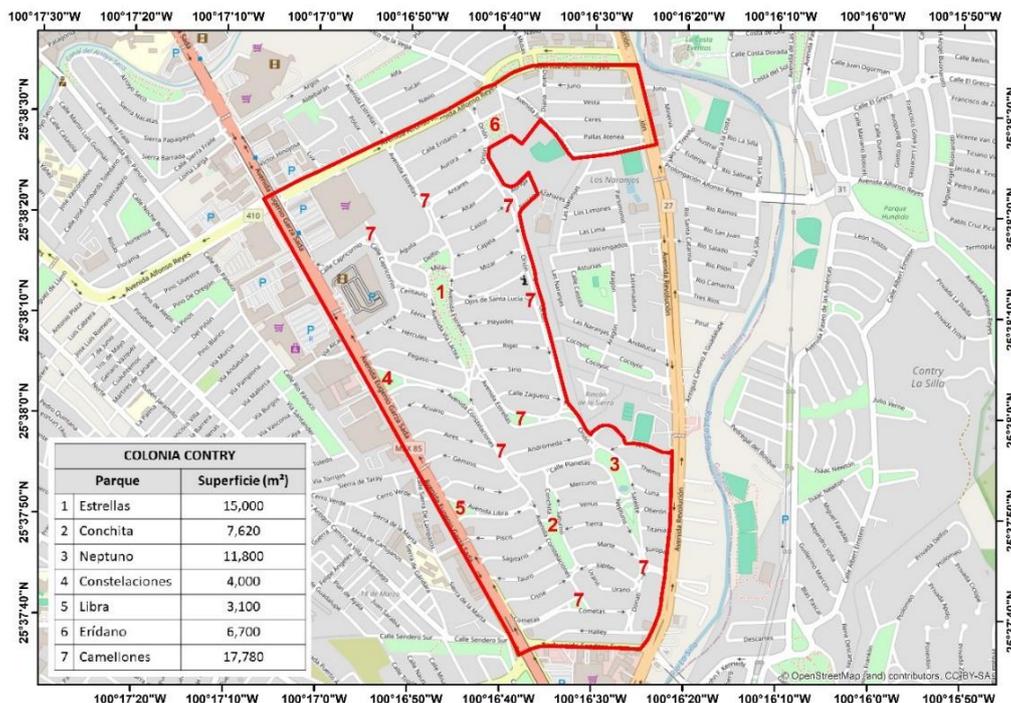


Figura 1. Plano de ubicación del arbolado urbano de la Colonia Contry en Monterrey, Nuevo León.

Figure 1. Location map of the urban trees of Colonia Contry in Monterrey, Nuevo León.

Inventario del arbolado

En el mes de agosto de 2023, se realizó un censo del arbolado de la Colonia Contry. De cada árbol se registró la clasificación taxonómica y se verificó su nomenclatura en la plataforma Tropicos (Tropicos, 2023). Se midió la altura total con un hipsómetro, los diámetros de copa en sentido de los puntos cardinales con una cinta topográfica Truper y el diámetro normal con una cinta diamétrica.

Análisis del arbolado

Los datos obtenidos en campo, se procesaron en hojas de cálculo del programa Microsoft Excel® 2016. Se estimaron para cada individuo las variables de diámetro promedio, área basal y área de copa. Para obtener el diámetro promedio se utilizó la siguiente ecuación (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2020):

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Donde \bar{d} es el diámetro promedio, d_1 es el diámetro de norte a sur y d_2 es el diámetro de este a oeste.

Para el cálculo del área basal que corresponde a la superficie ocupada por los troncos de un árbol a 1.30 m del nivel del suelo, así como para el cálculo del área de copa que se refiere a la superficie del follaje y ramas de la copa; se utilizó la ecuación (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2020):

$$A = \frac{\pi}{4} * d^2$$

Donde A es el área, π es un valor constante de 3.1416 y d es el diámetro.

Para determinar la importancia de las especies de manera horizontal se estimaron las variables absolutas y relativas de abundancia, dominancia y frecuencia, utilizando las siguientes ecuaciones (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2020):

$$A_{\square} = \frac{N_i}{S}$$

$$AR_{\square} = \left[A_i / \sum_{i=1}^n A_i \right] * 100$$

Donde A_{\square} es la abundancia absoluta, N_i es el número de individuos de la especie i, S es la superficie de muestreo (ha) y AR_{\square} es la abundancia relativa.

$$D_{\square} = \frac{G_i}{S}$$

$$DR_{\square} = \left[D_i / \sum_{i=1}^n D_i \right] * 100$$

Donde D_{\square} es la dominancia absoluta, G_i es el área basal de la especie i, S es la superficie de muestreo (ha) y DR_{\square} es la dominancia relativa.

$$F_{\square} = \frac{P_i}{NS}$$

$$FR_{\square} = \left[F_i / \sum_{i=1}^n F_i \right] * 100$$

Donde F_{\square} es la frecuencia absoluta, P_i es el número de sitios en los que está presente la especie i, NS es el número total de sitios de muestreo y FR_{\square} es la frecuencia relativa.

Para determinar la importancia de las especies de manera vertical y tridimensional, se estimaron las variables absolutas y compuestas de área de la superficie de copa y volumen de copa, utilizando la siguiente ecuación (Saavedra-Romero *et al.*, 2019):

$$ASC = \frac{*r}{6LC^2} [(4LC^2 + r^2)^{1.5} - r^3]$$

$$V_{\square\square\square\square} = \left(\frac{4}{3} * \pi * DC^3 * LC \right) * 1/8$$

Donde ASC es el área de la superficie de copa, $V_{\square\square\square\square}$ es el volumen de copa, r es el radio de copa (m), π es un valor constante de 3.1416, LC es la longitud de copa y DC es el diámetro de copa.

Para determinar la longitud de copa (LC) se consideró la línea recta que va desde la primera rama más próxima al suelo, hasta el extremo de la yema terminal del ápice (expresada en metros).

Para conocer el diámetro de copa (DC) se consideró la distancia que mide la proyección de la copa. Como la copa no es un círculo perfecto, la medición se realizó en dos direcciones: diámetro mayor y diámetro perpendicular a éste que es el menor.

Considerando los valores de importancia de las especies de manera horizontal, así como de manera vertical y tridimensional, se determinó el Índice de Valor de Importancia Urbano con la siguiente ecuación (Saavedra-Romero *et al.*, 2019):

$$IVIU = \frac{\sum_{i=1}^n (AR_i, DR_i, FR_i, ASC, V_{copa})}{5}$$

Donde IVIU es el Índice de Valor de Importancia Urbano, AR_{\square} es la abundancia relativa, DR_{\square} es la dominancia relativa, FR_{\square} es la frecuencia relativa, ASC es el área de la superficie de copa y $V_{\square\square\square}$ es el volumen de copa.

Para conocer la riqueza de especies se utilizó el índice de Margalef que se basa en la cuantificación del número de especies presentes:

$$D_{\square\square} = \frac{S - 1}{\ln(N)}$$

Donde $D_{\square\square}$ es el índice de Margalef, S es el número de especies presentes, \ln es el logaritmo natural y N es el número total de individuos.

La diversidad de especies se estimó a través del índice de Shannon (Magurran, 2004) considerando que es uno de los índices más utilizados y que se basa en la estructura de la comunidad:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i * \ln(p_i)$$

$$p_i = n_i / N$$

Donde H' es el índice de diversidad de Shannon, S es el número de especies presentes, \ln es el logaritmo natural, p_i es la proporción de especies, n_i es el número de individuos y N es el número total de individuos.

También se utilizó el índice de diversidad verdadera de Shannon (Jost, 2006) el cual es una conversión del índice de Shannon a un número efectivo de especies para una explicación unificada e intuitiva de la diversidad:

$${}^1D = \exp(H')$$

Donde 1D es el índice de diversidad verdadera de Shannon, \exp es el exponencial y H' es el índice de diversidad de Shannon.

Para determinar los metros cuadrados (m^2) de área verde por habitante, se utilizó la siguiente ecuación (Mejía-Salazar & Gómez, 2015):

$$m^2 \text{ por habitante} = \frac{m^2 \text{ de zonas verdes y áreas de esparcimiento}}{\text{Número de habitantes en el área de estudio}}$$

RESULTADOS

Composición

Se registraron 31 especies, distribuidas en 30 géneros y 21 familias. Según su origen 16 (51.61 %) son nativas y 15 (48.39 %) son introducidas. La familia más representativa fue Fabaceae con 7 especies (Tabla 1).

Tabla 1. Familia, nombre científico, nombre común y origen de las especies que conforman el arbolado urbano en la Colonia Contry al sur de la ciudad de Monterrey, Nuevo León.

Table 1. Family, scientific name, common name and origin of the species that make up the urban trees in Colonia Contry south of the city of Monterrey, Nuevo León.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Origen	Número de individuos	% del total
Agavaceae	<i>Yucca rostrata</i> Engelm. ex Trel.	Amole del Noreste	Nativa	8	0.72
Apocynaceae	<i>Cascabela thevetia</i> (L.) Lippold	Adelfa amarilla	Nativa	2	0.18
Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Jacaranda	Introducida	1	0.09
Bignoniaceae	<i>Chilopsis linearis</i> (Cav.) Sweet	Mimbres	Nativa	2	0.18
Boraginaceae	<i>Cordia boissieri</i> A. DC.	Anacahuita	Nativa	4	0.36
Boraginaceae	<i>Ehretia anacua</i> (Terán & Berl.) I.M. Johnston	Anacua	Nativa	21	1.89
Cannabaceae	<i>Celtis laevigata</i> Willd.	Palo blanco	Nativa	9	0.81
Combretaceae	<i>Terminalia ivorensis</i> A. Chev.	Roble marfil	Introducida	1	0.09
Cupressaceae	<i>Thuja occidentalis</i> L.	Tuya	Introducida	1	0.09
Cycadaceae	<i>Cycas revoluta</i> Thunb.	Palma cica	Introducida	2	0.18
Euphorbiaceae	<i>Triadica sebifera</i> (L.) Small	Árbol de la cera	Introducida	7	0.63
Fabaceae	<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook) Raf.	Framboyán	Introducida	4	0.36
Fabaceae	<i>Albizia lebbbeck</i> (L.) Benth.	Acacia amarilla	Introducida	3	0.27
Fabaceae	<i>Ebenopsis ebano</i> (Berland.) Barneby & J.W. Grimes	Ébano	Nativa	26	2.34
Fabaceae	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Retama	Nativa	1	0.09
Fabaceae	<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	Guamuchil	Nativa	1	0.09
Fabaceae	<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Mezquite	Nativa	21	1.89
Fabaceae	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Huizache	Nativa	27	2.43
Fagaceae	<i>Quercus polymorpha</i> Schl. Et Cham.	Encino roble	Nativa	18	1.62
Fagaceae	<i>Quercus virginiana</i> Mill.	Encino siempreverde	Introducida	242	21.76
Juglandaceae	<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh.) K. Koch	Nogal de nuez lisa	Nativa	7	0.63
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guácima	Introducida	1	0.09
Moraceae	<i>Morus nigra</i> L.	Mora	Introducida	1	0.09
Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill	Eucalipto	Introducida	4	0.36
Oleaceae	<i>Ligustrum lucidum</i> W. T. Aiton	Trueno	Introducida	1	0.09

Oleaceae	<i>Fraxinus berlandieriana</i> A.DC.	Fresno	Nativa	629	56.56
Palmaceae	<i>Washingtonia robusta</i> H. Wendl.	Palma de california	Introducida	57	5.13
Pinaceae	<i>Pinus brutia</i> var. <i>eldarica</i> (Medw.) Silba	Pino de Chipre	Introducida	1	0.09
Rutaceae	<i>Citrus aurantium</i> L.	Naranja agrio	Introducida	5	0.45
Sapotaceae	<i>Sideroxylon celastrinum</i> (Kunth) T.D. Penn.	Coma	Nativa	1	0.09
Ulmaceae	<i>Ulmus crassifolia</i> Nutt.	Olmo	Nativa	4	100

Se censaron 1,112 individuos, de los cuales 1,090 estaban vivos y 22 muertos. Se registró una densidad de 168 N ha⁻¹. La superficie de área verde por habitante de la Colonia Contry se estimó en 14.37 m². Las especies con mayor abundancia fueron *F. berlandieriana* con 629 individuos y *Q. virginiana* con 242 individuos, sumando 871 individuos que representan el 78.33 % de la comunidad arbórea. La abundancia de dos especies se atribuye a los programas de reposición e introducción de nuevo arbolado, que lleva a cabo la administración de la Colonia. De área basal se tiene 72.99 m², de los cuales *F. berlandieriana* presentó 50.55 m² que representa el 69.27% del área basal de toda la comunidad arbórea. Del área de copa se tiene 44,445.35 m², de los cuales *F. berlandieriana*, *Q. virginiana* y *P. glandulosa*, presentaron en conjunto 30,409.83 m², que representan el 81.65% del total de área de copa de todo el arbolado. Con respecto a la frecuencia, la especie que tuvo presencia en todos los sitios de muestreo fue *F. berlandieriana*. Al evaluar el área de superficie de copa, destacaron *F. berlandieriana*, *Q. virginiana* y *W. robusta*, presentando en conjunto 65,177.73 m² que representan el 79.91 % del total de área de superficie de copa. En cuanto al volumen de copa, destacaron *F. berlandieriana* y *Q. virginiana* con volúmenes de 5,534.52 m³ y 523.79 m³ respectivamente, seguidos de *V. farnesiana*, *P. glandulosa* y *W. robusta* que presentaron volúmenes muy similares de 400.57 m³, 393.66 m³ y 385.41 m³ respectivamente. Todas estas especies presentaron en conjunto 7,237.94 m³, que representan el 88.05 % del volumen de copa total. Las especies con mayor índice de valor de importancia urbano (IVIU) fueron *F. berlandieriana* con 53.33% y *Q. virginiana* con 10.70%, el resto de las especies presentaron valores menores al 10% (Tabla 2).

Tabla 2. Abundancia, área de copa, frecuencia, área de la superficie de la copa, volumen de copa e índice de valor de importancia urbano (IVIU) de las especies que conforman el arbolado urbano en la Colonia Contry al sur de la ciudad de Monterrey, Nuevo León. Las especies se presentan de manera decreciente de acuerdo con su IVIU.

Table 2. Abundance, crown area, frequency, crown surface area, crown volume and urban importance value index (IVIU) of the species that make up the urban trees in Colonia Contry south of the city of Monterrey, Nuevo León. The species are presented in descending order according to their IVIU.

Nombre científico	Abundancia		Área basal		Área de copa		Frecuencia Sitios	Volumen		Área de la superficie de la copa		IVIU	
	Absoluta	Relativa %	Absoluta (m ²)	Relativa (%)	Absoluta (m ²)	Relativa (%)		Absoluta (m ³)	Relativa (%)	Absoluta (m ²)	Relativa (%)		
<i>Fraxinus berlandieriana</i> A.DC.	629	56.56	50.55	69.27	30409.83	68.42	7	9.59	5534.52	67.33	42193.05	64.74	53.33
<i>Quercus virginiana</i> Mill.	242	21.76	3.37	4.62	3650.4	8.21	6	8.22	523.79	6.37	5838.39	8.96	10.70
<i>Washingtonia robusta</i> H. Wendl.	57	5.13	3.93	5.39	636.36	1.43	4	5.48	385.41	4.69	4054.22	6.22	4.59
<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	21	1.89	2.37	3.24	2229.64	5.02	4	5.48	393.66	4.79	2708.13	4.15	4.27
<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	27	2.43	2.28	3.12	2081.52	4.68	2	2.74	400.57	4.87	2704.39	4.15	3.77
<i>Ebenopsis ebano</i> (Berland.) Barneby & J.W. Grimes	26	2.34	1.54	2.11	1396.47	3.14	5	6.85	242.77	2.95	1814.66	2.78	3.61
<i>Quercus polymorpha</i> Schl. Et Cham.	18	1.62	0.73	1.01	635.64	1.43	5	6.85	105.29	1.28	912.74	1.4	2.52
<i>Ehretia anacua</i> (Terán & Berl.) I.M. Johnston	21	1.89	1.29	1.76	695.07	1.56	3	4.11	123.93	1.51	1074.79	1.65	2.14
<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh.) K. Koch	7	0.63	0.52	0.71	400.35	0.9	3	4.11	92.68	1.13	602.59	0.92	1.54
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill	4	0.36	1.88	2.58	588.73	1.32	2	2.74	112.58	1.37	709.78	1.09	1.38
<i>Celtis laevigata</i> Willd.	9	0.81	0.42	0.57	422.16	0.95	2	2.74	76.01	0.92	591.02	0.91	1.27
<i>Triadica sebifera</i> (L.) Small	7	0.63	0.23	0.31	193.04	0.43	3	4.11	27.34	0.33	275.53	0.42	1.19
<i>Citrus aurantium</i> L.	5	0.45	0.06	0.08	56.61	0.13	3	4.11	9.41	0.11	105.83	0.16	0.99
<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook) Raf.	4	0.36	0.15	0.21	68.45	0.15	3	4.11	11.43	0.14	122.4	0.19	0.99
<i>Yucca rostrata</i> Engelm. ex Trel.	8	0.72	0.36	0.49	41.49	0.09	2	2.74	7.63	0.09	121.54	0.19	0.77
<i>Cordia boissieri</i> A. DC.	4	0.36	0.04	0.06	35.46	0.08	2	2.74	4.29	0.05	63.85	0.1	0.67
<i>Ulmus crassifolia</i> Nutt.	4	0.36	0.4	0.55	8.15	0.02	2	2.74	0.86	0.01	23.56	0.04	0.63
<i>Cascabela thevetia</i> (L.) Lippold	2	0.18	0.02	0.02	33.95	0.08	2	2.74	3.33	0.04	46.91	0.07	0.62
<i>Albizia lebbek</i> (L.) Benth.	3	0.27	0.32	0.44	222.33	0.5	1	1.37	30.05	0.37	262.15	0.4	0.58
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	1	0.09	0.27	0.37	124.88	0.28	1	1.37	32.78	0.4	169.93	0.26	0.48
<i>Chilopsis linearis</i> (Cav.) Sweet	2	0.18	0.3	0.41	66.64	0.15	1	1.37	16.63	0.2	125.22	0.19	0.42
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	1	0.09	0.07	0.1	78.07	0.18	1	1.37	20.93	0.25	121.01	0.19	0.42
<i>Pinus brutia</i> var. <i>eldarica</i> (Medw.) Silba	1	0.09	0.1	0.14	67.93	0.15	1	1.37	14.86	0.18	97.98	0.15	0.39
<i>Cycas revoluta</i> Thunb.	2	0.18	1.18	1.61	56.79	0.13	1	1.37	8.76	0.11	83.33	0.13	0.38
<i>Morus nigra</i> L.	1	0.09	0.2	0.27	51.91	0.12	1	1.37	12.33	0.15	84.47	0.13	0.37
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	1	0.09	0.05	0.07	62.84	0.14	1	1.37	11.31	0.14	84.24	0.13	0.37
<i>Terminalia ivorensis</i> A. Chev.	1	0.09	0.28	0.38	48.83	0.11	1	1.37	6.23	0.08	60.19	0.09	0.35
<i>Ligustrum lucidum</i> W. T. Aiton	1	0.09	0.05	0.07	26.42	0.06	1	1.37	3.43	0.04	37.21	0.06	0.32
<i>Sideroxylon celastrinum</i> (Kunth) T.D. Penn.	1	0.09	0.03	0.03	26.65	0.06	1	1.37	3.21	0.04	36.17	0.06	0.32
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	1	0.09	0.01	0.01	12.82	0.03	1	1.37	1.77	0.02	23.07	0.04	0.31
<i>Thuja occidentalis</i> L.	1	0.09	0.01	0.01	15.9	0.04	1	1.37	2.54	0.03	29.4	0.05	0.31
Total	1112	100	72.99	100	44445.33	100	73	100	8220.35	99.99	65177.73	100	100

Estructura

Al comparar las clases diamétricas de los individuos del arbolado, se encontró que la clase de 10.1 a 20 cm es la que presenta el mayor número de individuos con 307 (27.61%), seguida de la clase de 20.1 a 30 cm con 299 (26.89%). Para los diámetros menores a 10 cm, se registraron 204 (18.35%), mientras que para los diámetros mayores a 40.1 cm, se registraron 114 (10.25%) individuos (Figura 2). El arbolado está compuesto principalmente de individuos jóvenes, considerando que el diámetro es indicativo del estado de desarrollo de los árboles (Tabla 3).

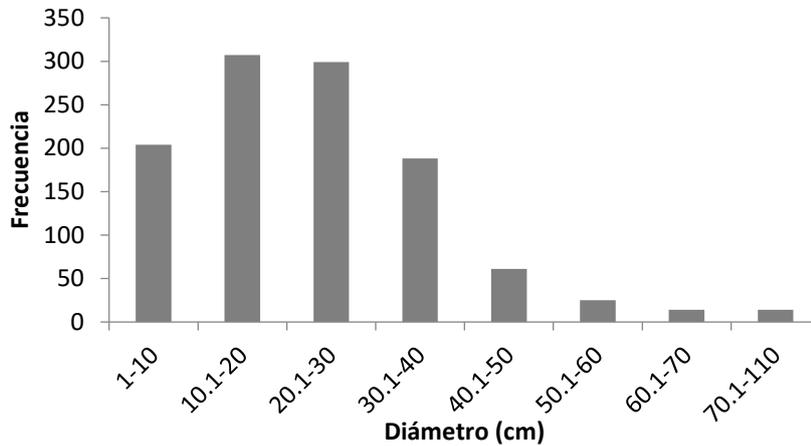


Figura 2. Clases diamétricas del arbolado urbano en la Colonia Contry al sur de la ciudad de Monterrey, Nuevo León.
Figure 2. Diametric classes of urban trees in Colonia Contry south of the city of Monterrey, Nuevo León.

Con respecto a las clases de altura, se encontró que la clase de 7.1 a 8 m es la que presenta el mayor número de individuos con 235 (21.56%), seguida de las clases 8.1 a 9 y 5.1 a 6, con 168 (15.41%) y 167 (15.32%) individuos, respectivamente. Para las alturas mayores a 9.1 m, se registraron 85 (7.80%) individuos (Figura 3).

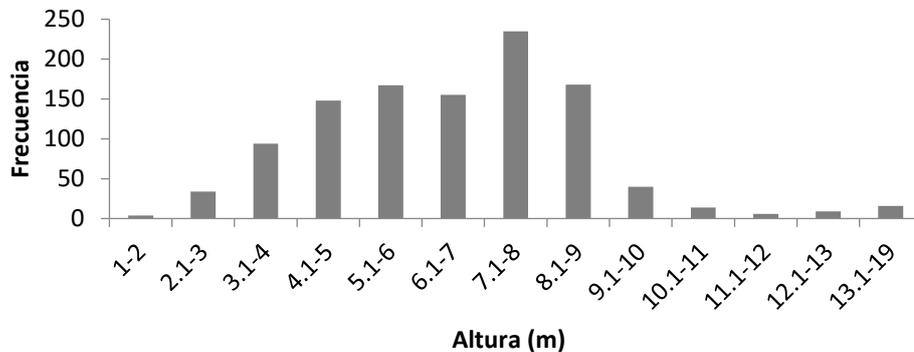


Figura 3. Clases de altura del arbolado urbano en la Colonia Contry al sur de la ciudad de Monterrey, Nuevo León.
Figure 3. Height classes of urban trees in Colonia Contry south of the city of Monterrey, Nuevo León.

Tabla 3. Variables estructurales de las especies que conforman el arbolado urbano en la Colonia Contry al sur de la ciudad de Monterrey, Nuevo León.**Table 3.** Structural variables of the species that make up the urban trees in Colonia Contry south of the city of Monterrey, Nuevo León.

Nombre científico	Variables estructurales (promedio)		
	Diámetro normal (cm)	Altura total (m)	Diámetro de copa (m)
<i>Albizia lebbbeck</i> (L.) Benth.	36.61	8.27	9.70
<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh.) K. Koch	27.76	7.86	8.08
<i>Cascabela thevetia</i> (L.) Lippold	8.90	4.96	4.39
<i>Celtis laevigata</i> Willd.	20.83	6.81	7.29
<i>Chilopsis linearis</i> (Cav.) Sweet	40.60	7.89	6.26
<i>Citrus aurantium</i> L.	12.80	4.72	4.01
<i>Cordia boissieri</i> A. DC.	10.02	3.26	3.32
<i>Cycas revoluta</i> Thunb.	85.25	5.48	5.94
<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook) Raf.	21.85	5.93	4.47
<i>Ebenopsis ebano</i> (Berland.) Barneby & J.W. Grimes	20.61	6.85	7.91
<i>Ehretia anacua</i> (Terán & Berl.) I.M. Johnston	26.40	5.75	6.21
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill	65.41	13.45	13.53
<i>Fraxinus berlandieriana</i> A.DC.	26.80	6.88	7.51
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	8.00	4.10	4.04
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	30.00	9.00	9.97
<i>Ligustrum lucidum</i> W. T. Aiton	25.40	8.35	5.80
<i>Morus nigra</i> L.	50.20	9.00	8.13
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	25.60	8.10	8.95
<i>Pinus brutia</i> var. <i>eldarica</i> (Medw.) Silba	36.29	10.00	9.30
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	58.60	9.80	12.61
<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	35.98	7.99	11.64
<i>Quercus polymorpha</i> Schl. Et Cham.	21.15	6.94	6.27
<i>Quercus virginiana</i> Mill.	10.94	4.41	3.74
<i>Sideroxylon celastrinum</i> (Kunth) T.D. Penn.	18.00	3.37	5.83
<i>Terminalia ivorensis</i> A. Chev.	59.52	8.10	7.89
<i>Thuja occidentalis</i> L.	8.60	6.10	4.50
<i>Triadica sebifera</i> (L.) Small	18.12	6.16	5.50
<i>Ulmus crassifolia</i> Nutt.	20.90	3.39	1.59
<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	29.66	7.10	9.66
<i>Washingtonia robusta</i> H. Wendl.	28.42	9.96	3.66
<i>Yucca rostrata</i> Engelm. Ex Trel.	23.03	4.86	2.39

Diversidad

En el análisis de diversidad se encontró una riqueza específica de 31 especies; el índice de Margalef (D_{Mg}) presentó un valor de 4.28, el índice de Shannon-Wiener de 1.55 y el índice de diversidad verdadera de Shannon de 4.71.

DISCUSIÓN

Composición

De acuerdo con los resultados, se censaron 1,112 individuos, con un porcentaje muy bajo de individuos muertos en pie (1.98%). La densidad (168 N ha⁻¹) del arbolado urbano de la Colonia Contry, es similar a la reportada en el arbolado de cuatro parques de Texcoco de Mora, Estado de México con 167 N ha⁻¹ (Martínez-Trinidad *et al.*, 2021) y menor a la registrada en los arbolados urbanos de la ciudad de Montemorelos, Nuevo León con 194.6 N ha⁻¹ (Canizales-Velázquez *et al.*, 2020) y del campus universitario de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL con 207 N ha⁻¹ (Alanís *et al.*, 2014). La densidad de árboles en el área de estudio fue menor a la registrada en la ciudad de Montemorelos y en el campus de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL, debido a que presentaron un 74.29% y un 92% del área evaluada cubierta, respectivamente; mientras que para el área de estudio fue de 67.34%.

Se registraron 31 especies de las cuales el 48.39% son introducidas. Esta composición es menor a la registrada en el arbolado urbano de la ciudad de Montemorelos, Nuevo León con 54% de especies introducidas (Canizales-Velázquez *et al.*, 2020), así como en el arbolado urbano del centro de Hualahuises, Nuevo León con 63.16% (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2022) y el arbolado urbano del Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, Puebla con 85% (Pérez-Miranda *et al.*, 2018). El alto porcentaje de especies exóticas en arbolados urbanos, se considera una manera fácil y rápida de incrementar la diversidad (Saavedra-Romero *et al.*, 2019). Sin embargo, el uso de especies introducidas puede aumentar el riesgo de afectar la biodiversidad nativa e incrementar la presencia de plagas y enfermedades (Ortega-Rosas *et al.*, 2022); así como alterar los procesos ecosistémicos en sus nuevas áreas de distribución, provocando cambios en la prestación de otros servicios (Castro-Díez *et al.*, 2021).

La familia botánica más representada fue Fabaceae, con la presencia de 7 especies. Esta familia también fue la más diversa en arbolados urbanos del centro de Hualahuises, Nuevo León con 4 especies (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2022); en plazas y parques de la ciudad de Linares, Nuevo León con 6 especies (Leal-Elizondo *et al.*, 2018) y en el campus universitario de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL con 10 especies (Alanís *et al.*, 2014). Esta familia tiene un alto número de especies en las áreas verdes urbanas del noreste de México, ya que está adaptada a las condiciones semiáridas (González-Rodríguez *et al.*, 2011).

La superficie de área verde por habitante (14.37 m²) está dentro de referencias señaladas en investigaciones previas que indican que en las ciudades debe existir como valor mínimo 9 m² de área verde por habitante, siendo óptimo entre 10 y 15 m². Este resultado es similar al reportado para la zona poniente (Cumbres, Cumbres Poniente, Cerro de las Mitras y San Jerónimo) de la ciudad de Monterrey con 12.78 m² por habitante (Jiménez-Pérez *et al.*, 2013), y es menor al registrado para la Alcaldía Miguel Hidalgo con 25 m² por habitante (Maldonado-Bernabé *et al.*, 2019), así como mayor al obtenido para la ciudad de Mérida, Yucatán con 6.9 m² por habitante (Pérez-Medina & López-Falfán, 2015). El cumplimiento del valor mínimo de superficie indicada en trabajos previos fomenta que los habitantes de la Colonia Contry tengan las condiciones necesarias de entorno natural en esa zona urbana.

Las especies más abundantes fueron *F. berlandieriana* y *Q. virginiana*, tan sólo éstas dos especies representaron el 78.33% de la comunidad. Un patrón similar se registró en el arbolado del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados de la ciudad de México en el cual *Cupressus sempervirens* y *Ligustrum lucidum* representaron más de la mitad de todo el arbolado presente en el sitio (Islas-Rodríguez *et al.*, 2012). El que pocas especies tengan altos valores de abundancia no es recomendado en los bosques urbanos; por ejemplo Santamour (1990) indica que las especies no deben tener más del 10% de la abundancia de la comunidad, para maximizar la protección contra brotes de plagas.

La especie con mayor índice de valor de importancia urbano fue *F. berlandieriana*, seguida de *Q. virginiana*. La presencia de pocas especies dominantes es útil bajo la perspectiva de manejo; sin embargo, es poco recomendable en términos de salud siendo más susceptibles a la presencia de plagas y enfermedades (Velasco Bautista *et al.*, 2013; Saavedra-Romero *et*

al., 2019). Por otro lado, tanto *F. berlandieriana* como *Q. virginiana* forman parte de las principales especies arbóreas plantadas en las ciudades del noreste de México; de la primera se tienen registros de su uso a gran escala en áreas verdes urbanas en la década de los 50's y de la segunda a partir de la década de los 90's (Alanís-Rodríguez, Mora-Olivo, Jiménez-Pérez, et al., 2023).

Estructura

Con respecto a las clases diamétricas, el 45.95% del arbolado presentó diámetros menores a 20 cm, el 43.79 % presentó diámetros entre 20 y 40 cm y sólo el 10.25% diámetros mayores a 40 cm. Esto indica que el arbolado está compuesto principalmente de individuos jóvenes, los cuales tienen el potencial de seguir aumentando su biomasa (Alanís et al., 2014) y en el mediano plazo reemplazar a individuos maduros o enfermos (Saavedra-Romero et al., 2019). Para las clases de altura, el 80.09% de los individuos presentaron alturas entre 4.1 a 9 m, el 12.11% presentaron alturas menores a 4 m y sólo el 7.8% con alturas mayores a 9 m. Se registraron algunos individuos con alturas superiores a 15 m, pertenecientes a *W. robusta* y *E. globulus*. La mayor proporción de árboles presentaron alturas entre 7.1 y 8 m, similares al arbolado de Montemorelos (Canizales-Velázquez et al., 2020), Linares (Leal-Elizondo et al., 2018) y un parque de Monterrey (Alanís-Rodríguez, Cuéllar-Rodríguez et al., 2023) presenta mayor altura (de 6.40 a 9.60 m). Esta información, en conjunto con las clases diamétricas indican que la comunidad vegetal es de dimensiones bajas a intermedias, presentando escasos árboles de dimensiones grandes, lo cual es bueno ya que el arbolado aún tiene potencial de crecimiento. Lo anterior, considerando que se cuenta con un 67.34% de área cubierta, por lo que aún se tiene espacio para seguir desarrollándose.

Diversidad

El resultado del índice de Margalef ($D_{Mg}=4.28$) indica una riqueza intermedia en el área de estudio, ya que valores inferiores a 2.00 son bajos y valores superiores a 5.00 son considerados altos (Alanís-Rodríguez et al., 2020). Este resultado es menor al registrado en el arbolado de un campus universitario de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL con $D_{Mg}=7.62$ (Alanís et al., 2014) y al registrado en el arbolado urbano de plazas y parques de la ciudad de Linares, Nuevo León con $D_{Mg}=5.24$ (Leal-Elizondo et al., 2018).

El índice de Shannon-Wiener ($H'=1.55$) indica una diversidad baja en el área de estudio, ya que este índice tiene un valor normal entre 2 y 3, valores inferiores a 2.00 son considerados bajos y superiores a 3.00 son altos en diversidad de especies (Alanís-Rodríguez et al., 2020). Este resultado es menor al registrado en el arbolado de cuatro parques de Texcoco de Mora, Estado de México con $H'=3.89$ (Martínez-Trinidad et al., 2021) y mayor al registrado en el arbolado urbano de la ciudad de Montemorelos, Nuevo León con $H'=1.17$ (Canizales-Velázquez et al., 2020). El índice de diversidad verdadera de Shannon fue de 4.71, indicando que potencialmente existirían 4.71 especies efectivas. Este valor es inferior al reportado por Alanís-Rodríguez, Cuéllar-Rodríguez, Jiménez-Pérez et al. (2023) en un parque de Monterrey. Los valores bajos de diversidad son debido a que la comunidad vegetal de los parques de la Colonia Contry está conformada por escasas especies que son altamente abundantes y un alto número de especies con baja abundancia, lo que denota baja diversidad. Es importante que este tipo de estudios se puedan replicar en otros parques del AMM para conocer la dinámica del arbolado urbano y aportar información para su gestión y conservación.

CONCLUSIONES

Los indicadores de composición, estructura y diversidad permitieron conocer el estado de salud forestal del arbolado urbano de la Colonia Contry. Referente a la composición de especies, cerca de la mitad (48.39%) son introducidas; lo cual no es conveniente desde la perspectiva de salud. La estructura muestra una comunidad arbórea joven, conformada principalmente por árboles de diámetros menores a 40 cm (89.74%) y alturas entre 4.1 a 9 m (80.09%); lo cual puede favorecer en el mediano plazo para reemplazar a individuos maduros, enfermos o muertos. La diversidad presenta una riqueza intermedia de Margalef y una baja diversidad de Shannon-Wiener y diversidad verdadera de Shannon. Las especies *F. berlandieriana* y *Q. virginiana* representan más de la mitad de la densidad de árboles en el

área de estudio (78.33%), por lo que la presencia de dos especies dominantes no es recomendable en términos de salud, siendo más susceptibles a la presencia de plagas y enfermedades.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por la beca de doctorado otorgada a la primera autora. A la Asociación de Colonos del Contry, A.C. por las facilidades otorgadas para la realización de este estudio. A Guadalupe Pérez, Adriana Garza, Athziri Charles, Daniel Marín y Samuel Rodríguez por su participación en el trabajo de campo.

LITERATURA CITADA

- Alanís, E., Jiménez, J., Mora-Olivo, A., Canizales, P., & Rocha, L. (2014). Estructura y composición del arbolado urbano de un campus universitario del noreste de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(7), 93–101. https://www.researchgate.net/271271778_Estructura_ycomposicion_del_arbolado_urbano_de_un_campus_universitario_del_noreste_de_Mexico
- Alanís-Flores, G. (2011). Los fenómenos meteorológicos extremos. Efectos de las bajas temperaturas en la vegetación arbórea del área metropolitana de Monterrey. *Ciencia UANL*, 14(2), 115–120. <http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=40218433002>
- Alanís-Flores, G., Foroughbakhch-Pournavab, R., Alvarado-Vázquez, M. A., & Rocha-Estrada, A. (2004). El arbolado urbano en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), Nuevo León, México. *Arborea*, 6(11), 14–26.
- Alanís-Flores, G. J. (2005). El arbolado urbano en el área metropolitana de Monterrey. *Ciencia UANL*, 8(1), 20–32. <https://www.redalyc.org/pdf/402/40280104.pdf>
- Alanís-Rodríguez, E., Cuéllar-Rodríguez, G., Jiménez-Pérez, J., Mora-Olivo, A., & Itagaray, A. M. (2023). Estructura y diversidad del arbolado del Parque Hundido, Monterrey, Nuevo León. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(3). <https://doi.org/10.19136/era.a10n3.3576>
- Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., Jiménez-Pérez, J., & Cuéllar-Rodríguez, G. (2023). Use of native trees in urban green areas: trends in northeastern Mexico. In *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* (Vol. 14, Issue 76, pp. 4–21). National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i76.1314>
- Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., & Marroquín de la Fuente, J. S. (2020). *Muestreo Ecológico de la Vegetación* (Primera Edición). Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., Molina-Guerra, V. M., Gárate-Escamilla, H., & Sigala-Rodríguez, J. Á. (2022). Urban tree characterization in the downtown area of Hualahuises, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(73), 29–49. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i73.1271>
- Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., Molina-Guerra, V. M., Patiño-Flores, A. M., Sigala-Rodríguez, J. Á., Zamudio-Castillo, E., & Rubio-Camacho, E. (2023). Cambios en la composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Gayana Botánica*, 80(1), 64–74. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432023000100064>
- Benavides-Meza, H. M., & Segura-Bailón, C. (1996). Situación del arbolado de alineación de la ciudad de México: Delegaciones Iztacalco e Iztapalapa, Distrito Federal. *Revista Ciencia Forestal En México*, 21(79), 121–164. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1003>
- Benavides-Meza, H. M., & Young-Fernández Grandizo, D. (2012). Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. *Madera y Bosques*, 18(2), 51–71.
- Borelli S., Conigliaro M., & Di Cagno F. (2023). *Urban forests: a global perspective*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc8216en>

- Canizales-Velázquez, P. A., Alanís-Rodríguez, E., García-García, S. A., Holguín-Estrada, V. A., & Collantes-Chávez-Costa, A. (2021). Estructura y diversidad arbórea de un bosque de galería urbano en el río Camachito, noreste de México. *Polibotánica*, 51, 91–105. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.51.6>
- Canizales-Velázquez, P. A., Alanís-Rodríguez, E., Holguín-Estrada, V. A., García-García, S., & Collantes-Chávez Costa, A. (2020). Description of the urban trees of Montemorelos city, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(62), 111–135. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.768>
- Casillas-Zapata, A. M., Ledezma-Elizondo, M. T., & Aparicio-Moreno, C. E. (2018). Conformación de áreas verdes y espacios abiertos en la transformación urbana de Monterrey del siglo XVII a inicios del siglo XXI. *Letras Históricas*, 19, 99–125. <http://www.letrahistoricas.cucsh.udg.mx/index.php/LH/article/view/6728>
- Castro-Díez, P., Alonso, Á., Saldaña-López, A., & Granda, E. (2021). Effects of widespread non-native trees on regulating ecosystem services. *Science of The Total Environment*, 778, 146141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146141>
- Chacalo-Hilú, A., Grabinsky, J., & Aldama, A. (1996). Inventario del arbolado de alineación de la Ciudad de México. *Revista Ciencia Forestal En México*, 21(79), 101–119. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1002>
- Escobedo, F., & Chacalo, A. (2008). Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano de la ciudad de México. *Interciencia*, 33(1), 29–33. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=
- Flores-De la O., J. L., Villanueva-Solís, J., & Quiroa-Herrera, J. A. (2018). Evaluación de los efectos microclimáticos que tiene la vegetación en la mitigación de la isla de calor urbana: Parque en la ciudad de Torreón, México. *Revista de Ciencias Ambientales*, 52(2), 123–140. <https://doi.org/10.15359/rca.52-2.7>
- González-Rodríguez, H., Cantú-Silva, I., Ramírez-Lozano, R. G., Gómez-Meza, M. V., Pando-Moreno, M., & López-Hernández, J. M. (2011). Potencial hídrico xilemático en cuatro especies nativas del noreste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, XVII(Especial), 97–109. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.080>
- INEGI. (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Nuevo León 2017*. www.inegi.org.mx
- Islas-Rodríguez, L., Martínez-Trinidad, T., & Hernández-Martínez, M. (2012). Principales especies arbóreas en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados. *Ciencias Agrícolas Informa*, 21(2), 97–105.
- Jiménez-Pérez, J., Cuéllar, G., & Treviño, E. (2013). *Áreas Verdes del Municipio de Monterrey*.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363–375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Leal-Elizondo, C. E., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O. A., Uvalle-Sauceda, J. I., Jiménez-Pérez, J., Mora-Olivo, A., & Leal-Elizondo, N. A. (2023). Estructura y captura de carbono de las áreas verdes urbanas de Linares, Nuevo León. *E-CUCBA*, 10(20), 33–43. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi20.294>
- Leal-Elizondo, C. E., Leal-Elizondo, N., Alanís-Rodríguez, E., Pequeño-Ledezma, M. Á., Mora-Olivo, A., & Buendía-Rodríguez, E. (2018). Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.129>
- Lemoine-Rodríguez, R., Inostroza, L., Falfán, I., & MacGregor-Fors, I. (2022). Too hot to handle? On the cooling capacity of urban green spaces in a Neotropical Mexican city. *Urban Forestry and Urban Greening*, 74. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127633>
- Livesley, S. J., McPherson, E. G., & Calfapietra, C. (2016). The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. *Journal of Environmental Quality*, 45(1), 119–124. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567>
- López-López, S. F., Martínez-Trinidad, T., Benavides-Meza, H. M., García-Nieto, M., & Ángeles-Pérez, G. (2018). Biomass and carbon storage in trees of the first section of Chapultepec Park, Mexico City. *Madera y Bosques*, 24(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431620>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity* (First). Blackwell Science Ltd a Blackwell Publishing company.

- Maldonado-Bernabé, G., Chacalo-Hilu, A., Nava-Bolaños, I., Meza-Paredes, R. M., & Zaragoza-Hernández, A. Y. (2019). Cambios en la superficie de áreas verdes urbanas en dos alcaldías de la Ciudad de México entre 1990-2015. *Polibotánica*, 48, 205–230. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.48.15>
- Manzanilla-Quñones, U., Manzanilla-Quijada, G. E., & Delgado-Valerio, P. (2021). Análisis espacio-temporal de las áreas verdes urbanas de la Zona Metropolitana de Monterrey, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(1). <https://doi.org/10.19136/era.a8n1.2676>
- Martínez-Trinidad, T., López, P. H., López-López, S. F., & Caballero, L. M. (2021). Diversity, structure and ecosystem services of trees in four parks in Texcoco using i-Tree Eco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(67), 202–223. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.880>
- Mejía-Salazar, G., & Gómez, R. (2015). Un análisis a la superficie de área verde por habitante en la ciudad de Tepic, Nayarit, México. *Investigación Joven*, 2(1), 1–5.
- Morales-Gallegos, L. M., Martínez-Trinidad, T., Hernández-De la Rosa, P., Gómez-Guerrero, A., Alvarado-Rosales, D., Saavedra-Romero, L. de L., Morales-Gallegos, L. M., Martínez-Trinidad, T., Hernández-De la Rosa, P., Gómez-Guerrero, A., Alvarado-Rosales, D., & Saavedra-Romero, L. de L. (2023). Diversidad, estructura y salud del arbolado en áreas verdes de la ciudad de Texcoco, México. *Bosque (Valdivia)*, 44(2), 401–414. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002023000200401>
- Ortega-Rosas, C. I., Martínez-Salido, J., Sánchez-Duarte, N. E., & Morales-Romero, D. (2022). Cobertura y composición arbórea en las áreas verdes de Hermosillo, Sonora: aportaciones al urbanismo sustentable. *Región y Sociedad*, 34, e1610. <https://doi.org/10.22198/rys2022/34/1610>
- Pérez-Medina, S., & López-Falfán, I. (2015). Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana. *Economía, Sociedad y Territorio*, 15(47), 01–33. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212015000100002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Pérez-Miranda, R., Santillán-Fernández, A., Narváez-Álvarez, F. D., Galeote-Leyva, B., & Vásquez-Bautista, N. (2018). Riesgo del arbolado urbano: estudio de caso en el Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 208–228. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.143>
- Pimienta-Barrios, E., Robles-Murguía, C., Carvajal, S., Muñoz-Urias, A., Martínez-Chávez, C., & De León-Santos, S. (2014). Environmental services of vegetation in urban ecosystems in the context of climate change. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(22), 26–39. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000200003&Ing=ES&nrm=iso
- Predik Data Driven. (2023). *MarketDataMéxico*. <https://www.marketdatamexico.com/es/article/Colonia-Contry-Monterrey-Nuevo-Leon>
- Rocha-Estrada, A., Torres-Cepeda, T. E., González-De la Rosa, M. C., Martínez-Lozano, S. J., & Alvarado-Vázquez, M. A. (1998). Flora ornamental en plazas y jardines públicos del Área Metropolitana de Monterrey, México. *SIDA, Contributions to Botany*, 18(2), 579–586. <http://www.jstor.org/stable/41967647>
- Saavedra-Romero, L. de L., Hernández-de la Rosa, P., Alvarado-Rosales, D., Martínez-Trinidad, T., & Villa-Castillo, J. (2019). Diversidad, estructura arbórea e índice de valor de importancia en un bosque urbano de la ciudad de México. *Polibotánica*, 0(47), 25–37. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.3>
- Santamour, F. S. (1990). Trees for urban planting: Diversity, uniformity, and common sense. *Proceedings of the Seventh Conference of The Metropolitan Tree Improvement Alliance*, 7, 57–65.
- Tropicos. (2023). *Tropicos.org*. Missouri Botanical Garden. <https://tropicos.org>
- Vásquez, A. E. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 63, 63–86. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022016000100005>
- Vázquez-Arceo, S. E., Ramírez-Rivera, M. del P., Arceo-Díaz, S., & Solís-Enríquez, J. J. (2023). Air pollution removal by the urban forest in Las Palmas, Colima, Mexico. *Madera y Bosques*, 29(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2912460>
- Velasco-Bautista, E., Cortés-Barrera, E. N., González-Hernández, A., Moreno-Sánchez, F., & Benavides-Meza, H. M. (2013). Diagnóstico y caracterización del arbolado del

Recibido:
29/noviembre/2023

Aceptado:
20/junio/2024

- bosque de San Juan de Aragón. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(19), 102–112. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i19.382>
- Véliz-Chávez, P. C., González-Sosa, E., Barajas-Ortiz, S. D. R., & Salinas-Ramos, N. M. (2012). El efecto pantalla o sombra de los árboles en la formación de los escurrimientos urbanos. *Tecnología y Ciencias de Agua*, 3(4), 73–87. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531979005>
- Yépez-Rincón, F. D., Huerta-García, R. E., Ramírez-Serrato, N. L., Lozano-García, D. F., Carmona-García, J. M., & Lazzo-Garzón, F. X. (2016). Evaluación de tres productos de sensores remotos para la actualización de inventarios de árboles urbanos. In L. C. Alatorre-Cejudo, L. C. Bravo-Peña, L. C. Wiebe-Quintana, M. E. Torres-Olave, M. I. Uc-Campos, & M. O. González-León (Eds.), *Estudios Territoriales en México: Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial* (Primera Edición, pp. 81–101). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. <https://www.researchgate.net/publication/317338594>
- Yépez-Rincón, F. D., & Lozano-García, D. F. (2014). Mapeo del arbolado urbano con lidar aéreo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 58–75. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000600005&lng=es&nrm=iso&tlng=es

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA DE ESPECIES ARBÓREAS EN TRES TIPOS DE VEGETACIÓN FORESTAL AL SUR DE DURANGO, MÉXICO

DIVERSITY AND STRUCTURE OF TREE SPECIES IN THREE TYPES OF FOREST VEGETATION IN SOUTHERN DURANGO, MEXICO

**Silva-González, Edgar; José Guadalupe Colín; Oscar Alberto Aguirre-Calderón;
Eduardo Javier Treviño-Garza; José Javier Corral-Rivas y Gyorgy Eduardo
Manzanilla-Quijada**

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA DE ESPECIES ARBÓREAS EN TRES TIPOS DE
VEGETACIÓN FORESTAL AL SUR DE DURANGO, MÉXICO

DIVERSITY AND STRUCTURE OF TREE SPECIES IN THREE TYPES OF FOREST
VEGETATION IN SOUTHERN DURANGO, MEXICO



Diversidad y estructura de especies arbóreas en tres tipos de vegetación forestal al sur de Durango, México

Diversity and structure of tree species in three types of forest vegetation south of Durango, Mexico

Edgar Silva-González;
José Guadalupe Colín;
Oscar Alberto Aguirre-
Calderón; Eduardo Javier
Treviño-Garza; José Javier
Corral-Rivas y Gyorgy
Eduardo Manzanilla-Quijada

DIVERSIDAD Y
ESTRUCTURA DE
ESPECIES ARBÓREAS EN
TRES TIPOS DE
VEGETACIÓN FORESTAL
AL SUR DE DURANGO,
MÉXICO

DIVERSITY AND
STRUCTURE OF TREE
SPECIES IN THREE TYPES
OF FOREST VEGETATION
IN SOUTHERN DURANGO,
MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 103-118. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.7

Edgar Silva-González <http://orcid.org/0000-0002-8624-3040>

*Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales,
Nuevo León México*

José Guadalupe Colín. *Autor para correspondencia:* jose_colin8@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6992-3511>

Instituto Tecnológico de El Salto, Durango, México

Oscar Alberto Aguirre-Calderón <https://orcid.org/0000-0001-5668-8869>

Eduardo Javier Treviño-Garza <http://orcid.org/0000-0002-8921-857X>

*Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales,
Nuevo León México*

José Javier Corral-Rivas, <http://orcid.org/0000-0002-2851-7517>

*Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Forestales,
Durango, Durango, México*

Gyorgy Eduardo Manzanilla-Quijada, <https://orcid.org/0000-0002-2806-8352>

*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,
Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales,
Morelia, Michoacán, México*

RESUMEN: El objetivo de la presente investigación fue evaluar la diversidad, estructura horizontal y estructura vertical de especies arbóreas en tres tipos de vegetación forestal en el ejido Adolfo Ruíz Cortines al sur del estado de Durango, México. Los datos analizados corresponden a 665 sitios circulares de 0.1 ha; 56 sitios correspondientes a bosques de pino (BP), 511 a bosques de pino encino (BPQ) y 98 a bosques de encino pino (BQP). Para cada sitio se registró el nombre de la especie, el diámetro normal (>7.5 cm) y la altura total (m) de los árboles. Para las especies, en cada tipo de vegetación, se determinó su diversidad mediante el índice de Shannon, dominancia con el índice de Simpson y riqueza específica utilizando el índice de Margalef. Se realizó una prueba de similitud o diferencia en la diversidad-abundancia *t* de *Hutchenson* para comparar la diversidad de especies entre los tipos de vegetación utilizando el índice de Shannon, para conocer si existen diferencias estadísticas significativas entre la diversidad de especies de los tipos de vegetación. Para conocer la estructura horizontal se obtuvo el índice de valor de importancia (IVI), el cual es un índice jerárquico que mide la dominancia de las especies mediante valores porcentuales, los cuales son obtenidos con la abundancia A_i , dominancia D_i y frecuencia F_i de las especies, dichos parámetros ecológicos se analizaron con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para determinar si existen diferencias estadísticas significativas. La estructura vertical se determinó con el índice de distribución vertical de especies A . La prueba de *t* de *Hutchenson* demostró que existen diferencias estadísticas significativas en la diversidad arbórea de los tipos de bosque. De acuerdo con la estructura horizontal, sólo las frecuencias absolutas registraron cambios estadísticos significativos entre los tres tipos de vegetación (BP-BPQ-BQP). Los valores del índice vertical de especies A , indicaron que para los tres tipos de vegetación se presenta una comunidad vegetal no uniforme en cuanto a sus alturas, presentando un mayor número de individuos en el estrato inferior, seguido del estrato medio, para finalmente tener una cantidad menor en el estrato de altura mayor. La información generada en esta investigación proporciona

un marco de referencia sobre cómo se conforma la estructura arbórea en los tipos de vegetación del ejido, así como la base para futuras tomas de decisión sobre planes de manejo forestal.

Palabras clave: distribución vertical; dominancia; especies arbóreas; riqueza específica; valor de importancia.

ABSTRACT: The objective of this research was to evaluate the diversity, horizontal structure and vertical structure of tree species in three types of forest vegetation in the Adolfo Ruiz Cortines ejido in the south of the state of Durango, Mexico. The data analyzed corresponds to 665 circular sites of 0.1 ha; 56 sites correspond to pine forests (BP), 511 to pine oak forests (BPQ) and 98 to pine oak forests (BQP). For each site, the name of the species, the normal diameter (>7.5 cm) and the total height (m) of the trees were recorded. For the tree species in each type of vegetation, their diversity was determined using the Shannon index, their dominance with the Simpson index and their specific richness using the Margalef index. Subsequently, a test of over similarity or difference in the diversity-abundance Hutchenson's t was carried out to compare the diversity of species between the vegetation types using the Shannon index, to know if there are significant statistical differences between the diversity of species of the types of vegetation. To know the horizontal structure, the importance value index (IVI) was obtained, which is a hierarchical index that measures the dominance of the species through percentage values, which are obtained with the abundance A_i , dominance D_i and frequency F_i of the species. species, these ecological parameters were analyzed with the non-parametric Kruskal-Wallis test to determine if there are significant statistical differences. The vertical structure was determined with the species vertical distribution index A. Hutchenson's t test demonstrated that there are significant statistical differences in the tree diversity of the forest types. According to the horizontal structure, only the absolute frequencies recorded significant statistical changes between the three vegetation types (BP-BPQ-BQP). The values of the vertical index of species A indicated that for the three types of vegetation there is a non-uniform plant community in terms of height, presenting a greater number of individuals in the lower stratum, followed by the middle stratum, to finally have a smaller amount in the higher altitude stratum. The information generated in this research provides a frame of reference on how the tree structure is formed in the vegetation types of the ejido, as well as the basis for future decision-making on forest management plans.

Key words: vertical distribution; dominance; tree species; species richness; importance value.

INTRODUCCIÓN

Los bosques templados son uno de los ecosistemas de mayor importancia para la diversidad biológica en el mundo, ya que representan el 15% de la superficie terrestre (Del-Val & Sáenz-Romero, 2017). Además, proveen bienes y servicios ecosistémicos, siendo un eje de desarrollo económico en diferentes escalas globales (Vásquez-Cortez *et al.*, 2018).

La importancia ecológica de las comunidades vegetales radica en la distinción y complejidad entre regiones con una fisiografía heterogénea, por lo que su estudio es fundamental para caracterizar el estrato arbóreo o arbustivo. Además, forman grupos de plantas, árboles o arbustos cuya fisonomía, estructura y composición de especies destaca en alguna región determinada. Por ello, la descripción y evaluación de las comunidades vegetales en su conjunto es esencial para entender el funcionamiento de los ecosistemas en cualquier región (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2020).

La caracterización estructural del estrato arbóreo es importante para conocer la diversidad y composición de especies en un bosque y su resiliencia ante perturbaciones de origen natural o antropogénicas. Por lo que, al entender su funcionamiento, se pueden aportar elementos de decisión para contribuir al manejo forestal sustentable (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008; Corral-Rivas *et al.*, 2005; Graciano *et al.*, 2017; Silva-García *et al.*, 2021; Solís-Moreno *et al.*, 2006). Además, la estructura horizontal y vertical son consideradas una buena práctica

de manejo forestal para la conservación de la biodiversidad en ecosistemas templados (Aguirre-Calderón, 2015; Graciano-Ávila *et al.*, 2020).

En el estado de Durango se han realizado diferentes estudios enfocados en la evaluación y análisis de la diversidad y estructura de especies arbóreas, los cuales hacen referencia a un número reducido de sitios de muestreo, sin considerar áreas con superficies grandes o evaluar diferentes tipos de vegetación, que influyen en la valoración de la diversidad mediante la comparación de la estructura arbórea (Delgado-Zamora *et al.*, 2016; Domínguez-Gómez *et al.*, 2018; Graciano *et al.*, 2017; Silva-García *et al.*, 2021). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la diversidad y estructura de especies arbóreas en tres tipos de vegetación forestal en Durango, México, para conocer si existen diferencias entre las comunidades vegetales.

MÉTODOS

El área de estudio se ubica en la región forestal de El Salto, Municipio de Pueblo Nuevo del estado de Durango, específicamente, en el ejido Adolfo Ruíz Cortines. Cuenta con una superficie de 4 018.23 ha, de las cuales 2 935.19 ha son áreas bajo manejo forestal mediante el método silvícola MMOBI (Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares). Se encuentra enmarcado geográficamente entre los paralelos 23° 45' 23" y 23° 43' 23" de latitud Norte y los meridianos 105° 14' 6.81" y 105° 18' 3.02" de longitud Oeste (Figura 1).

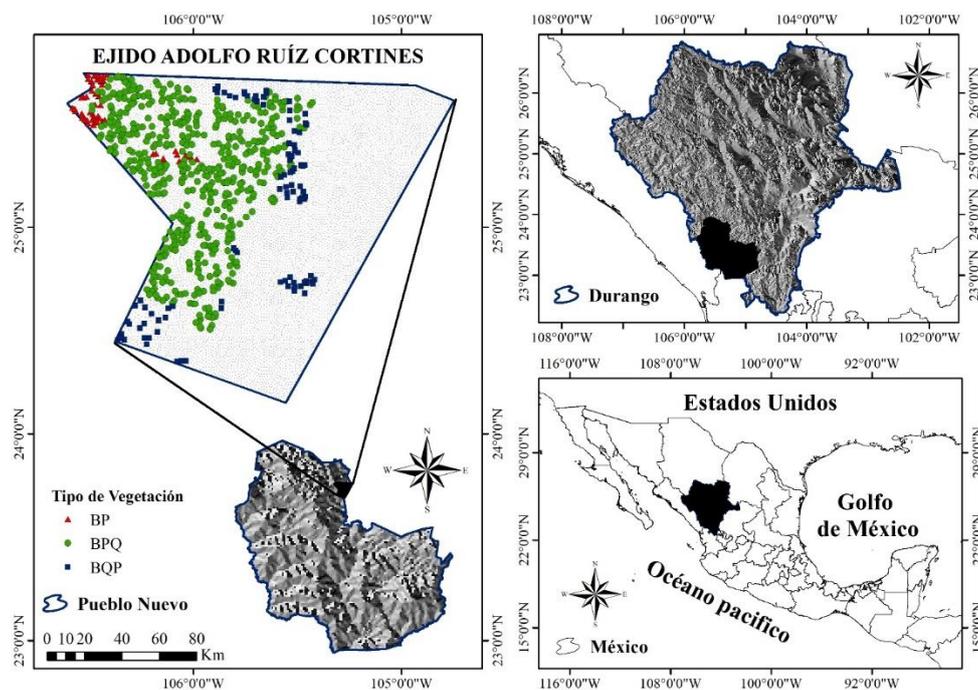


Figura 1. Sitios de muestreo para tres tipos de vegetación en el ejido Adolfo Ruíz Cortines de la localidad de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. BP: Bosque de pino, BPQ: Bosque de pino-encino; BQP: bosque de encino-pino.
Figure 1. Sampling sites for three types of vegetation in the Adolfo Ruiz Cortines ejido in the town of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. BP: Pine forest, BPQ: Pine-oak forest; BQP: oak-pine forest.

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen adaptada para México por García (1981), los tipos de clima en la zona son templado subhúmedo y semifrío subhúmedo, con precipitación en verano e invierno entre 5 y 10.2 mm. Los tipos de suelo dentro del área estudiada son Regosol y Litosol. La altura sobre el nivel del mar se encuentra entre 1 600 y 2 600 m. La vegetación del ejido comprende tres tipos: bosques de pino (BP - 64.72 ha), bosques de pino encino (BPQ - 2 770.42 ha) y bosques de encino pino (BQP - 100.05 ha). El resto son áreas dedicadas a otros usos como: conservación, restauración y protección, cubriendo un total de 1 083.04 ha de acuerdo al programa de manejo forestal 2017-2026 del ejido Adolfo Ruíz Cortines.

Análisis de la información

Dentro del área de estudio se obtuvo información silvícola y dasométrica de 655 sitios circulares de 0.1 ha mediante un muestreo aleatorio, donde se registró la siguiente información dasométrica: nombre de la especie, diámetro normal mayor a 7.5 cm y la altura total (m) de todos los árboles censados en los sitios. El área perteneciente a BP incluyó un total de 56 sitios, para BPQ 511 sitios, en BQP se muestrearon 98 sitios. El área dedicada a otros usos (conservación, restauración y protección) fue excluida de muestreo, ya que solo se utilizó información de las áreas de aprovechamiento forestal de BP, BPQ y BQP.

Índices de diversidad, dominancia y riqueza de especies

La diversidad de especies se determinó en los tres tipos de vegetación, mediante el índice de Shannon (H'), el cual expresa la heterogeneidad de una comunidad considerando el número de especies presentes y su abundancia relativa (Shannon & Weaver, 1949). La dominancia de especies se obtuvo mediante el índice de Simpson (D), que representa la probabilidad de que dos individuos dentro de un hábitat seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie (Magurran, 1988). La riqueza específica se definió con el índice de Margalef (D_{Mg}), que se basa en la cuantificación del número de especies presentes en las áreas de estudio (Moreno, 2001). (Tabla 1).

Tabla 1. Índices de diversidad, dominancia y riqueza de especies estimados para los tres tipos de vegetación en el ejido Adolfo Ruíz Cortines de la localidad de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Table 1. Indices of diversity, dominance and species richness estimated for the three types of vegetation in the Adolfo Ruiz Cortines ejido in the town of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Índices	Ecuación	Donde:
Diversidad de Shannon (H')	$H' = \sum_{i=1}^S P_i * \ln(P_i)$	S = Número de especies presentes \ln = Logaritmo natural
Dominancia de Simpson (D)	$D = \sum P_i^2$	P_i = Proporción de los árboles de la especie i ; se obtiene mediante la relación n_i/N (n_i = Número de árboles de la especie i ; N = Número total de árboles).
Riqueza de Margalef (D_{Mg})	$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$	

La probable existencia de diferencias estadísticas significativas entre la diversidad de especies en los tipos de vegetación se evaluó con la prueba de similitud o diferencia en la diversidad-abundancia t de *Hutchenson*, mediante los valores obtenidos con el índice de Shannon, generada por la ecuación 1 y con los grados de libertad estimados mediante la ecuación 2

$$t = \frac{H'_1 - H'_2}{\sqrt{\frac{VarH'_1 + VarH'_2}{2}}} \quad [1]$$

$$df = \frac{(VarH'_1 + VarH'_2)^2}{\left[\frac{(VarH'_1)^2}{N_1}\right] + \left[\frac{(VarH'_2)^2}{N_2}\right]} \quad [2]$$

Donde:

H' = diversidad del sitio n

$Var H'$ =varianza del sitio n

N =número total de árboles del sitio n

La estimación de las varianzas se efectuó con la ecuación 3.

$$VarH' = \frac{\sum p_i(\ln p_i)^2 - (\sum p_i \ln p_i)^2}{N} - \frac{S-1}{2N^2} \quad [3]$$

Estructura horizontal

La evaluación de la estructura horizontal se estimó a través del Índice de Valor de Importancia (IVI) para cada tipo de vegetación, en valores porcentuales con rangos de 0 a

100. El IVI es un índice sintético estructural desarrollado para jerarquizar la dominancia de cada especie en rodales mezclados, mediante la sumatoria de los parámetros estructurales de abundancia A_i , dominancia D_i y frecuencia F_i (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2020). (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros estructurales e índice de valor de importancia estimados para los tres tipos de vegetación en el ejido Adolfo Ruíz Cortines de la localidad de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Table 2. Structural parameters and importance value index estimated for the three types of vegetation in the Adolfo Ruiz Cortines ejido in the town of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Parámetros e índice	Ecuación	Donde:
Abundancia	$A_i = \frac{N_i}{S} ;$ $AR_i = \left[\frac{A_i}{\sum A_i} \right] * 100$ $i = 1 \dots n$	A_i es la abundancia absoluta, AR_i es la abundancia relativa de la especie i , con respecto a la abundancia total, N_i es el número de árboles de la especie i , y S la superficie de muestreo (ha).
Dominancia	$D_i = \frac{Ab}{S} ;$ $DR_i = \left[\frac{D_i}{\sum D_i} \right] * 100$ $i = 1 \dots n$	D_i es la dominancia absoluta, DR_i es la dominancia relativa de la especie i , con respecto a la dominancia total, Ab es el área basal de la especie i , y S la superficie (ha).
Frecuencia	$F_i = \frac{P_i}{NS} ;$ $FR_i = \left[\frac{F_i}{\sum F_i} \right] * 100$ $i = 1 \dots n$	F_i es la frecuencia absoluta, FR_i es la frecuencia relativa de la especie i , con respecto a la frecuencia total, P_i es el número de sitios en la que la especie se encuentra presente i , y NS el número total de sitios de muestreo.
Índice de Valor de Importancia	$IVI = \frac{AR_i + DR_i + FR_i}{3}$	

A cada parámetro ecológico (abundancia, dominancia y frecuencia) e IVI se le verificó la distribución normal de los datos con la prueba de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene para realizar un ANOVA de un factor (igualdad de medias), o en su defecto la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (K-W) (igualdad de medianas), para determinar si existen estadísticas significativas entre los tipos de vegetación. El nivel de significancia para las pruebas fue $\alpha=0.05$. Los análisis se desarrollaron en el programa IBM SPSS Statistics 25.

Estructura vertical

Se obtuvo la estructura vertical mediante el índice de distribución vertical A de Pretzsch. Este índice considera tres estratos de altura: alto (I), con un intervalo del 80 al 100%; medio (II), con un intervalo del 50 al 80% y bajo (III), con un intervalo del 0 al 50% de la altura máxima del arbolado (Pretzsch, 2009). Cabe señalar que este índice es una modificación del índice de Shannon, el cual indica valores entre cero y un valor máximo A_{max} ; indicando que cuando un valor de $A=0$ significa que el rodal contiene una sola especie que ocurre en un sólo estrato, mientras, que un A_{max} se alcanzaría cuando un número alto de especies están presentes en la misma proporción, tanto en el rodal como en los diferentes estratos de altura (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2020; Graciano *et al.*, 2017; Manzanilla-Quijada *et al.*, 2020; Silva-García *et al.*, 2021), representado mediante la siguiente ecuación:

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z P_{ij} * (\ln P_{ij})$$

Donde:

A = Índice de distribución vertical

S = Número de especies presentes

Z = Número de estratos de altura

P_{ij} = Porcentaje de especies en cada zona, se estima mediante la relación (n_{ij}/N ; n_{ij} = número de árboles de la especie i en el estrato j ; N = Número total de árboles)

Previo a la comparación, el índice de *Pretzsch* fue estandarizado, mediante el valor de A_{max} , determinado con la siguiente fórmula:

$$A_{max} = \ln(S * Z)$$

Finalmente, se estandarizó el valor de A acorde a su valor relativo (A_{rel}), mediante la siguiente ecuación:

$$A_{rel} = \frac{A}{\ln(S * Z)} * 100$$

RESULTADOS

De manera general, en el área de estudio se muestrearon un total de 42 125 árboles, correspondientes a 22 especies, 6 géneros y 5 familias; además de un taxón clasificado como otras hojosas. En el BP se registraron 15 especies, en BPQ 22 especies y en BQP 17 especies. (Tabla3).

Tabla 3. Especie, nombre común y familia registrados para los tres tipos de vegetación en el ejido Adolfo Ruíz Cortines de la localidad de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. La validez de los nombres científicos se corroboró con base en la plataforma The Plant List (2013).

Table 3. Species, common name and family recorded for the three types of vegetation in the Adolfo Ruiz Cortines ejido in the town of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. The validity of the scientific names was corroborated based on The Plant List platform (2013).

Especie	Nombre común	Familia	BP	BPQ	BQP
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Aliso	Butelaceae	X	X	
<i>Alnus</i> sp	Aliso	Butelaceae	X	X	
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	Madroño	Ericaceae	X	X	X
<i>Cupressus</i> sp	Tascate	Cupressaceae		X	
<i>Junniperus deppeana</i> Steud.	Tascate	Cupressaceae	X	X	X
<i>Pinus ayacahuite</i> C. Ehrenb. ex Schltdl.	Pino cahuite	Pinaceae		X	
<i>Pinus chihuahuana</i> Engelm	Ocote chino	Pinaceae			X
<i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco	Pino chino	Pinaceae	X	X	
<i>Pinus durangensis</i> Martínez	Pino alazán	Pinaceae	X	X	X
<i>Pinus engelmannii</i> Carrière	Pino real	Pinaceae	X	X	X
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	Pino prieto	Pinaceae	X	X	X
<i>Pinus lumholtzii</i>	Pino triste	Pinaceae		X	X
<i>Pinus</i> spp	Pino	Pinaceae	X	X	X
<i>Pinus teocote</i> Schltdl. & Cham.	Pino rosillo	Pinaceae	X	X	X
<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	Encino blanco	Fagaceae	X	X	X
<i>Quercus durifolia</i> Seem ex Loes.	Encino laurelillo	Fagaceae		X	X
<i>Quercus eduardii</i> Trel.	Encino blanco	Fagaceae		X	X
<i>Quercus laeta</i> Liebm.	Palo chino	Fagaceae	X	X	X
<i>Quercus rugosa</i> Née.	Encino negro	Fagaceae		X	X
<i>Quercus sideroxila</i> Bonpl.	Encino colorado	Fagaceae	X	X	X
<i>Quercus splendens</i> Née	Encino	Fagaceae		X	X
<i>Quercus</i> spp	Encino	Fagaceae	X	X	X
Otras hojosas				X	

Diversidad, dominancia y riqueza de especies

La diversidad de especies mediante el índice de Shannon presentó los siguientes valores: $H' = 1.9$ BP, $H' = 2.09$ BPQ, y $H' = 2.12$ BQP; en relación con el índice de dominancia de Simpson los valores registrados fueron $D = 0.19$, $D = 0.15$ y $D = 0.16$, para BP, BPQ y BQP, respectivamente. La riqueza específica por estrato, estimada a través del índice de Margalef fue de: $D_{Mg} = 2.07$ en BP, $D_{Mg} = 3.25$ en BPQ y $D_{Mg} = 2.64$ en BQP.

La prueba de *Hutcheson* reveló diferencias estadísticas significativas entre los tipos de vegetación: BP– BPQ ($t = 4.36$, $t_{(\alpha=0.05, 1398)} = 1.98$); BP– BQP ($t = 4.18$, $t_{(\alpha=0.05, 820)} = 1.98$) y BPQ– BQP ($t = 0.48$, $t_{(\alpha=0.05, 881)} = 1.98$).

Estructura horizontal

El número de árboles registrado en BP fue de 862.68 N ha⁻¹, para BPQ 645.96 N ha⁻¹ y para BQP 430.71 N ha⁻¹, estos valores resultaron ser estadísticamente iguales mediante la prueba de K-W ($p = 0.43$).

La figura 2 representa los árboles por categoría diamétrica para los tres tipos de vegetación, los datos se encuentran sesgados a la derecha, característica de rodales jóvenes de la comunidad vegetal del área de estudio.

El AB (área basal) de las especies registradas resultó ser estadísticamente igual en los tres tipos de vegetación, mediante la prueba de K-W ($p = 0.61$). El BP presentó un AB de 22.44 m² ha⁻¹, en BPQ fue de 17.87 m² ha⁻¹, y para BQP de 12.88 m² ha⁻¹.

La frecuencia absoluta registrada en los tres tipos de vegetación presentó diferencias estadísticas significativas ($p = 0.018$).

Mediante el IVI, y de acuerdo con el p valor > 0.05 ($p = 0.462$), se demostró que no hay diferencias estadísticas significativas entre los tres tipos de vegetación. En el área de BP el género *Pinus* presentó un 65.07% IVI; en BPQ, el género *Pinus* presentó un 45.21% de IVI y en BQP *Quercus* obtuvo un IVI de 49.53%, demostrando que el género de mayor representación para cada tipo de vegetación es el de mayor dominancia.

Tabla 4. Parámetros estructurales e IVI para los tres tipos de vegetación en el ejido Adolfo Ruíz Cortines de la localidad de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango (ordenados de manera descendente de acuerdo con el valor porcentual del IVI).

Table 4. Structural parameters and IVI for the three types of vegetation in the Adolfo Ruiz Cortines ejido in the town of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango (ordered in descending order according to the percentage value of the IVI).

Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		IVI (%)
	N ha ⁻¹	AR (%)	AB m ² ha ⁻¹	DR (%)	Fabs	FR (%)	
Bosque de pino (BP)							
<i>P. durangensis</i>	287.86	33.37	7.52	33.54	86.21	14.58	27.16
<i>P. leiophylla</i>	157.32	18.24	4.60	20.50	89.66	15.16	17.97
<i>Q. sideroxylla</i>	140.71	16.31	4.02	17.91	75.86	12.83	15.68
<i>P. teocote</i>	58.93	6.83	1.81	8.08	67.24	11.37	8.76
<i>P. cooperi</i>	83.39	9.67	1.82	8.09	34.48	5.83	7.86
<i>Q. rugosa</i>	55.54	6.44	1.26	5.59	50.00	8.45	6.83
<i>J. deppeana</i>	30.36	3.52	0.53	2.37	67.24	11.37	5.75
<i>A. xalapensis</i>	26.07	3.02	0.39	1.74	65.52	11.08	5.28
<i>P. engelmannii</i>	15.89	1.84	0.36	1.61	24.14	4.08	2.51
<i>Pinus</i> spp	1.96	0.23	0.04	0.16	12.07	2.04	0.81
<i>Quercus</i> spp	2.86	0.33	0.07	0.30	10.34	1.75	0.79
<i>A. acuminata</i>	0.36	0.04	0.00	0.01	3.45	0.58	0.21
<i>Alnus</i> sp	1.07	0.12	0.01	0.06	1.72	0.29	0.16
<i>Q. crassifolia</i>	0.18	0.02	0.01	0.03	1.72	0.29	0.11

<i>Q. laeta</i>	0.18	0.02	0.00	0.01	1.72	0.29	0.11
Total	862.68	100.00	22.44	100.00	591.38	100.00	100.00
Bosque de pino-encino (BPQ)							
<i>Q. rugosa</i>	163.24	25.27	3.72	20.79	31.05	6.01	17.36
<i>P. leiophylla</i>	117.58	18.20	3.88	21.70	50.20	9.72	16.54
<i>Q. sideroxylla</i>	115.98	17.95	2.90	16.23	37.30	7.22	13.80
<i>A. xalapensis</i>	62.56	9.68	1.13	6.33	87.70	16.98	11.00
<i>P. teocote</i>	40.57	6.28	1.61	8.98	66.21	12.82	9.36
<i>P. durangensis</i>	46.23	7.16	1.63	9.12	54.69	10.59	8.95
<i>P. engelmannii</i>	35.74	5.53	1.46	8.16	66.60	12.90	8.86
<i>J. deppeana</i>	30.94	4.79	0.47	2.65	59.96	11.61	6.35
<i>Q. durifolia</i>	18.71	2.90	0.59	3.27	26.95	5.22	3.80
<i>Q. laeta</i>	4.98	0.77	0.20	1.13	5.86	1.13	1.01
<i>P. cooperi</i>	1.88	0.29	0.11	0.60	5.08	0.98	0.62
<i>Quercus spp</i>	0.92	0.14	0.02	0.10	6.05	1.17	0.47
<i>Q. eduardii</i>	1.17	0.18	0.03	0.15	4.69	0.91	0.41
<i>Pinus spp</i>	0.98	0.15	0.01	0.07	4.69	0.91	0.38
<i>Q. splendens</i>	2.13	0.33	0.06	0.34	2.15	0.42	0.36
<i>P. ayacahuite</i>	1.00	0.15	0.03	0.19	2.54	0.49	0.28
<i>P. lumholtzi</i>	0.80	0.12	0.02	0.09	2.15	0.42	0.21
<i>Q. crassifolia</i>	0.23	0.04	0.01	0.08	0.59	0.11	0.08
Otras hojosas	0.21	0.03	0.00	0.02	0.78	0.15	0.07
<i>Alnus sp</i>	0.08	0.01	0.00	0.01	0.78	0.15	0.06
<i>Cupresus sp</i>	0.02	0.00	0.00	0.00	0.20	0.04	0.01
<i>A. acuminata</i>	0.02	0.00	0.00	0.00	0.20	0.04	0.01
Total	645.96	100.00	17.87	100.00	516.41	100.00	100.00
Bosque de encino-pino (BQP)							
<i>Q. rugosa</i>	132.14	30.68	3.16	24.52	94.90	15.35	23.52
<i>P. leiophylla</i>	59.90	13.91	2.17	16.88	80.61	13.04	14.61
<i>Q. sideroxylla</i>	51.63	11.99	1.59	12.31	91.84	14.85	13.05
<i>A. xalapensis</i>	60.10	13.95	1.05	8.12	86.73	14.03	12.03
<i>Q. durifolia</i>	30.10	6.99	0.99	7.66	51.02	8.25	7.63
<i>P. teocote</i>	22.45	5.21	1.07	8.31	48.98	7.92	7.15
<i>P. engelmannii</i>	21.53	5.00	1.06	8.20	47.96	7.76	6.98
<i>P. durangensis</i>	20.31	4.71	0.95	7.34	40.82	6.60	6.22
<i>Q. eduardii</i>	13.78	3.20	0.42	3.27	12.24	1.98	2.82
<i>Quercus sp</i>	3.98	0.92	0.11	0.84	20.41	3.30	1.69
<i>J. deppeana</i>	6.63	1.54	0.10	0.76	15.31	2.48	1.59
<i>Pinus sp</i>	3.47	0.81	0.09	0.73	15.31	2.48	1.34
<i>Q. splendens</i>	2.35	0.54	0.06	0.49	3.06	0.50	0.51
<i>P. lumholtzi</i>	1.33	0.31	0.03	0.20	6.12	0.99	0.50
<i>Q. crassifolia</i>	0.82	0.19	0.02	0.19	2.04	0.33	0.24
<i>Q. laeta</i>	0.10	0.02	0.02	0.13	1.02	0.17	0.10
<i>P. chihuahuana</i>	0.10	0.02	0.00	0.03	1.02	0.16	0.02
Total	430.71	100.00	12.88	100.00	618.37	100.00	100.00

Donde: N ha⁻¹; número de árboles por ha, AR; abundancia relativa, AB m² ha⁻¹; área basal en metros cuadrados por hectárea, DR; dominancia relativa, Fabs; frecuencia absoluta, FR; frecuencia relativa, IVI; Índice de Valor de Importancia.

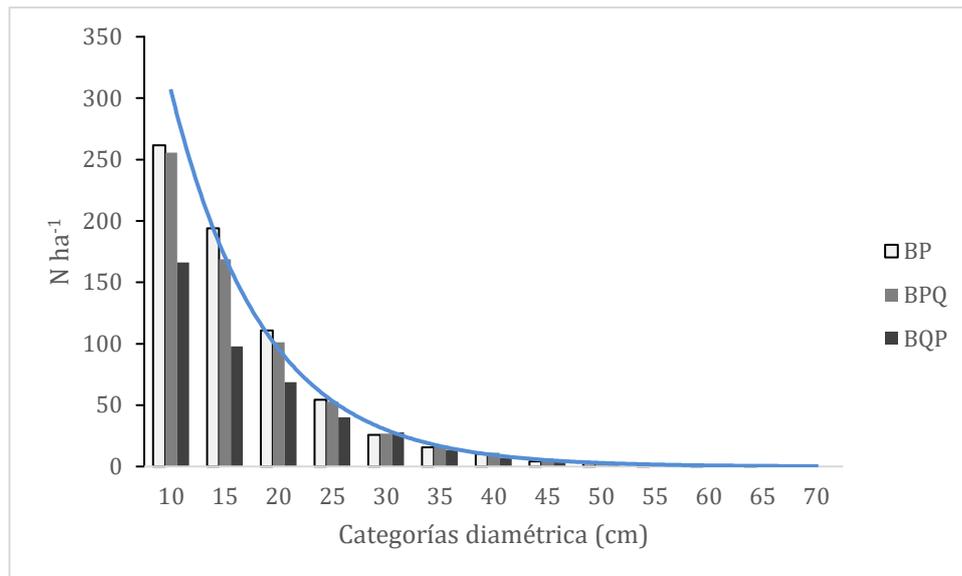


Figura 2. Número de árboles por categoría diamétrica para los tres tipos de vegetación en el ejido Adolfo Ruíz Cortines de la localidad de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Figure 2. Number of trees by diameter category for the three types of vegetation in the Adolfo Ruiz Cortines ejido in the town of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Estructura vertical

El área de BQP presentó un valor de $A=2.54$ mediante el índice de *Pretzsch*, este valor resultó ser mayor al encontrado en BP y BPQ, los cuales obtuvieron valores de $A=2.43$ y $A=2.28$, respectivamente. Sin embargo, los valores de A_{max} resultaron ser mayor en BPQ (4.19), proveniente del registro de 22 especies.

Los valores de A_{rel} cercanos a un valor máximo del 100% que indican que todas las especies se encuentran distribuidas en forma equitativa en los tres estratos de altura demostraron que en este estudio el BQP presentó mayor equitatividad entre los estratos de altura, y una A_{rel} de 64.48%, seguido de BP con un A_{rel} de 63.68%. El BPQ registró un A_{rel} de 54.34%, las diferencias entre los tipos de vegetación se deben a la altura máxima registrada, la cual es mayor en BPQ (tabla 5). De manera general y para los tres tipos de vegetación se presenta una comunidad vegetal no uniforme en cuanto a las alturas. Para BP y BPQ se presentaron el 100% de las especies en el estrato inferior, mientras que, en la vegetación de BQP no se encontró *Q. laeta* que resultó en un 94.12% de presencia de especies.

La figura 3 representa las categorías de altura en los tres tipos de vegetación; se demuestra un alto porcentaje en las categorías menores indicando que la comunidad vegetal evaluada contiene rodales jóvenes.

Tabla 5. Valores del índice de distribución vertical de *Pretzsch* para los tres tipos de vegetación en el ejido Adolfo Ruíz Cortines de la localidad de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Table 5. Values of the *Pretzsch* vertical distribution index for the three types of vegetation in the Adolfo Ruiz Cortines ejido in the town of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Tipo de vegetación	Altura (m)				<i>Pretzsch</i>		
	Min	Max	\bar{x}	SD	A	A_{max}	A_{rel} (%)
BP	1.8	22.8	8.36	3.78	2.43	3.81	63.86
BPQ	1.8	31	7.74	3.66	2.28	4.19	54.34
BQP	1.8	22	8.08	3.69	2.54	3.93	64.48

Donde: Min: valor mínimo; Max: valor máximo; \bar{x} : media; SD: desviación estándar.

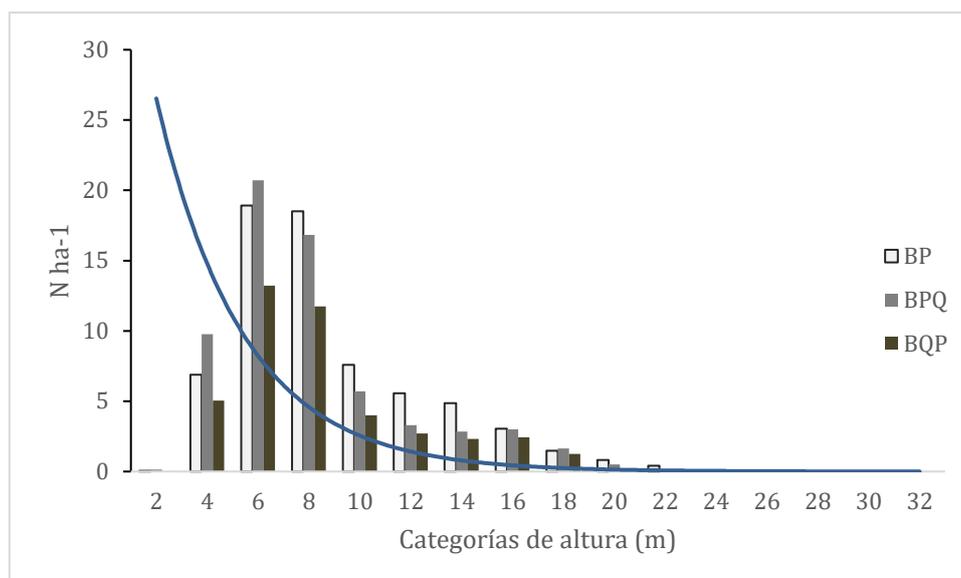


Figura 3. Número de árboles por categoría de altura para las especies arbóreas del ejido Adolfo Ruíz Cortines de la localidad de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

Figure 3. Number of trees by height category for tree species of the Adolfo Ruiz Cortines ejido in the town of El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.

DISCUSIÓN

Diversidad, dominancia y riqueza de especies

El valor del índice de Shannon varía entre 1 y 5, y considera baja diversidad valores menores a 2, una diversidad media entre 2 y 3.5 y diversidad alta mayores a 3.5 (Graciano *et al.*, 2017; Margalef, 1972; Medrano-Meraz *et al.*, 2017). Por lo tanto, BP es considerada de baja diversidad ($H' = 1.9$); mientras que, para BPQ y BQP se cuenta con diversidad media ($H' = 2.09$ y $H' = 2.12$, respectivamente), estos valores son superiores a los registrados por Delgado-Zamora *et al.* (2016); Graciano *et al.* (2017) y Návar-Cháidez & González-Elizondo, (2009) en bosques templados del estado de Durango, pero menores al registrado por Medrano-Meraz *et al.* (2017) en un gradiente altitudinal de 1 500 m a 2 700 m en la región de Pueblo Nuevo. Dávila-Lara *et al.* (2019); Hernández-Salas *et al.* (2013); López-Hernández *et al.* (2017); Manzanilla-Quijada *et al.* (2020), reportaron valores del índice de Shannon menores a los registrados en este estudio para regiones de los estados de Chihuahua, Puebla, San Luis Potosí y Nuevo León, respectivamente, indicando que los bosques del estado de Durango y en particular del municipio de Pueblo Nuevo tienen mayor diversidad de especies.

Por otra parte, los valores del índice de dominancia de Simpson: $D = 0.15$ y $D = 0.16$ para BPQ y BQP, respectivamente, son menores al registrado por Medrano-Meraz *et al.* (2017) en un gradiente altitudinal de 2 700 m a 3 000 m ($D = 0.18$), valor cercano a BP ($D = 0.19$) en este estudio, indicando que existe clara dominancia de alguna especie, *P. durangensis* para este estudio con un IVI de 37.16%

De acuerdo con el índice de Margalef, los valores registrados $D_{Mg} = 2.07$ en BP, $D_{Mg} = 3.25$ en BPQ y $D_{Mg} = 2.64$ en BQP son mayores a estudios realizados en áreas de la misma región a este estudio: Graciano *et al.* (2017), obtuvieron un $D_{Mg} = 1.53$ en un ejido denominado La Victoria, mientras que, Návar-Cháidez & González-Elizondo, (2009) reportaron un valor de $D_{Mg} = 0.73$ para el municipio de San Dimas, Durango. Silva-García *et al.* (2021) con un valor de $D_{Mg} = 3.78$, en el ejido Pueblo Nuevo, Durango, demuestran una mayor riqueza de especies, al igual que, Ríos-Saucedo *et al.* (2019) para el municipio de San Dimas, Durango ($D_{Mg} = 5.42$).

Las discrepancias entre los resultados obtenidos en los índices de este estudio y diversos autores se deben a la superficie muestreada y la clasificación de los tipos vegetación, además

de la importancia del registro de todas las especies y no agrupar por género diversos taxones, ya que los índices de diversidad basan sus resultados comparativos en la abundancia relativa de las especies y la proporción total de sus árboles.

Estructura horizontal

El número de árboles por ha fue mayor en el BP (862.68), donde el género *Pinus* presentó una abundancia relativa (AR) de 70.17% superior a los géneros *Quercus*, *Juniperus*, *Alnus* y *Arbutus*. Por otra parte, en BPQ se contó con 645.96 árboles por ha⁻¹, donde *Pinus* presentó una AR de 37.89%, sin embargo, en este tipo de vegetación *Quercus* obtuvo una AR mayor (47.58%), los géneros *Juniperus*, *Alnus*, *Arbutus*, *Cupressus* y el taxón de Otras hojosas complementaron el 100% de AR con el 14.53% restante. Finalmente, para BQP *Quercus* obtuvo una AR de 54.54% sobre *Pinus*, *Juniperus* y *Arbutus*. Los géneros dominantes en este estudio coinciden con diversos autores, quienes reportan una clara abundancia de estos en bosques de clima templado (Graciano *et al.*, 2017; Monarrez-Gonzalez *et al.*, 2020; Silva-García *et al.*, 2021; Silva-González *et al.*, 2021). De acuerdo con el orden jerárquico las familias Fagaceae y Pinaceae han sido reportadas en otros estados como los de mayor representatividad para bosques de clima templado en México: Dávila-Lara *et al.* (2019); Hernández-Salas *et al.* (2013); López-Hernández *et al.* (2017); Manzanilla-Quijada *et al.* (2020); Rascón-Solano *et al.* (2022); Vásquez-Cortez *et al.* (2018), resultados similares a los registrados en este estudio.

Con base en las distribuciones de las categorías diamétricas se muestra una línea de tendencia exponencial con la mayoría de los árboles en las categorías diamétricas inferiores, característica de rodales jóvenes. Otros estudios con resultados similares para bosques de clima templado son los reportados por Graciano-Ávila *et al.* (2020); López-Hernández *et al.* (2017) y Silva-García *et al.* (2021) quienes mencionan que al abrir claros en el rodal como consecuencia del manejo forestal se crean condiciones para el establecimiento de pinos. En este estudio y como consecuencia del manejo forestal operado con MMOBI (Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares) se crean condiciones para el establecimiento de los géneros *Pinus* y *Quercus*, especies dominantes respecto a la abundancia absoluta, característica observada en los tipos de vegetación de BPQ y BQP.

El AB registrada en este estudio en los tres tipos de vegetación de 22.44 m² ha⁻¹, 17.87 m² ha⁻¹ y 12.88 m² ha⁻¹, para BP, BPQ y BQP, respectivamente, es menor a la registrada por Domínguez-Gómez *et al.* (2018) quienes reportan un AB de 46.38 m² ha⁻¹, en un estudio donde se ubicaron 10 parcelas de muestreo al azar, con dimensiones de 100 m² dentro de una parcela previamente establecida de 2 500 m², para el ejido Adolfo Ruíz Cortines lugar donde se llevó a cabo la presente investigación, las diferencias registradas de AB se deben a la superficie muestreada, destacando la importancia de realizar investigaciones sobre evaluación de estructura horizontal y variables dasométricas con grandes superficies. Monarrez-Gonzalez *et al.* (2020) registraron un AB de 18.96 m² ha⁻¹ en una propiedad denominada Molinillos de Durango, México; Graciano-Ávila *et al.* (2020) obtuvieron un AB de 19.99 m² ha⁻¹ en el año 2007 que ascendió a 24.07 m² ha⁻¹ para el año 2017 en el ejido San Esteban y Anexos del municipio de Pueblo Nuevo, Durango, valores mayores a los reportados en este estudio para las áreas de BPQ y BQP, mientras que, Silva-García *et al.* (2021) reportaron un AB de 12.88 m² ha⁻¹ para la misma región, mismo valor registrado en el BQP. Se registró una mayor AB en el BP, seguida de la asociación BPQ, y menor en BQP, por lo que existe un mayor incremento donde domina el género *Pinus*, ya que en el BPQ la dominancia relativa respecto al AB de *Pinus* fue superior a *Quercus*, a pesar de que existieron más individuos de encinos.

En BP, *P. leiophylla* presentó la mayor frecuencia relativa (FR), seguido de *P. durangensis*. Evidentemente el género *Pinus* obtuvo un 53.06% de FR. Por otra parte, en BPQ *A. xalapensis* se presentó con mayor recurrencia (16.09%), seguido por *P. teocote* y *P. engelmannii* con FR de 12.82% y 12.90%, respectivamente. *Pinus* presentó un 48.82 %, *Quercus* un 22.2% y *A. xalapensis* 16.09% en este tipo de vegetación. Finalmente, en BQP *Q. rugosa* y *Q. sideroxyla* presentaron un 15.35% y 14.85% de FR, seguido de *A. xalapensis* y *P. leiophylla* con 14.85% y 13.04%, de manera integral el género *Quercus* obtuvo una FR de 44.64%, *Pinus* 38.88% y *A. xalapensis* 14%. Hernández-Salas *et al.* (2013), reportaron a *P. arizonica* con mayor FR para el estado de Chihuahua; López-Hernández *et al.* (2017), para

bosques templados de Puebla presentaron a *Pinus montezumae* con valores de FR de 35.44%; Dávila-Lara *et al.* (2019), presentaron a *Pinus teocote* y *Pinus devoniana* con mayor FR para el estado de San Luis Potosí. Para la región de El Salto se han reportado a *Pinus cooperi* y *Arbutus xalapensis* como especies con mayor FR por Graciano *et al.* (2017) y Silva-García *et al.* (2021), respectivamente, resultados diferentes a los reportados en este estudio.

Respecto al IVI *P. durangensis* presentó 27.16% en BP, mientras que, en BPQ y BQP sobresalió *Q. rugosa* con 17.36% y 23.52%, respectivamente. Vásquez-Cortez *et al.* (2018) reportaron a *P. pseudostrobus*, *Q. laurina* y *Q. crassifolia* en el estado de Oaxaca; López-Hernández *et al.* (2017), registraron a *P. montezumae* y *Abies religiosa* para el estado de Puebla; Rendón-Pérez *et al.* (2021), registraron a *P. montezumae* en un área dominada por *Pinus-Quercus* en el estado de Hidalgo; Hernández-Salas *et al.* (2013), reportaron a *P. arizonica* en Chihuahua; Dávila-Lara *et al.* (2019), a *P. teocote* y *P. devoniana* en San Luis Potosí; Graciano *et al.* (2017), a *P. cooperi* en Durango y Graciano-Ávila *et al.* (2020) a *P. durangensis*; Rascón-Solano *et al.* (2022) y Silva-García *et al.* (2021), reportaron a *P. durangensis* en Durango y Chihuahua. Manzanilla-Quijada *et al.* (2020), reportaron a *P. teocote* y *Q. mexicana*, mientras que, Alanís-Rodríguez *et al.* (2018; 2020), reportaron a *Q. rysophylla* en un área post-incendio para Nuevo León como las especies con mayor IVI. A pesar de que en el área de BPQ se reportó a *Q. rugosa* como la especie de mayor importancia ecológica, el género *Pinus* presentó un 45.21% sobre un 37.29% de *Quercus*, en contraste, en BQP *Quercus* obtuvo un IVI de 49.53% y *Pinus* 36.85%. Los resultados obtenidos en este estudio muestran las dominancias jerárquicas de cada tipo de vegetación de acuerdo con su género dominante.

Estructura vertical

En BP el valor de $A_{max}=3.81$, se encuentra entre los reportados por Graciano-Ávila *et al.* (2020; 2017), (valores de $A_{max}=3.58$ y $A_{max}=3.87$), mientras que, los valores de las áreas de BPQ y BQP de $A_{max}=4.19$ y $A_{max}=3.93$ son mayores, aunque menores al reportado por Silva-García *et al.* (2021) ($A_{max}=4.46$), para comunidades vegetales cercanas al área de este estudio. Diversos estudios en bosques templados de México describen una mayor heterogeneidad biológica en el estrato bajo y medio, consecuentemente se origina a partir de la composición y presencia de especies que definen la estructura vertical (Dávila-Lara *et al.*, 2019; Graciano-Ávila *et al.*, 2020; Graciano *et al.*, 2017; Jiménez-Pérez *et al.*, 2001; Manzanilla-Quijada *et al.*, 2020; Silva-García *et al.*, 2021) lo anterior coincide con los resultados de este estudio, presentado un mayor número árboles en las zonas bajas para los tres tipos de vegetación.

CONCLUSIONES

La diversidad de especies evaluada en los tres tipos de vegetación en el ejido Adolfo Ruíz Cortines es considerada media de acuerdo con el índice de diversidad de Shannon y el índice de riqueza de especies de M, además, existe una heterogeneidad de especies basando este análisis en el índice de dominancia.

Para BPQ y BQP el género *Quercus* presentó el mayor número de árboles por hectárea, sin embargo, *Pinus* presentó la mayor AB generando una mayor abundancia.

El índice vertical de especies muestra un dominio del estrato bajo, en él se encuentran todas las especies registradas; tomando como referencia los gráficos se puede apreciar grandes cantidades de árboles en las categorías de diámetro y de altura inferiores.

La importancia de la evaluación estructural y un análisis dasométrico a través de diversos índices y parámetros proporcionan un marco de referencia analítico sobre cómo se conforma la estructura arbórea de los tres tipos bosques del ejido Adolfo Ruíz Cortines, lo que servirá como base para futuras tomas de decisiones sobre manejo forestal.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) por el apoyo financiero otorgado al primer autor para estudiar en el programa de Doctorado en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Al Tecnológico Nacional de México en su programa “Proyectos de Desarrollo Tecnológico e Innovación” con el proyecto “Planeación de Buenas Prácticas para Conservación de la Biodiversidad, Mediante (SIG) en el ejido Adolfo Ruíz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango”, del cual se derivó la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Calderón, O. A. (2015). Manejo Forestal en el Siglo XXI. *Madera y Bosques*, 21, 17–28. <https://doi.org/10.21829/myb.2015.210423>
- Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., & Marroquín-de la Fuente, J. S. (2020). Muestreo ecológico de la vegetación. *Editorial Universitaria de La Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N.L., México, July*, 245. <https://www.researchgate.net/publication/343137042>
- Castellanos-Bolaños, J. F., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., Musalem-Santiago, M., & López-Aguillón, R. (2008). Estructura de bosques de pino pátula bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 14(2), 51–63. <https://doi.org/10.21829/myb.2008.1421212>
- Corral-Rivas, J. J., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., & Corral-Rivas, S. (2005). Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña «El Cielo», Tamaulipas, México. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 14(2), 217–228. <https://doi.org/10.5424/srf/2005142-00885>
- Dávila-Lara, M. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., Jurado-Ybarra, E., Treviño-Garza, E., González-Tagle, M. A., & Trincado, G. (2019). Estructura y diversidad de especies arbóreas en bosques templados de San Luis Potosí, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18), 399–409. <https://doi.org/10.19136/ERA.A6N18.2112>
- Del-Val, E., & Sáenz-Romero, C. (2017). Insectos Descortezadores (Coleoptera: Curculionidae) Y Cambio Climático: Problemática Actual Y Perspectivas En Los Bosques Templados. *TIP. Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 20(2), 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2017.04.006>
- Delgado-Zamora, D. A., Heynes-Silerio, S. A., Mares-Quiñones, M. D., Piedra-Leandro, N. L., Retana-Renteria, F. I., Rodríguez-Corral, K., Villanueva-Hernández, A. I., González-Elizondo, M. S., & Raucho-González, L. (2016). Diversidad y estructura arbórea de dos rodales en Pueblo Nuevo, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(33), 94–107. <https://pdfs.semanticscholar.org/f78c/f319cc8662c94ffa14b661b06e822f170f4c.pdf>
- Domínguez-Gómez, T. G., Hernández-González, B. N., González-Rodríguez, H., Cantú-Silva, I., Alanís-Rodríguez, E., & Alvarado, M. S. (2018). Estructura y composición de la vegetación en cuatro sitios de la Sierra Madre Occidental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50), 9–34. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.227>
- García, E. (1981). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Editado por la autora. México, D. F.*
- Graciano-Ávila, G., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O. A., González-Tagle, M. A., Treviño-Garza, E. J., Mora-Olivo, A., & Corral-Rivas, J. J. (2020). Cambios estructurales de la vegetación arbórea en un bosque templado de Durango, México. *Acta Botánica Mexicana*, 127. <https://doi.org/10.21829/ABM127.2020.1522>
- Graciano, Á. G., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., & Lujan-Soto, J. E. (2017). Composición, estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del Noroeste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 535–542. <https://doi.org/10.19136/ERA.A4N12.1114>
- Hernández-Salas, J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., Luján-Álvarez, C., Olivas-García, J. M.,

Recibido:
24/diciembre/2023

Aceptado:
20/junio/2024

- & Domínguez-Pereda, L. A. (2018). Dinámica del crecimiento de un bosque templado bajo manejo en el noroeste de México. *Madera y Bosques*, 24(2). <https://doi.org/10.21829/MYB.2018.2421767>
- Hernández-Salas, J., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., Luján-Álvarez, C., Olivas-García, J. M., & Domínguez-Pereda, L. A. (2013). Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 19(3), 189–199. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.052>
- Jiménez-Pérez, J., Aguirre-calderón, O. A., & Kramer, H. (2001). Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. *Researchgate.Net*. https://www.researchgate.net/publication/28052703_Analisis_de_la_estructura_horiz_ontal_y_vertical_en_un_ecosistema_multicohortal_de_pino-encino_en_el_norte_de_Mexico
- López-Hernández, J. A., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Monárrez-González, J. C., González-Tagle, M. A., & Jiménez-Pérez, J. (2017). Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y Bosques*, 23(1), 39–51. <https://doi.org/10.21829/MYB.2017.2311518>
- Magurran, A. E. (1988). Diversidad ecológica y su medición. *Princeton University Press*, 200p. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=CuU9DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP9&dq=Magurran,+A.E.+1988.+Ecological+diversity+and+its+measurement.+Princeton+University+Press.+200+p.&ots=WBYe25HRDa&sig=nSZFWKMm-6i0uusLM4kL3hAZ3k0>
- Manzanilla-Quijada, G. E., Mata Balderas, J. M., Treviño Garza, E. J., Aguirre Calderón, Ó. A., Alanís Rodríguez, E., & Yerena Yamallel, J. I. (2020). Diversidad, estructura y composición florística de bosques templados del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.703>
- Margalef, R. (1972). Homage to E. Hutchison, or why is there an upper limit to diversity. No Title. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, 44, 211–235.
- Medrano-Meraz, M. J., Hernández, F. J., Corral-Rivas, S., & Nájera-Luna, J. A. (2017). Diversidad arbórea a diferentes niveles de altitud en la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(40), 57–68.
- Monarrez-Gonzalez, J. C., Gonzalez-Elizondo, M. A., Marquez-Linares, A., Gutierrez-Yurritaid, P. J., & Perez-Verdinid, G. (2020). Effect of forest management on tree diversity in temperate ecosystem forests in northern Mexico. *PLoS ONE*, 15(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233292>
- Moreno, E. C. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *M&T – Manuales y Tesis SEA*, 1(January 2001), 86. <http://www.observatorioirsb.org/cmsAdmin/uploads/m-todos-biodiversidad.pdf>
- Návar-Cháidez, J. J., & González-Elizondo, S. (2009). Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. *Polibotánica*, 71–87. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-27682009000100005&script=sci_abstract&tlng=pt
- Rascón-Solano, J., Galván-Moreno, V. S., Aguirre-Calderón, O. A., & García-García, S. A. (2022). Caracterización estructural y carbono almacenado en un bosque templado frío censado en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(70). <https://doi.org/10.29298/RMCF.V13I70.1123>
- Rendón-Pérez, M. A., Hernández-de la Rosa, P., Velázquez-Martínez, A., Alcántara-Carbajal, J. L., & Reyes-Hernández, V. J. (2021). Composición, diversidad y estructura de un bosque manejado del centro de México. *Madera y Bosques*, 27(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712127>
- Ríos-Saucedo, J. C., Valenzuela-Núñez, L. M., & Rosales-Serna, R. (2019). Evaluación de la biodiversidad vegetal en área de bosque templado en Durango, México. *Universidad Galileo Galilei Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Ciencia e Innovación*, 2(1), 185–206.
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). The Theory of Mathematical Communication. *International Business*, 131. https://pure.mpg.de/rest/items/item_2383164_3/component/file_2383163/content
- Silva-García, J. E., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Jurado-Ybarra, E., Jiménez-Pérez, J., & Vargas-Larreta, B. (2021). Estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del noroeste de México. *Polibotánica*, 52, 89–102.

<https://doi.org/10.18387/polibotanica.52.7>

- Silva-González, E., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., Alanís-Rodríguez, E., & Corral-Rivas, J. J. (2021). Efecto de tratamientos silvícolas en la diversidad y estructura forestal en bosques templados bajo manejo en Durango, México. *Madera y Bosques*, 27(2), 1–14. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722082>
- Solís-Moreno, R., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., Jiménez-Pérez, J., Jurado-Ybarra, E., & Corral-Rivas, J. (2006). Efecto de dos tratamientos silvícolas en la estructura de ecosistemas forestales en Durango, México. *Madera y Bosques*, 12(2), 49–64. <https://doi.org/10.21829/myb.2006.1221242>
- Vásquez-Cortez, V. F., Clark-Tapia, R., Manzano-Méndez, F., González-Adame, G., & Aguirre-Hidalgo, V. (2018). Estructura, composición y diversidad arbórea y arbustiva en tres condiciones de manejo forestal de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Madera Bosques*, 24(3), 1–13. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431649>

DIVERSIDAD DE LA VEGETACIÓN A TRAVÉS DE UN GRADIENTE DE HUMEDAD DEL OASIS SAN IGNACIO, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

VEGETATION DIVERSITY THROUGH A HUMIDITY GRADIENT OF SAN IGNACIO OASIS, BAJA CALIFORNIA SUR, MEXICO

Silva-Ávila, Nancy; Francisco Javier Hernández; Juan Abel Nájera-Luna y Carlos Enrique Aguirre-Calderón

DIVERSIDAD DE LA VEGETACIÓN A TRAVÉS DE UN GRADIENTE DE HUMEDAD DEL OASIS SAN IGNACIO, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

VEGETATION DIVERSITY THROUGH A HUMIDITY GRADIENT OF SAN IGNACIO OASIS, BAJA CALIFORNIA SUR, MEXICO



Diversidad de la vegetación a través de un gradiente del humedal Oasis San Ignacio, Baja California Sur, México

Vegetation diversity through a humidity gradient of San Ignacio Oasis, Baja California Sur, Mexico

Nancy Silva Ávila;
Francisco Javier Hernández;
Juan Abel Nájera Luna y
Carlos Enrique Aguirre Calderón

DIVERSIDAD DE LA
VEGETACIÓN A TRAVÉS
DE UN GRADIENTE DE
HUMEDAD DEL OASIS SAN
IGNACIO, BAJA
CALIFORNIA SUR, MÉXICO

VEGETATION DIVERSITY
THROUGH A HUMIDITY
GRADIENT OF SAN
IGNACIO OASIS, BAJA
CALIFORNIA SUR, MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 119-133. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.8

Nancy Silva Ávila <https://orcid.org/0009-0002-6777-998X>

Francisco Javier Hernández

Autor de correspondencia: fcojhernan@yahoo.com.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0480-624X>

Juan Abel Nájera Luna <https://orcid.org/0000-0002-3989-3323>

Carlos Enrique Aguirre-Calderón <https://orcid.org/0000-0003-4226-359X>

TecNM/Instituto Tecnológico de El Salto. División de Estudios de Posgrado e Investigación. El Salto, Durango, México

RESUMEN: La humedad del suelo es un factor ambiental importante que afecta la composición, diversidad y estructura de las comunidades vegetales. Considerando lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar los cambios de diversidad vegetal que ocurren entre la fuente de humedad del Oasis San Ignacio y el desierto circundante de Baja California Sur. El área de estudio se dividió en nueve franjas de 100 m de ancho, sobre las cuales se seleccionaron aleatoriamente 140 sitios de 500, 20 y 1 m² para registrar las especies vegetales de los estratos arbóreos, arbustivos y herbáceos, respectivamente. Se estimaron los índices de riqueza, diversidad de Shannon-Weiner, dominancia de Simpson, equidad de Pielou y valor verdadero de especies y se evaluaron los cambios entre las franjas establecidas. A su vez, se estimó el índice cualitativo de similitud de especies de Sørensen, generándose dendrogramas para agrupar comunidades vegetales similares establecidas sobre el gradiente estudiado. La riqueza y diversidad de las especies del estrato herbáceo y arbustivo decrecen abruptamente a los 520 y 720 m del cuerpo de agua, respectivamente. La riqueza y diversidad de la vegetación del estrato arbóreo no presenta una tendencia definida. El índice de similitud permitió concentrar las especies del estrato herbáceo, arbustivo y arbóreo en 4, 5 y 3 grupos, respectivamente. Los análisis de diversidad, sugieren que las especies herbáceas y arbustivas son más sensibles a los cambios de humedad que las arbóreas.

Palabras clave: Riqueza de especies, desierto, dendrograma, índices de Shannon, índice de Simpson, índice de Sorensen.

ABSTRACT: Soil humidity is an important environmental factor that affect composition, diversity and structure of the vegetal communities. The objective of the present study was to determine the diversity changes that occur over an environmental gradient limited by the source of water of the oasis San Ignacio and the adjoining desert of Baja California Sur, Mexico. The study area was divided in nine strips of 100 m width. Over them, there were randomly selected 140 plots of 500, 20 and 1 m² to register the vegetal species present in the tree, shrub and herbaceous layers, respectively. Species richness, Shannon-Weiner diversity, Simpson dominance, Pielou equity and true species value indexes were estimated and compared between established strips. The qualitative index of Sørensen was estimated to evaluate species similitude and similar communities were grouped applying dendrograms. The species richness of the herbaceous and shrub layers falls abruptly at 520 and 720 m far away from the source of water. Species richness and diversity in the tree layer presented an undefined tendency. The similitude index allowed to concentrate the herbaceous, shrub and tree vegetation layers in 4, 5 and 3 clusters. This diversity analysis suggests to determine that herbaceous and shrub species are more sensitive to humidity changes than arboreal species.

Key words: Species richness, desert, dendrogram, Shannon index, Simpson index, Sorensen index.

INTRODUCCIÓN

La formulación de planes de manejo y de conservación de especies vegetales, la explicación del desplazamiento temporal-espacial de especies como consecuencia de cambios ambientales naturales y antropogénicos y la estabilización de los componentes del ecosistema requieren del conocimiento de la relación que existe entre las especies y el medio ambiente. En este sentido, la composición y estructura de la vegetación se puede atribuir a la interacción de los factores ambientales atmosféricos y del suelo tales como radiación solar, temperatura, precipitación, humedad relativa del aire, propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como a la aplicación de tratamientos que se le da al suelo y a la vegetación con fines de restauración, protección, conservación y aprovechamiento (Mitsch & Gosselink, 2015; Olthoff *et al.*, 2016). De igual manera, las funciones fisiológicas y las características morfológicas de la vegetación contribuyen en la estabilización funcional del ecosistema, el cual es vulnerable a los cambios de diversidad (Schleuter *et al.*, 2010).

Dentro de las zonas áridas se encuentran humedales conocidos como oasis, los cuales albergan vegetación natural e inducida que contrasta con la del desierto circundante. La diversidad de características hidro-geomorfológicas que existen entre el ambiente húmedo de los oasis y el seco del desierto propician variaciones ambientales que influyen de manera determinante en la riqueza, diversidad y estructura de la vegetación (León de la Luz & Domínguez, 2006). Particularmente, la disponibilidad de agua en el suelo es un factor determinante en la continuidad espacial y temporal de las especies vegetales (Anderson & Lockaby, 2011; Courtwright & Findlay, 2011). En el caso de las áreas que delimitan cada oasis, los factores ambientales tales como la radiación solar, temperatura, precipitación, elevación, pendiente y exposición presentan muy poca variación; en contraste, la humedad del suelo, por presentar mayor variación al ir disminuyendo de las áreas rivereñas del oasis a la parte circundante del desierto, puede relacionarse con los cambios de riqueza y diversidad de vegetación que suceden entre los cuerpos de agua que dan vida a los oasis y el límite inmediato del desierto circundante (Austin, 2002; Dubuis *et al.*, 2013; Yao *et al.*, 2021; Zeng *et al.*, 2020).

En Baja California Sur se encuentra el Oasis San Ignacio, el cual, por su importancia en el desarrollo socioeconómico de la región y por los servicios ecosistémicos que aporta, ha sido estudiado como húmedal (Cariño-Olvera & Monteforte-Sánchez, 2018; Diaz & Troyo, 1997); sin embargo, son limitados los estudios que han evaluado los cambios en riqueza y diversidad de especies vegetales así como su distribución en función de fronteras delimitadas por algún gradiente que prevalece entre el área húmeda del oasis y la seca del desierto adyacente (Arriaga *et al.*, 1977). Considerando lo anterior, el propósito del presente trabajo fue describir los cambios en la riqueza y diversidad de especies vegetales que ocurren a través del gradiente ambiental delimitado entre la fuente de abastecimiento de agua del Oasis San Ignacio del estado de Baja California y las áreas desérticas que lo delimitan y agrupar a la vegetación herbácea, arbustiva y arbórea por niveles de similitud.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área del Oasis San Ignacio se ubica en el municipio de Mulegé, entre las Serranías de las Vírgenes San Francisco de la Sierra y la Sierra de Guadalupe, al norte del estado de Baja California Sur (Figura 1). La elevación promedio del oasis es de 135 m. Los márgenes del arroyo San Ignacio que dan forma al oasis, de una extensión aproximada de 2.6 km², se encuentra poblado de vegetación mesófila representada por palmas nativas y no nativas, la cual contrasta con la vegetación xerófila del desierto adyacente.

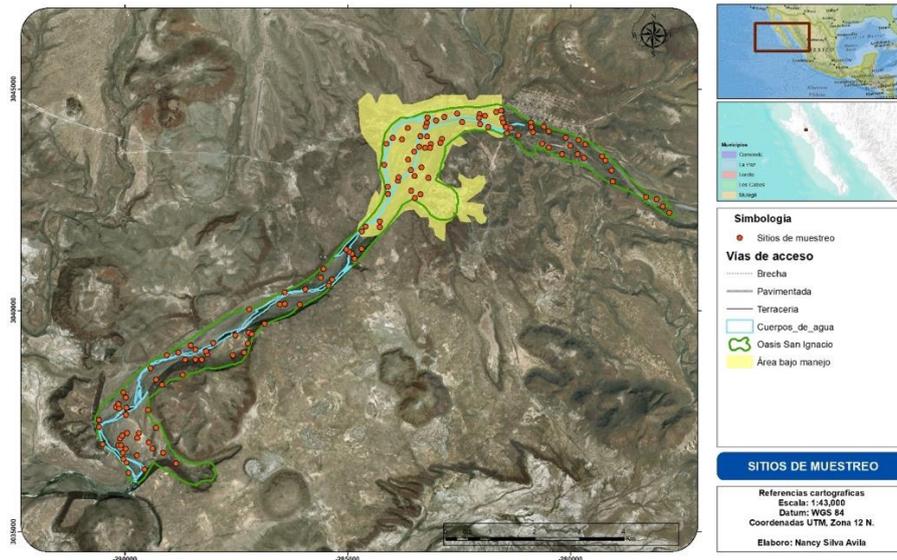


Figura 1. Ubicación del área de estudio y de los sitios de muestreo.

Figure 1. Location of the study area and the sampling sites.

El oasis se encuentra dentro de la Región Hidrológica No. 2, Baja California Centro-Oeste, Cuenca San Ignacio, Lago San Ignacio-Arroyo San Raymundo (CONAGUA, 2018). De acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificada por García (2004), se encuentran dos tipos de climas: a) $BWhw(x')$ y b) $BW(h')hs(x)$; el primero, representando el 25% de la superficie del oasis, se caracteriza por ser muy árido y semicálido, mientras que el segundo, representando el 75% de la superficie, se caracteriza por ser muy seco semicálido, árido y cálido. En ambos, la temperatura promedio oscila entre los 18 y 22 °C y la precipitación media anual es cercana a los 100 mm. La presencia de la vegetación permite que las condiciones microclimáticas del oasis representadas por la temperatura, humedad relativa y viento se comporten casi constantes (López-Fuerte, 2009). De acuerdo a la Carta de Uso de Suelo y Vegetación (INEGI, 2013), en el área de estudio se encuentra vegetación de galería, matorral sarcocaula y agricultura de riego. Biogeográficamente, los humedales, y en particular el Oasis San Ignacio alberga especies de flora y fauna de afinidad métrica que contrasta con la biota del desierto. Las especies vegetales *Washingtonia robusta* H. Wendl. y *Phoenix dactylifera* L. son las especies de mayor valor estructural y fisiológico dentro del humedal. Los tipos de suelos predominantes del área de estudio se clasifican como Fluvisoles, Leptosoles y Regosoles.

Muestreo

Las corrientes de agua que dan origen a los oasis generan suelos riverños con alto contenido de humedad, la cual va disminuyendo conforme se va alejando de la fuente de agua generando un gradiente de humedad. Considerando este gradiente en sentido perpendicular al río, se delimitaron nueve franjas longitudinales al cause del río de 100 m de ancho. Dentro de las nueve franjas se distribuyeron de manera aleatoria 140 sitios circulares de 500 m² sobre los cuales se anidaron al centro del sitio el mismo número de sitios circulares de 20 m² y cuadrados de 1 m² (Figura 1). Dentro de los sitios de 500 m² se registraron las especies presentes en el estrato arbóreo y en los de 20 m² las especies presentes en el estrato arbustivo (incluye las especies de tipo arbóreo cuya altura total no rebasa la altura máxima de las de tipo arbustivo). En los sitios de 1 m² se registraron las especies de tipo herbáceo presentes dentro de los meses de julio-septiembre, periodo en que se realizó el inventario, así como las de tipo arbustivo y arbóreo que se encuentran en la etapa de regeneración.

Debido a que la distribución de los sitios sobre el área del oasis se realizó de manera aleatoria, el tamaño de muestra varió entre las franjas; sin embargo, éste fue suficiente para registrar a todas las especies presentes dentro de cada una de ellas (Tabla 1). La identificación de las especies se realizó apoyándose en información disponible en FOMIX-2018, (2018), Carabias-Lilo *et al.* (2000), León de la Luz & Coria Benet (1992) por personal que labora en el Proyecto BIOCUMUNI.

Tabla 1. Descriptor de cada franja, distancia a la corriente de agua y tamaño de muestra.**Table 1.** Descriptor of each strip, distance to the water flow and sampling size.

Franja	Distancia a la corriente de agua	No. sitios
A	0-20 m	20
B	120-220 m	28
C	220-320 m	25
D	320-420 m	15
E	420-520 m	15
F	520-620 m	8
G	620-720 m	8
H	720-820 m	9
I	820-920 m	8

Análisis

Utilizando el software PAST v4.15 (Hammer, 2023), se estimaron los índices de riqueza de especies (S), de diversidad de Shannon-Weiner (H') el cual mide el grado promedio de incertidumbre de predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de un grupo, dominancia de Simpson (λ), equidad de Pielou (J') y valor verdadero de especies (${}^1H'$) de cada una de las franjas aplicando las siguientes fórmulas:

$$H' = - \sum p_i \ln(p_i)$$

$$\lambda = 1 - \sum p_i^2$$

$$J' = \frac{H'}{\ln(S)}$$

$${}^1H' = \exp(H')$$

donde: p_i = abundancia proporcional de cada especie, \ln = logaritmo natural y S = número de especies

Los índices de diversidad que se estimaron en cada uno de los niveles del gradiente de humedad de cada tipo de vegetación se compararon entre sí considerando el traslape de los intervalos de confianza a un nivel de significancia de 0.05 aplicando las formulas:

$$IC(\lambda) = \bar{\lambda} \pm 1.96\sqrt{var(\lambda)}$$

$$IC(H') = \bar{H}' \pm 1.96\sqrt{var(H')}$$

donde: $IC(\lambda)$ y $IC(H')$ = intervalos de confianza de los índices de diversidad Simpson y de Shannon-Weiner; $\bar{\lambda}$ y \bar{H}' = promedios de los índices de diversidad de Simpson y Shannon-Weiner; $var(\lambda)$ y $var(H')$ = varianzas de los índices de diversidad de Simpson y Shannon-Weiner, respectivamente.

Los promedios y los errores estándar de los índices de diversidad de Simpson y Shannon-Weiner utilizados en el cálculo de los intervalos de confianza se estimaron siguiendo la metodología de los análisis de rarefacción, los cuales permiten estimar el promedio y los errores estándar de los indicadores de diversidad a través del procedimiento de simulación bootstrap.

En otro orden de ideas, el grado de semejanza de especies entre las diferentes franjas que dividieron el gradiente delimitado se determinó aplicando el índice de similitud/disimilitud cualitativo de Sørensen (IS).

$$IS = \frac{2c}{(a + b)}$$

donde: a = número de especies de la comunidad del nivel A, b = número de especies en la comunidad del nivel B y c = número de especies comunes a ambas comunidades comparadas.

A su vez, se realizaron dendrogramas para determinar y visualizar de manera simultánea la similitud de especies entre los pares y grupos de franjas.

RESULTADOS

Riqueza y Diversidad

La cantidad de especies del estrato herbáceo presentes sobre el gradiente estudiado varió de 4 a 21, el índice de dominancia de Simpson de 0.72 a 0.93 y el de diversidad de Shannon-Wiener de 1.33 a 2.80. La conversión del índice de Shannon-Wiener a número de especies, señala que el valor verdadero de especies entre los niveles varía de 4 a 16. A su vez, el índice de Pielou ($J' > 0.89$), permite deducir que el número de individuos por especie tiende a ser homogéneo en cada nivel del gradiente (Tabla 2).

Tabla 2. Índices de riqueza y diversidad de especies del estrato herbáceo.

Table 2. Species richness and diversity indexes of the herbaceous stratum.

Índices ¹	Franjas								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
S	17	21	21	13	17	5	5	6	4
λ	0.91	0.92	0.93	0.90	0.93	0.80	0.78	0.76	0.72
H'	2.63	2.79	2.80	2.43	2.75	1.61	1.56	1.59	1.33
J'	0.93	0.91	0.92	0.95	0.97	0.97	0.97	0.89	0.96
${}^1H'$	14	16	16	11	16	5	5	5	4

¹ S = riqueza de especies; λ = índice de Simpson; H' = índice de Shannon-Wiener; J' = índice de Pielou; ${}^1H'$ = valor verdadero de especies de Shannon-Wiener

Aunque la riqueza y la diversidad de especies del estrato herbáceo tienden a disminuir a partir de los 220 m de distancia del cuerpo de agua (franja C), se observa que estos indicadores de diversidad disminuyen de manera abrupta al sobrepasar los 420 m (franja E) (Figura 2). De manera particular, se observó que el intervalo de confianza de la riqueza de especies presente dentro de los 0 a 20 m (franja A) se traslapa con los estimados en las franjas de los niveles B, D y E ubicados entre los 20 a 120, 220 a 320 y 320 a 420 m de distancia del cuerpo de agua, respectivamente. A su vez, el intervalo de confianza de la riqueza de especies estimado para la franja B se traslapa con los estimados en las franjas C y E, mientras que los estimados en las franjas D y E así como los que corresponden a las franjas F, G, H e I que se ubicaron entre los 420 y 820 m de distancia del cuerpo de agua también se traslapan, indicando que no existe diferencia significativa ($\alpha = 0.05$) en la riqueza y diversidad de especies entre ninguno de ellos.

El intervalo de confianza del índice de Simpson generó resultados similares a los de Shannon-Wiener, excepto entre la diversidad de especies presente entre los 0 a 20 m (franja A) y 120 a 220 m (franja C), las cuales presentaron diferencias significativas entre sí (Figura 3). De acuerdo a los intervalos de confianza del índice de Simpson, no existe diferencia significativa en la dominancia y diversidad de especies entre las franjas ubicados dentro de los primeros 420 m de distancia del cuerpo de agua (franjas A, B, C, D y E), ni entre las delimitadas entre los 520 a los 820 m de distancia de cuerpo de agua (franjas F, G, H, I). Las estimaciones puntuales del índice de Pielou varían entre franjas; sin embargo, el traslape de los intervalos de confianza indican que el número de individuos por especies es significativamente similar entre ellas.

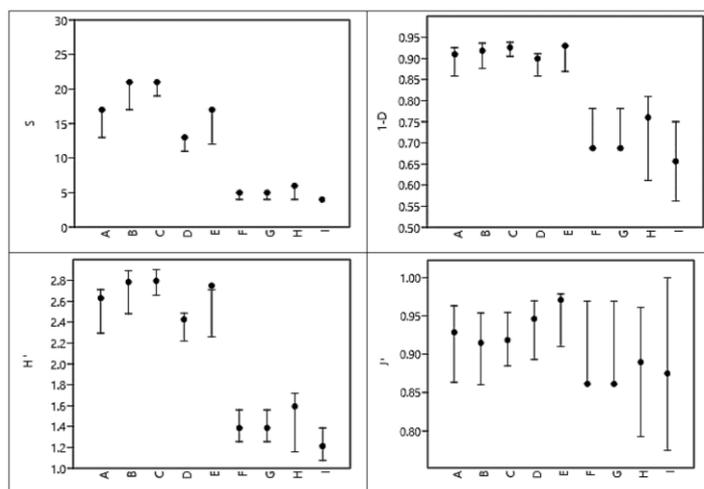


Figura 2. Intervalos de confianza de los índices de riqueza, diversidad y equidad del estrato herbáceo.

Figure 2. Confidence intervals of species richness, diversity and equity indexes of the herbaceous stratum.

Con relación a los índices de riqueza y diversidad de especies del estrato arbustivo, éstos son menores a los estimados en el estrato herbáceo, pero mayores al estrato arbóreo. Al igual que en el estrato herbáceo, en este estrato la riqueza y diversidad de especies disminuyen a medida que las franjas se van alejando del río que alimenta de agua al oasis. La riqueza de especies varía de 7 a 20, la diversidad de Simpson y Shannon-Weiner, de 0.59 a 0.87 y de 1.24 a 2.37, respectivamente, y el índice de equidad de Pielou de 0.63 a 0.94. Los valores verdaderos de las especies asociados al índice de Shannon-Wiener varían de 3 a 11 (Tabla 3).

Tabla 3. Índices de riqueza y diversidad de especies del estrato arbustivo.

Table 3. Species richness and diversity indexes of the brushy stratum.

Índices ¹	Franjas								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
S	14	20	19	17	13	10	9	7	9
λ	0.83	0.86	0.85	0.84	0.87	0.87	0.82	0.59	0.70
H'	2.14	2.37	2.27	2.23	2.28	2.16	1.89	1.24	1.62
J'	0.81	0.79	0.77	0.79	0.89	0.94	0.86	0.63	0.73
${}^1H'$	8	11	10	9	10	9	7	3	5

¹ S = riqueza de especies; λ = índice de Simpson; H' = índice de Shannon-Wiener; J' = índice de Pielou;

${}^1H'$ = valor verdadero de especies de Shannon-Wiener

A su vez, en la figura 3 se observa que no existe diferencia significativa en la riqueza de especies entre las franjas ubicadas entre los 20 y 320 m de distancia del cuerpo de agua (franjas B, C y D); sin embargo, la riqueza de especies disminuye a medida que las comunidades se van alejando del cuerpo de agua. Los índices de diversidad y de dominancia de Shannon-Wiener y Simpson así como el de homogeneidad de Pielou indican que la diversidad de especies se mantiene significativamente igual hasta los 620 m de distancia (franjas A, B, C, D, E F, G).

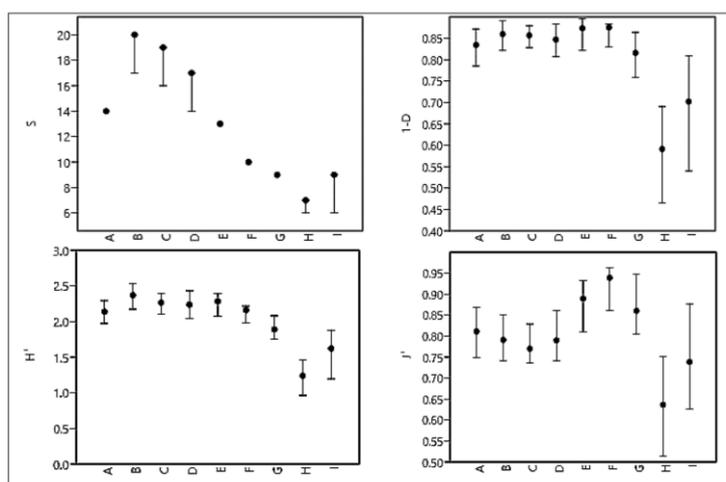


Figura 3. Intervalos de confianza de los índices de riqueza, diversidad y equidad de las franjas del estrato arbustivo.
Figure 3. Confidence intervals of species richness, diversity and equity indexes of the brushy stratum.

En el estrato arbóreo, la cantidad de especies y los índices de diversidad son significativamente menores a los estimados en los estratos herbáceo y arbustivo. En este estrato, la cantidad de especies registrada varió de 5 a 14, el índice de Simpson de 0.60 a 0.82, el de Shannon-Wiener de 1.11 a 2.21 y el de Pielou de 0.62 a 0.89. El valor verdadero de especies varía de 3 a 9 (Tabla 4).

Tabla 4. Índices de riqueza y diversidad de especies del estrato arbóreo.

Table 4. Species richness and diversity of the arboreal stratum.

Índices ¹	Niveles del gradiente									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
S	9	12	10	14	12	5	12	8	8	
λ	0.70	0.79	0.74	0.74	0.82	0.61	0.80	0.60	0.81	
H'	1.38	1.82	1.62	1.79	1.95	1.11	2.21	1.85	1.25	
J'	0.63	0.74	0.71	0.67	0.78	0.68	0.89	0.62	0.89	
${}^1H'$	4	6	5	6	7	3	9	6	3	

¹ S = riqueza de especies; λ = índice de Simpson; H' = índice de Shannon-Wiener; J' = índice de Pielou; ${}^1H'$ = valor verdadero de especies de Shannon-Wiener

Es importante señalar que en este estrato los indicadores de la riqueza de especies no presentan ninguna tendencia definida con relación al gradiente evaluado. Sin embargo, en términos de diversidad, ésta tiende a ascender hasta los 420 m de distancia; a partir de ese punto no se presenta ninguna tendencia (Figura 4). Independientemente de lo anterior, la riqueza y diversidad de especies estimada en la zona ribereña (nivel A) siempre fue menor en cada uno de los estratos.

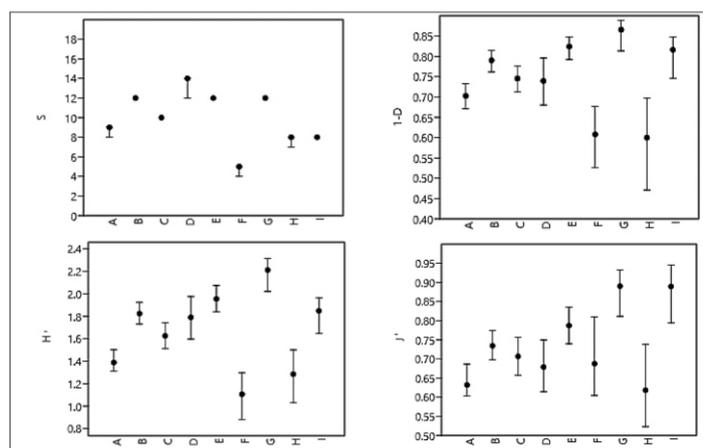


Figura 4. Intervalos de confianza de los índices de riqueza, diversidad y equidad del estrato arbóreo.

Figure 4. Confidence intervals of species richness, diversity and equity indexes of the arboreal stratum

Similitud de especies

La similitud de especies del estrato herbáceo decrece a medida que la distancia a la fuente de abastecimiento de agua al oasis incrementa, indicando que la composición de especies de este estrato cambia a través del gradiente. En este estrato, la máxima similitud de especies fue igual a 0.63 y se presentó entre las franjas A y C, mientras que la mínima registrada con un valor de similitud de 0.10 ocurrió entre la primera y última franja. La cantidad de especies compartidas de este estrato disminuyó abruptamente a partir de los 420 m (Índice de Sørensen = 0.27) de distancia del cuerpo de agua. En contraste con la tendencia de la similitud de especies reportada para las especies herbáceas, las similitudes de especies arbustivas y arbóreas, respectivamente, no presentan una tendencia definida conforme las franjas se van alejando de la fuente de agua. En estos dos estratos, el cambio de especies entre franjas no es tan severo como la estimada en el estrato herbáceo, pudiendo afirmar que la proporción de especies presentes entre la primera franja en relación a las subsecuentes se mantiene más constante en comparación con la estimada para la vegetación del estrato inferior. La similitud de especies estimada en el estrato arbustivo que se encuentran entre los 0 y 20 m (franja A) con relación a las que se registraron en las diferentes distancias a lo largo del gradiente, varió de 0.35 a 0.58 (Tabla 6), mientras que la del estrato arbóreo varió de 0.29 a 0.61 (Tabla 6). (Tabla 5).

Tabla 5. Índices de similitud de Sørensen de los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo.

Table 5. Sørensen similitude indexes of the herbaceous, brushy and arboreal stratum.

Franjas	Estratos		
	Herbáceo	Arbustivo	Arbóreo
A vs B	0.53	0.41	0.48
A vs C	0.63	0.48	0.53
A vs D	0.53	0.58	0.61
A vs E	0.42	0.37	0.57
A vs F	0.27	0.42	0.29
A vs G	0.27	0.35	0.48
A vs H	0.35	0.38	0.35
A vs I	0.10	0.43	0.47

Los dendrogramas generados a partir del coeficiente de similitud de Sørensen muestran que los grupos vegetales del estrato herbáceo de las franjas A-B y C-D presentan indicadores de similitud de especies semejantes. En este estrato *Prosopis articulata* S. Watson, *Jatropha cuneata* Wiggins & Rollins, *Stenotaphrum secundatum* (Walter) Kuntze, *Acacia peninsularis* (Britton & Rose) Standl. y *Euphorbia lomelii* V. W. Steinn tienen presencia en las cuatro franjas mencionadas, mientras que *Cylindropuntia alcahes* (F.A.C. Weber) F.M. Knuth, *Jatropha cinerea* (Ortega) Muell. Arg., *Washingtonia robusta* H. Wendl., *Anemopsis*

californica (Nutt.) Hook. & Arn., *Ambrosia bryantii* (Curran) Payne, *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Link y *Masembryanthemum crystallinum* L. están presentes en tres de las cuatro franjas. Por su parte, *Gnaphalium bicolor* (Franch.) Diels y *Melochia tomentosa* L., se encuentran en las franjas A y B, *Typha domingensis* Pers., en las franjas A y C, *Pennisetum ciliare* (L.) Link y *Ambrosia monogyra* (Torr. & A. Gray) Strother & B. G. Baldwin en las franjas B y C. A su vez, la vegetación presente entre los 320 y 420 m (franja E) de distancia del cuerpo de agua tiene una similitud con las franjas A, B, C y D de 0.42 uniéndose a este grupo de especies. Las franjas dispuestas entre los 420 y 720 m de distancia del cuerpo de agua (F, G, H), respectivamente, con un índice de similitud de especies igual a 0.47 determinan otro grupo de especies. Dentro de este grupo, las comunidades vegetales presentes entre los 520 a 720 m de distancia del cuerpo de agua (franjas G y H) presentan una similitud de 0.55. En este grupo de especies dominan *Prosopis articulata* y *Cylindropuntia alcahes*. La franja más alejada de la fuente de agua del oasis (franja I) presenta un índice de similitud bajo por lo que no se integra a ninguno de los dos grupos de franjas definidos con anterioridad (Figura 6).

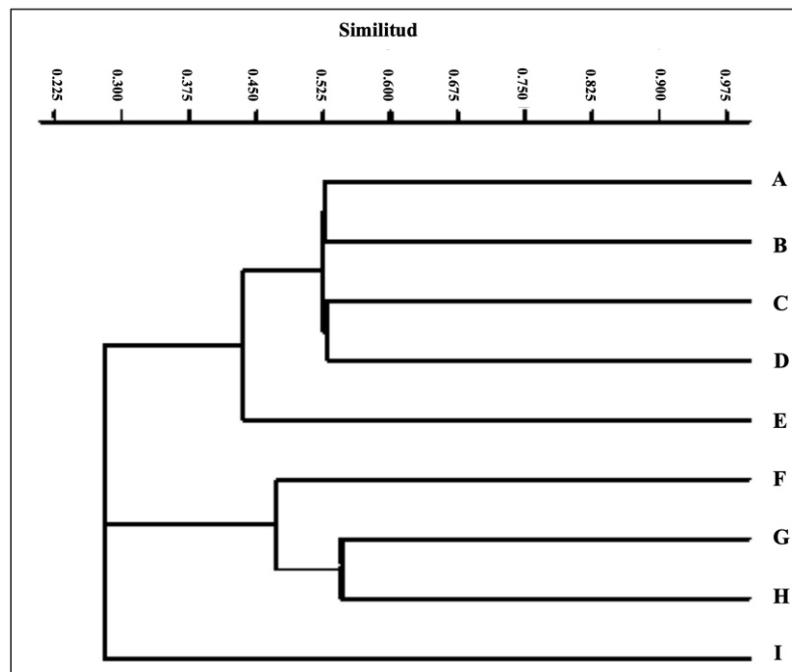


Figura 6. Dendrograma del índice de similitud de Sørensen para el estrato herbáceo.
Figure 6. Sørensen similitude index dendrogram of the herbaceous stratum.

En la figura 7 se observa la integración de tres grupos de franjas en el estrato arbustivo. El primer grupo integrado por las franjas B, C y D presenta un índice de similitud igual a 0.61, mientras que el segundo formado por las franjas E y F tienen una similitud de 0.52. El tercer grupo formado por las franjas G y H, con mayor proporción de especies compartida, presentan un índice de similitud de 0.75. A su vez, las especies compartidas de la franja más próxima (A) y de la más alejada al cuerpo de agua (I) presentan los menores índices de similitud de la vegetación arbustiva.

En este estrato *Cylindropuntia alcahes* (F. A. B. Weber) F. M. Kunth, *Larrea tridentata* (Moc. & Seseé ex DC.) Coville, *Jatropha cinérea*, *Jatropha cuneata*, *Prosopis articulata* tienen presencia prácticamente en todo el área del oasis. En contraste, *Gnaphalium bicolor* (Franch) Diels, *Baccharis salicifolia* (Ruíz & Pavón) Pers. y *Tamarix ramosissima* Ledeb., *Pachycereus pringlei* (S. Watson) Britton & Rose, *Callaeum macropterum* (Moc. & Seseé ex DC) D. M. Johnson, *Encelia farinosa* Torr. & A. Gray, *Melochia tomentosa* L., *Hyptis laniflora* Benth. y *Cardiospermum corindum* L., solo se registraron dentro de los primeros 120 m de distancia de la fuente de agua del oasis, mientras que *Ferocactus peninsulæ* (F. A. C. Weber) Britton & Rose, *Atriplex canescens* (Purch) Nutt., *L. Formosa brandegeei* y *Prityle incompta* Brandegeei tienen presencia en al menos una de las tres franjas más alejadas de la

fuente de agua (franjas G, H, I). Por otro lado, *Euphorbia lomelii* V. W. Steinn, *Corynopuntia invicta* Brandegees F. M. Kunth, *Ambrosia bryantii* (Curran) Payne, *Bursera hindsiana* (Benth.) Engl, *Bursera microphylla* A. Gray, *Lycium brevipes* Benth., *L. Maytenus phyllanthoides* Benth., *Acacia peninsulares*, *Parkinsonia microphylla* Torr., *Parkinsonia aculeata* L, *Lippia formosa* Brandegees, *Phoenix dactylifera*, *Washingtonia robusta*, *Fouquieria diguetii* (Tiegh.) I. M. Johnst, *Stenocereus gummosus* (Engelm.) Gibson & Horak, *Phragmites australis* (Cav.) Steud, *Polygala apopetala* Brandegees y *Stenocereus thurberi* (Engelm.) Buxb son especies presentes en al menos una de las franjas intermedias C, D, E y F del oasis.

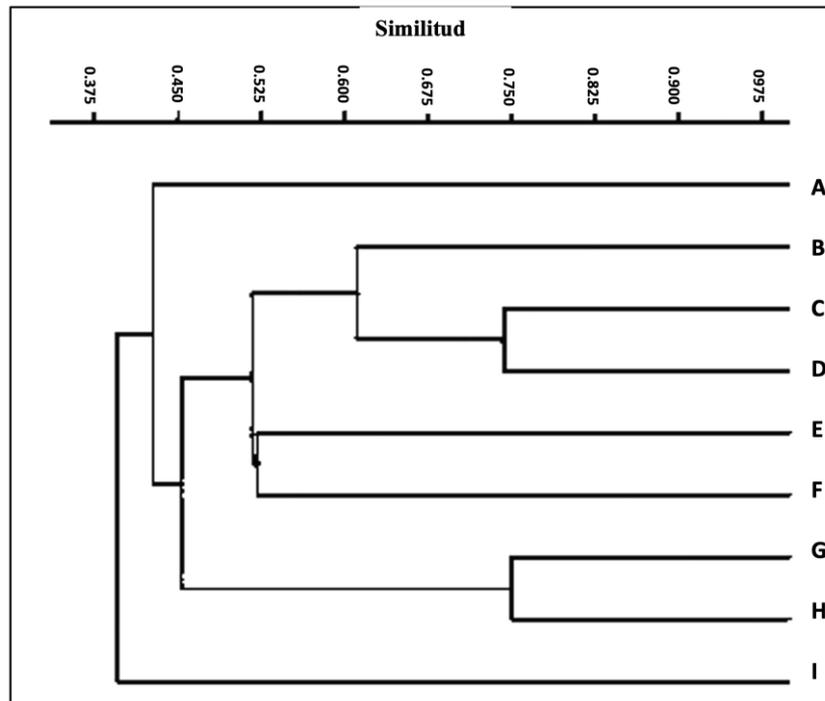


Figura 7. Dendrograma del Índice de similitud de Sørensen para el estrato arbustivo.
Figure 7. Sørensen similitude index dendrogram of the brushy stratum.

De acuerdo a los índices de similitud de Sørensen, la vegetación del estrato arbóreo se fusiona formando tres grupos florísticos bien diferenciados; el primer grupo lo forman las especies que se encuentran dentro de los primeros 420 m de distancia del cuerpo de agua ($IS_{A-B-C-D-E} = 0.54$), el segundo las especies presentes en la franja F y el último las especies presentes entre los 520 a los 820 m de distancia al cuerpo de agua ($IS_{G-H-I} = 0.55$).

Dentro del primer grupo, la mayor similitud se presenta entre las franjas contiguas D y E que se encuentran entre los 220 y 420 m de distancia del cuerpo de agua ($IS_{D-E} = 0.78$). Al incorporarse las comunidades vegetales ubicadas en las franjas A, B y C a las comunidades de las franjas D y E, el índice de similitud disminuye hasta 0.54. A su vez, la máxima similitud registrada en el segundo grupo se presentó entre las comunidades que se encuentran entre los 520 y 720 m de distancia del cuerpo de agua ($IS_{G-H} = 0.70$) (Figura 8).

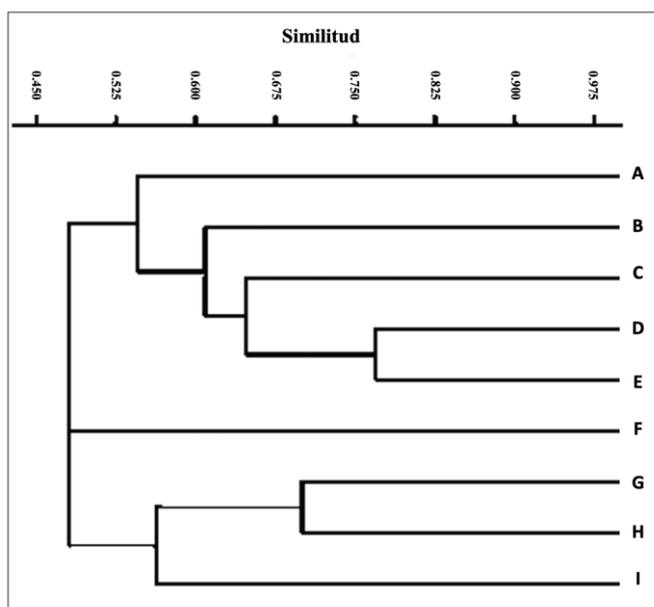


Figura 8. Dendrograma del índice de similitud de Sörensen del estrato arbóreo.
Figure 8. Sörensen similitude index dendrogram of the arboreal stratum.

En la tabla 6 se puede observar la distribución de las especies arbóreas en cada uno de los grupos. De las 25 especies arbóreas registradas en el oasis, 24 están presentes en el primer grupo, 5 en el segundo grupo y 20 en tercero. La especie no presente en el primer grupo fue *Lysiloma candidum* y en el segundo grupo fueron *Bursera hindsiana*, *Yucca valida*, *Larrea tridentata*, *Acacia peninsularis* y *Mimosa xantii*. Las especies arbóreas más abundantes en el primer grupo y con presencia en todas las franjas fueron *Pachycereus pringley*, *Prosopis articulata* y *Bursera microphylla*. A su vez, *Phoenix dactylifera* y *Washintonia robusta*, especies con mayor abundancia en el primer grupo, solo estuvieron ausentes en las franjas H e I, franjas más alejadas de la fuente de agua.

Tabla 6. Especies arbóreas presentes en el Oasis San Ignacio por franjas.
Table 6. Arboreal species present in the San Ignacio Oasis by strips.

Especies	Franjas del Primer Grupo					Franja Intermedia	Franjas del Segundo Grupo		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
<i>Ferocactus peninsulae</i> (F.A.C. Weber) Britton & Rose	X		X	X			X	X	X
<i>Pachycereus pringlei</i> (S. Watson) Britton & Rose	X	X	X	X	X		X	X	X
<i>Cylindropuntia alcahes</i> (F.A.B. Weber) F.M. Kunth	X			X	X				X
<i>Bursera hindsiana</i> (Benth.) Engl.	X			X					
<i>Yucca valida</i> Brandegee			X	X					
<i>Parkinsonia microphylla</i> Torr.			X	X			X	X	
<i>Lophocereus schottii</i> (Engelm.) Britton & Rose			X	X			X	X	
<i>Larrea tridentata</i> (Moç & Seseé ex DC.) Coville		X							
<i>Acacia peninsularis</i> (Britton & Rose) Standl.		X	X	X					
<i>Jatropha cinerea</i> (Ortega) Müll. Arg.		X	X	X		X		X	X
<i>Prosopis articulata</i> S. Watson	X	X	X	X	X		X	X	X
<i>Phoenix dactylifera</i> L.	X	X	X	X	X	X	X		

<i>Washingtonia robusta</i> H. Wendl.	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Fouquieria diguetii</i> (Tiegh.) I. M. Johnst.			X	X	X	X	X	X
<i>Lysiloma candidum</i> T. S. Brandegee								X
<i>Oleña tesota</i> A. Gray					X		X	X
<i>Stenocereus gummosus</i> (Engelm.) Gibson & Horak		X		X	X		X	
<i>Stenocereus thurberi</i> (Engelm.) Buxb.	X	X						
<i>Bursera microphylla</i> A. Gray		X	X	X	X	X	X	X
<i>Mimosa xantii</i> A. Gray	X				X			
<i>Mammillaria dioica</i> (R.T. Craig bis) D. R. Hunt		X					X	

DISCUSIÓN

De manera general, los resultados de este estudio indican que la riqueza y diversidad de las especies de los estratos herbáceos y arbustivos disminuyen en función del incremento de la distancia al cuerpo de agua, mientras que la equidad no presenta una tendencia definida, resultados que son congruentes con los reportados por Chaturvedi & Raghubanshi (2018). Ellos mencionaron que la diversidad de especies herbáceas, arbustivas y arbóreas en un bosque deciduo seco decreció a medida que el contenido de humedad del suelo disminuyó, siendo ésta más severa en las especies del estrato herbáceo que en los estratos arbustivos y arbóreos. De acuerdo a Sheil (1999), los cambios ambientales drásticos pueden ser letales para muchas especies, las cuales desaparecen o pueden ser reemplazadas por otras más resistentes al estrés ambiental cambiando la riqueza y diversidad, fenómeno que se presentó en la franja E, ubicada entre los 320 y 420 m de distancia al cuerpo de agua. A esta distancia, la riqueza y diversidad de especies del estrato herbáceo disminuyó drásticamente, sugiriendo que un alto porcentaje de las especies presentes en este estrato que se desarrollan dentro del oasis presentan distrés hídrico y/o limitaciones en el crecimiento de las raíces, inhibiendo su acceso a la profundidad en que se encuentre la humedad. La humedad permanente del suelo dentro del oasis y su disponibilidad a profundidades donde las plantas tengan la posibilidad de obtenerla, favorece el establecimiento de un mayor número de especies, mientras que la falta de disponibilidad limita la presencia de muchas ellas. En las zonas desérticas, los horizontes más próximos a la superficie del suelo favorecen el establecimiento y desarrollo de las plantas que presentan mecanismos de respuesta al estrés hídrico, inhibiendo la presencia de las que requieren mejores condiciones de humedad. En este sentido, Wang *et al.* (2017) señalan que el contenido de humedad del suelo tiene un alto efecto en la estabilidad de las comunidades vegetales, la diversidad y redundancia, así como en la diversidad de especies. Por su parte, Token *et al.* (2022) confirman que la intensificación del estrés del agua es la razón principal en la reducción de la diversidad de las plantas. Estos autores mencionan que los índices de diversidad de Shannon-Wiener y Simpson incrementan con la humedad del suelo mientras que el de equidad disminuye, indicando que la diversidad de especies es susceptible a los factores del suelo y que la vegetación tiende a adaptarse a las condiciones de estrés.

Por su parte, los análisis de similitud de especies permiten reafirmar que existe un cambio de especies a lo largo del gradiente estudiado. Si se considera que la temperatura, precipitación y radiación solar son similares sobre el gradiente estudiado, los cambios de la riqueza y diversidad de especies se pueden atribuir a la variación del contenido de humedad del suelo a lo largo del gradiente, inhibiendo la presencia de algunas y el reemplazo de otras. En el caso de este estudio, la presencia de *Jatropha cuneata*, *Jatropha cinérea*, *Prosopis articulata*, *Washingtonia robusta*, *Phoenix dactylifera*, *Pachycereous pringlei*, *Larrea tridentata* y *Cylindropuntia alcahes* sobre un alto espectro del gradiente de humedad estudiado indica que son especies que están adaptadas a diferentes condiciones de humedad; en contraste, el complemento de las especies registradas se relaciona con niveles de humedad del suelo altos o bajos. En este sentido, *Euphorbia lomelii*, *Stenotaphrum secundatum*, *Acacia peninsularis*,

Dactyloctenium aegyptium, *Mesembryanthemum crystallinum* y *Anemopsis californica*, con solo presencia dentro de las primeras cuatro franjas estudiadas, indican su adaptabilidad a ambientes de suelos más húmedos.

De manera particular, la similitud de especies entre franjas en el estrato herbáceo fue menor que la que se presentó en los estratos arbustivo y arbóreo; de la misma manera, la similitud de especies entre franjas fue menor en el estrato arbustivo que en el estrato arbóreo, coincidiendo en que las especies arbóreas son más resistentes a los cambios ambientales que las arbustivas.

CONCLUSIONES

La riqueza y diversidad de especies en cada uno de los estratos disminuye conforme las áreas se van alejando de la fuente de agua del oasis, siendo más sensible el cambio en el estrato herbáceo. En este estrato, la riqueza y diversidad de especies cambio drásticamente a los 420 m de distancia del cuerpo de agua. A su vez, la homogeneidad en el número de individuos por especies permaneció constante a través del gradiente estudiado. Los análisis de los índices de similitud y los dendogramas reafirman que la composición de especies cambia a lo largo del gradiente, observándose la integración de cuatro grupos de especies bien definidos en los estratos herbáceos, cinco en el estrato arbustivo y tres en el estrato arbóreo.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean agradecer a la CONAFOR y al FMCN por el apoyo otorgado para la obtención de información de campo, así como al TecNM a través del Instituto Tecnológico de El Salto por facilitar la realización de este proyecto.

LITERATURA CITADA

- Anderson, C. J., & Lockaby, B. G. (2011). Forested wetland communities as indicators of tidal influence along the Apalachicola River, Florida, USA. *Wetlands*, 31(5), 895–906. <https://doi.org/10.1007/s13157-011-0204-5>
- Arriaga L., Días Castro S., Domínguez Cardenas, R., & León-de la Luz, J. L. (1977). Composición florística y vegetación. In: Arriaga Laura & Rodríguez Estrella Ricardo (Eds.), *Los Oasis de la Península de Baja California* (pp. 69–80). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. [file:///Users/franciscojavier/Downloads/1606%20LOS%20OASIS%20DE%20LA%20PENINSULA%20DE%20BAJA%20CALIFORNIA%20\(6\).pdf](file:///Users/franciscojavier/Downloads/1606%20LOS%20OASIS%20DE%20LA%20PENINSULA%20DE%20BAJA%20CALIFORNIA%20(6).pdf)
- Austin, M. P. (2002). Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*, 157(2–3), 101–118. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00205-3](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00205-3)
- Carabias L., J., Provencio, E., De la Maza E. J., Gutiérrez Carbonell, D., Gómez Cruz, M., & Sánchez Sotomayor, V. (2000). *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera El Vizcaino* (1st ed.). Instituto Nacional de Ecología. https://www.conanp.gob.mx/datos_abiertos/DGCD/49.pdf
- Cariño Olvera, M. M., & Monteforte Sánchez, M. (2018). La historiografía ambiental sudcaliforniana y la sustentabilidad local. *Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) Revista de La Solcha*, 8(2), 14–41. <https://doi.org/10.32991/2237-2717.2018v8i2.p14-41>
- Chaturvedi, R. K., & Raghubanshi, A. S. (2018). Effect of soil moisture on composition and diversity of trees in tropical dry forests. *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, 3(1), 1–3. <https://doi.org/10.15406/mojes.2018.03.00059>
- CONAGUA. (2018). Atlas del agua en México. In: *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Comisión Nacional del Agua. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/AAM2018.pdf>

Recibido:
10/enero/2024

Aceptado:
21/junio/2024

- Courtwright, J., & Findlay, S. E. G. (2011). Effects of microtopography on hydrology, physicochemistry, and vegetation in a tidal swamp of the Hudson river. *Wetlands*, 31(2), 239–249. <https://doi.org/10.1007/s13157-011-0156-9>
- Díaz, S., & Troyo, E. (1997). Balance hidrológico y análisis de la aridez. In: L. Arriaga & R. Rodríguez Estrella (Eds.), *Los Oasis de la Península de Baja California* (pp. 35–50). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Dubuis, A., Giovanettina, S., Pellissier, L., Pottier, J., Vittoz, P., & Guisan, A. (2013). Improving the prediction of plant species distribution and community composition by adding edaphic to topo-climatic variables. *Journal of Vegetation Science*, 24(4), 593–606. <https://doi.org/10.1111/jvs.12002>
- FOMIX-2018. (2018). *Oasis Baja California Sur*. iNaturalist. <https://mexico.inaturalist.org/projects/fomix-2018-oasis-baja-california-sur>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (Vol. 6). Universidad Autónoma de México.
- Hammer, Ø. (2023). *PAleontological STatistics Version 4.15*.
- INEGI. (2013). *Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación escala 1:250000*.
- León de la Luz, J. L., & Coria Benet, R. (1992). *Flora iconográfica de Baja California Sur 3*. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur A. C. <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/1212/1/FLORA%20ICONOGRAFICA%20DE%20BAJA%20CALIFORNIA%20SUR%201992.pdf>
- León de la Luz, J. L., & Domínguez Cadena, R. (2006). Hydrophytes of the oases in the Sierra de la Giganta of Central Baja California Sur, Mexico: Floristic composition and conservation status. *Journal of Arid Environments*, 67(4), 553–565. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.03.012>
- López Fuerte, F. O. (2009). α -Diversity of epilithic diatoms in the San Ignacio oasis Baja California Sur, Mexico. *CICIMAR Oceanides*, 24(2), 101–110. <https://doi.org/10.37543/oceanides.v24i2.59>
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands* (Fifth Ed). John Wiley & Sons Inc.
- Olthoff, A. E., Martínez Ruiz, C., & Alday, J. G. (2016). Patrones de distribución de especies arbustivas respecto a arbóreas a lo largo de un gradiente ambiental atlántico-mediterráneo: una aproximación a partir de datos del tercer Inventario Forestal Nacional. *Ecosistemas*, 25(3), 22–34. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-3.03>
- Schleuter, D., Daufresne, M., Massol, F., & Argillier, C. (2010). A user's guide to functional diversity indices. *Ecological Monographs*, 80(3), 469–484. <https://doi.org/10.1890/08-2225.1>
- Sheil, D. (1999). Tropical forest diversity, environmental change and species augmentation: after the intermediate disturbance hypothesis. *Journal of Vegetation Science*, 10(6), 851–860. <https://doi.org/10.2307/3237310>
- Token, S., Jiang, L., Zhang, L., & Lv, G. (2022). Effects of plant diversity on primary productivity and community stability along soil water and salinity gradients. *Global Ecology and Conservation*, 36, e02095. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02095>
- Wang Hengfang, Lü Guanghui, Zhou Yaozhi, & Cao Jing. (2017). Effects of functional diversity and functional redundancy on the stability of desert plant communities under different water and salt gradients. *Acta Ecologica Sinica*, 37(23), 171–180. <https://doi.org/10.5846/stxb201610192139>
- Yao, S., Akram, M. A., Hu, W., Sun, Y., Sun, Y., Deng, Y., Ran, J., & Deng, J. (2021). Effects of water and energy on plant diversity along the aridity gradient across dryland in China. *Plants*, 10(4), 636. <https://doi.org/10.3390/plants10040636>
- Zeng, Y., Zhao, C., Kundzewicz, Z. W., & Lv, G. (2020). Distribution pattern of *Tugai* forests species diversity and their relationship to environmental factors in an arid area of China. *PLOS ONE*, 15(5), e0232907. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232907>

SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE UNA REFORESTACIÓN DE SEIS ESPECIES DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO EN EL NORESTE DE MÉXICO

SURVIVAL AND GROWTH OF A REFORESTATION OF SIX SPECIES OF THE TAMAULIPAN THORNSCRUB IN NORTHEASTERN MEXICO

Mata-Balderas, José Manuel; Eduardo Alanís-Rodríguez; Tania Isela Sarmiento-Muñoz; Edwin Samuel Rodríguez-Alejandro y Adriana Concepción Garza-Pérez

SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE UNA REFORESTACIÓN DE SEIS ESPECIES DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO EN EL NORESTE DE MÉXICO

SURVIVAL AND GROWTH OF A REFORESTATION OF SIX SPECIES OF THE TAMAULIPAN THORNSCRUB IN NORTHEASTERN MEXICO



Supervivencia y crecimiento de una reforestación de seis especies del matorral espinoso tamaulipeco en el noreste de México

Survival and growth of a reforestation of six species of the Tamaulipan thornscrub in northeastern Mexico

José Manuel Mata-Balderas;
Eduardo Alanís-Rodríguez;
Tania Isela Sarmiento-Muñoz;
Edwin Samuel Rodríguez-
Alejandro y Adriana
Concepción Garza-Pérez

SUPERVIVENCIA Y
CRECIMIENTO DE UNA
REFORESTACIÓN DE SEIS
ESPECIES DEL MATORRAL
ESPINOSO TAMAULIPECO
EN EL NORESTE DE
MÉXICO

SURVIVAL AND GROWTH
OF A REFORESTATION OF
SIX SPECIES OF THE
TAMAULIPAN
THORNSCRUB IN
NORTHEASTERN MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 135-147. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.9

José Manuel Mata-Balderas <https://orcid.org/0000-0003-4973-4462>
Gestión Estratégica y Manejo Ambiental S.C., Apodaca, Nuevo León, México
Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León
Linares, Nuevo León, México
Biólogos y Silvicultores forestales por el Ambiente A.C.
Apodaca, Nuevo León, México

Eduardo Alanís-Rodríguez
Autor de correspondencia: eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx
<http://orcid.org/0000-0001-6294-4275>
Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.
Linares, Nuevo León, México

Tania Isela Sarmiento-Muñoz <https://orcid.org/0000-0003-2867-8422>
Biólogos y Silvicultores forestales por el Ambiente A.C.
Apodaca, Nuevo León, México

Edwin Samuel Rodríguez-Alejandro <https://orcid.org/0009-0002-6945-6957>
Adriana Concepción Garza-Pérez <https://orcid.org/0009-0006-3189-0183>
Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.
Linares, Nuevo León, México

RESUMEN: Una de las actividades crecientes de restauración ecológica en el matorral espinoso tamaulipeco es la reforestación. Los objetivos fueron estimar la supervivencia y determinar el crecimiento de las variables estructurales de altura total (h), diámetro basal ($d_{0.10}$) y diámetro de copa (k) en una reforestación de un año de establecida con labores de mantenimiento utilizando seis especies nativas (*Cordia boissieri*, *Ebenopsis ebano*, *Havardia pallens*, *Helietta parvifolia*, *Prosopis glandulosa* y *Senegalia berlandieri*) del matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. Para determinar si los valores presentaban diferencias estadísticas para los datos paramétricos se utilizó un ANOVA de un factor y para los datos no paramétricos la prueba de H de Kruskal-Wallis. Las pruebas post hoc fue la prueba de Tukey para el ANOVA y la de Games Howell para la prueba de H de Kruskal-Wallis. Las especies no presentaron crecimiento en altura ($p>0.05$), pero sí en el diámetro basal y cobertura de copa ($p<0.05$). Las especies que presentaron mayores incrementos en diámetro basal y diámetro de copa fueron *Havardia pallens* y *Cordia boissieri*. Todas las especies presentaron una supervivencia mayor al 93% a un año de ser plantadas.

Palabras clave: evaluación, especies nativas, restauración ecológica, *Havardia pallens* y *Cordia boissieri*.

ABSTRACT One of the growing activities of ecological restoration in the Tamaulipan thornscrub is reforestation. The objectives were to estimate the survival and determine the growth of the structural variables of total height (h), basal diameter ($d_{0.10}$) and crown diameter (k) in a one-year reforestation established with maintenance using six native species (*Cordia boissieri*, *Ebenopsis ebano*, *Havardia pallens*, *Helietta parvifolia*, *Prosopis glandulosa* y *Senegalia berlandieri*) of the Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. To determine whether the values presented statistical differences for parametric data, a one-way ANOVA was used,

and the Kruskal-Wallis H test was used for non-parametric data. The post hoc tests were the Tukey test for the ANOVA and the Games Howell test for the Kruskal-Wallis H test. The species did not show growth in height ($p>0.05$) but did show growth in basal diameter and canopy cover ($p<0.05$). The species that presented the greatest increases in basal diameter and crown diameter were *Havardia pallens* and *Cordia boissieri*. All species had a survival greater than 93% one year after being planted.

Key words: evaluation, native species, ecological restoration, *Havardia pallens* and *Cordia boissieri*.

INTRODUCCIÓN

El matorral espinoso tamaulipeco presenta una superficie de 125,000 km² del noreste de México, en los estados de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila (Molina *et al.*, 2019). Esta comunidad vegetal ofrece bienes y servicios ecosistémicos, como productos maderables, captura de carbono, hábitat para fauna silvestre, recarga de mantos acuíferos y belleza paisajística (Foroughbakhch *et al.*, 2014). A pesar de la importancia de este matorral, su extensión original se ha visto afectada debido al cambio de uso de suelo para fines agrícolas y pecuarios principalmente (Arriaga *et al.*, 1994; Foroughbakhch *et al.*, 2009) presentando actualmente una superficie de 25,569 km² (CONABIO, 2011).

Cuando baja la productividad del suelo y por consecuencia de las actividades agrícolas y pecuarias que se desarrollan se abandona el área (Mohsin *et al.*, 2021; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2023). Posterior al abandono se puede dejar que la vegetación se recupere naturalmente (Alanís Rodríguez *et al.*, 2023) o implementar programas de restauración, como una alternativa para recuperar los ecosistemas terrestres (López *et al.*, 2017). Una de las principales actividades en los proyectos de restauración es la revegetación a través de reforestaciones (Mata *et al.*, 2023; Preece *et al.*, 2023).

Uno de los indicadores de éxito de las reforestaciones es el porcentaje de supervivencia (Preece *et al.*, 2023), en México se solicita un mínimo de 80% de supervivencia a un año de realizar la plantación de acuerdo con las Reglas de Operación del Programa de Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable (CONAFOR, 2024). Sin embargo, no se logra cumplir con el porcentaje de supervivencia, por ejemplo, en el periodo de 2004 a 2016 se registraron porcentajes anuales de supervivencia a nivel nacional de 53% y en el estado de Nuevo León del 30% (Prieto Ruiz *et al.*, 2016).

En el matorral espinoso tamaulipeco se han desarrollado investigaciones que evalúan la supervivencia y el crecimiento y de reforestaciones con especies leñosas (Mata *et al.*, 2022, 2023; Molina *et al.*, 2023; Patiño *et al.*, 2022; Vega *et al.*, 2017). Sin embargo, los porcentajes de supervivencia son bajos oscilando entre 28.7 y 51.6% (Vega *et al.*, 2017; Mata *et al.*, 2022) y aún no se evalúan todas las especies; además, existen diferencias en los elementos y ejecución de las reforestaciones en general, como la procedencia de la planta (trasplante o vivero), características del área (valle o loma), dimensión de la plántula, fecha de plantación, enmiendas de hidrogel o enraizador y mantenimiento (riego, remoción de herbáceas, etc.), condiciones determinantes en la supervivencia y crecimiento y de las plántulas (Prieto *et al.*, 2018). Dentro de las especies que se consideran en este estudio y no se han evaluado en otras investigaciones se encuentra *Senegalia berlandieri* y *Helietta parvifolia*.

En la presente investigación se evaluó una reforestación con seis especies nativas del MET donde se realizaron labores culturales en el vivero y mantenimiento de la reforestación con la intención de alcanzar el 80% de supervivencia que indica la CONAFOR (2024). La labor cultural en el vivero fue de endurecimiento y las labores de mantenimiento comprendieron riego y remoción mensual de las herbáceas durante un año.

Los objetivos fueron i) estimar la supervivencia y ii) determinar el crecimiento de las variables estructurales de altura total (h), diámetro basal ($d_{0.10}$) y diámetro de copa (k) en una reforestación de un año de establecida con labores de mantenimiento utilizando seis especies nativas del matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. Las hipótesis son i) que

todas las especies presentarán una supervivencia mayor al 80 % al año de ser plantadas y ii) que las especies presentarán crecimiento de altura total, diámetro basal y cobertura de copa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La investigación se desarrolló en el ejido ampliación La reforma, en el municipio de Linares, Nuevo León (Noreste de México, Figura 1). Las coordenadas de ubicación son 24°40'41.05" de latitud Norte y 99°32'12.10" de Longitud Oeste y presenta una altitud de 365 msnm. Según la clasificación de Köppen (García, 2004.) el clima es subtropical húmedo (Cfa), con una temperatura media anual entre los 20 y 21 °C. El tipo de suelo es vertisol pélico de acuerdo con la carta G14C68 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2024). El área presenta una pendiente del 7.00% con exposición norte. La precipitación media anual es de 770 mm \pm 46.97 (SMN, 2010). El máximo régimen pluvial se registra en septiembre con 160 a 170 mm y el mínimo en marzo con 10 y 15 mm (INEGI, 2024). La comunidad vegetal en el sitio se registró como matorral espinoso tamaulipeco (INEGI, 2024). El área de estudio previo a la reforestación presentaba un historial de aprovechamiento agropecuario, donde se presentaba compactación del suelo provocado por el pastoreo libre del ganado vacuno y uso de maquinaria, así como la siembra de pastos forrajeros de comportamiento invasor y vegetación agrícola. La superficie del área es de 10.00 ha.

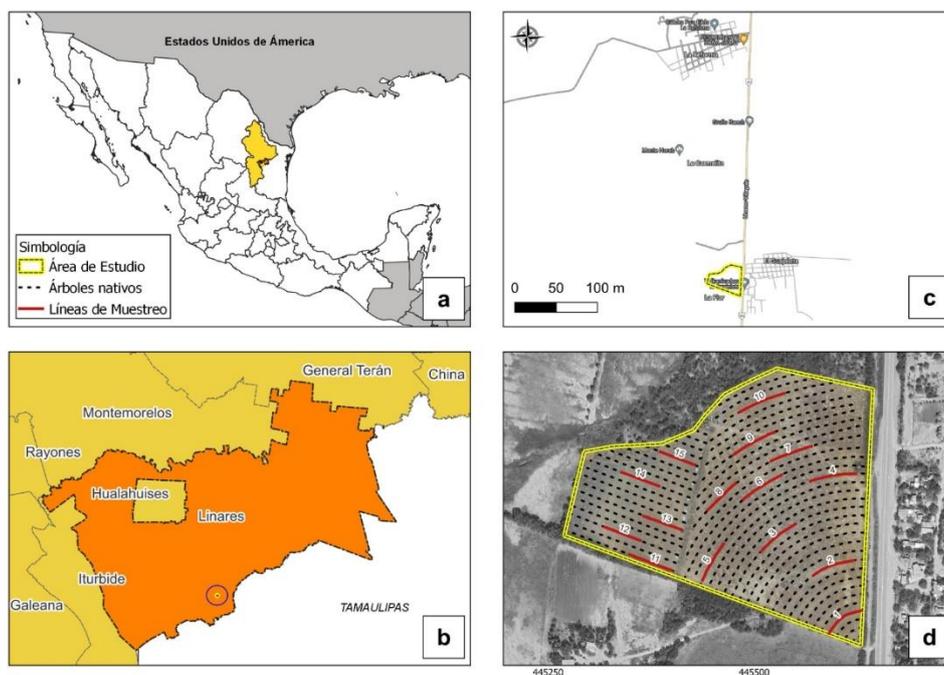


Figura 1. Ubicación del área de estudio. a) mapa de México indicando el estado de Nuevo León, b) Mapa del municipio de Linares indicando la plantación, c) ubicación con respecto a comunidades cercanas y d) plantación mostrando las curvas a nivel y las líneas de muestreo.

Figure 1. Location of the study area. a) Map of Mexico indicating the state of Nuevo León, b) Map of the municipality of Linares indicating the plantation, c) Location with respect to nearby communities, and d) Plantation showing contour lines and sampling lines.

Producción de planta. Para la investigación se consideraron seis especies leñosas, el criterio de selección fue que presentaran alta densidad de individuos en el matorral espinoso tamaulipeco y por su uso maderable y ornamental en la región (Graciano Ávila *et al.*, 2018). Las plántulas fueron producidas en un vivero forestal ubicado en el municipio de Linares, propiedad de la empresa GEMA S.C. Las semillas fueron colectadas de árboles padre de la región y recibieron un tratamiento de sumergimiento en agua corriente durante 24 horas

previo a la siembra. Las semillas fueron sembradas en bolsas de polietileno negro de 25 cm de diámetro por 30 cm de altura (2 litros), con una mezcla de sustrato compuesta por 60% tierra negra de monte 30% tepojal y 10% zoelita. La producción de planta se realizó en platabandas con malla sombra color negra del 35% y se regaron dos veces por semana y ocasionalmente tres veces, cuando la temperatura superaba los 35 °C. La producción se realizó en los meses de marzo y abril del año 2020. Antes de salir del vivero, se realizó el endurecimiento de las plántulas, el cual consistió en disminuir el riego cada 15 días durante dos meses, el primer mes bajo la malla sobra y el segundo sin la malla sombra.

Reforestación. Previo a la plantación se trazaron curvas de nivel con una separación de 10.00 m, en cada línea se ubicaron las áreas donde se realizaría la reforestación con una distancia entre plántulas de 5.0 m. Se realizaron cepas de 0.30 m de diámetro por 0.40 m de profundidad, utilizando palas y talaches. En cada cepa se agregaron 9.0 g de hidrogel hidratado agrícola de grano fino Acua-Gel®, como parte de la plantación inicial, con el fin de prevenir el estrés hídrico ante altas temperaturas de la región durante los primeros meses de establecimiento (Filio *et al.*, 2019). También se utilizó 1.5 mg/L de enraizador fitorregulador en polvo Raizone-Plus Fax para fomentar el crecimiento radicular y la recuperación de posibles heridas durante el proceso de plantación. En noviembre del año 2022 se realizó la reforestación, el número de individuos y las dimensiones de altura y diámetro basal de las plántulas que fueron plantas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Nombre científico, nombre común, número de plántulas, altura y diámetro basal (valores promedios \pm error estándar) de las plántulas utilizadas en la reforestación.

Table 1. Scientific name, common name, number of seedlings, height, and basal diameter (mean values \pm standard error) of the seedlings used in the reforestation.

Nombre científico	Nombre común	Número de plántulas	Altura (cm)	Diámetro basal (mm)
<i>Cordia boissieri</i> A.DC.	anacahuita	248	97.8 \pm 3.2	8.1 \pm 0.5
<i>Senegalia berlandieri</i> (Benth.) Britton & Rose	guajillo	248	73.1 \pm 8.6	5.4 \pm 0.7
<i>Ebenopsis ebano</i> (Berland.) Barneby & J.W. Grimes	ébano	245	102.6 \pm 4.8	7.1 \pm 0.4
<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	mezquite	246	92.1 \pm 4.6	4.6 \pm 0.2
<i>Helietta parvifolia</i> (A. Gray ex Hemsl.) Benth.	barreta	245	127.1 \pm 4.5	10.0 \pm 0.4
<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose	tenaza	245	101.3 \pm 3.9	6.5 \pm 0.4

Una vez realizada la plantación de manera manual con una pala jardinera se realizó una terraza individual (cajete) de 1.00 m de diámetro para retener el agua de riego y lluvia. Cada plántula se aseguró con hilo a guías de madera de 0.50 m de altura para promover su crecimiento vertical y evitar su caída por el viento. A los individuos de *Prosopis glandulosa* se les colocó un protector tubular horadado de poliuretano de alta densidad de 0.66 m de longitud por 0.35 m de altura sujetado en forma circular, para evitar la depredación por herbívora (Mohsin *et al.*, 2021).

Mantenimiento de la plantación. Inmediato a la plantación de cada individuo, se realizó un riego inicial de 20.0 L por plántula. El riego se mantuvo con una frecuencia de cada 10 días durante los primeros tres meses. Del tercer al sexto mes se regó cada 20 días y del sexto al doceavo mes cada 30 días. Otra actividad de mantenimiento fue la remoción mensual de las herbáceas del área con una desbrozadora ME-DS15 utilizando la maquinaria agrícola Massey Ferguson 240, para disminuir la competencia de las herbáceas sobre las plántulas.

Evaluación en campo. Se evaluaron las plántulas al final de cada estación del año. Se realizó la primera evaluación en invierno de 2022, recién concluida la reforestación, para posteriormente hacer las mediciones en abril, julio y noviembre del 2023. Para el establecimiento de los sitios de muestreo se utilizó la metodología propuesta por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA, 2018), utilizada por

Mata et al. (2022), mediante el cual se establecieron 15 líneas de muestreo distribuidas de manera aleatoria, teniendo una densidad de 1.5 líneas de muestreo por cada hectárea. Dentro de cada línea de muestreo se seleccionaron los dos ejemplares de cada especie, teniendo un total de 12 individuos por la línea de muestreo.

A cada plántula se le registró si estaba viva o muerta y se le midió la altura total (h), el diámetro basal ($d_{0.10}$) y el diámetro de copa (k). La altura total se midió en centímetros con un flexómetro de 5 metros, desde la base del fuste en el suelo hasta la yema terminal del fuste (ápice). La medición del diámetro basal se efectuó a 0.10 m sobre la base del suelo de forma manual con un vernier milimétrico (Alanís *et al.*, 2008). El diámetro de copa (k) es la distancia que mide la proyección de la copa, registradas en dos direcciones, Norte-Sur y Este-Oeste y se estima un valor promedio (Alanís *et al.*, 2020).

Análisis estadísticos. Se realizó una prueba de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk a los parámetros de altura total (h), diámetro basal ($d_{0.10}$) y diámetro de copa (k) de las especies evaluadas. Para determinar si los valores presentaban diferencias estadísticas para los datos paramétricos se utilizó un ANOVA de un factor, y para los no paramétricos la prueba de H de Kruskal-Wallis. Para determinar en qué estación del año existió diferencia se realizaron pruebas post hoc; la prueba de Tukey para el ANOVA y la de Games Howell para la prueba de H de Kruskal-Wallis. Todos los análisis se realizaron en el Software IBM SPSS Statistics (IBM Corp., 2020).

Estimación de la supervivencia. Para estimar la supervivencia de las especies a un año de la reforestación se utilizó la fórmula propuesta por la (CONAFOR, 2010).

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n ai}{\sum_{i=1}^n mi} * 100$$

Donde:

P = Proporción estimada de árboles vivos (expresada en %)

\sum = Sumatoria de los datos de acuerdo con la variable a o m

ai = Número de plantas vivas en el sitio de muestreo

mi = Número de plantas vivas y muertas en el sitio de muestreo

RESULTADOS

Altura. Los resultados indicaron que no existen diferencias estadísticas en el crecimiento durante las cuatro mediciones de las seis especies evaluadas ($p > 0.05$). Sin embargo, las especies presentaron un ligero aumento en su altura promedio entre la primera y última evaluación, las especies que tuvieron mayor crecimiento fueron *Havardia pallens* con 14.3 cm, *Senegalia berlandieri* con 10.2 cm y *Cordia boissieri* con 9.2 cm.

Diámetro basal. Cinco de las seis especies mostraron incrementos significativos en su crecimiento ($p < 0.05$). La única especie que no presentó diferencias estadísticas significativas en el crecimiento de diámetro basal ($d_{0.10}$) fue *Senegalia berlandieri* ($p = 0.101$). Considerando el diámetro basal inicial y final de cada especie se estimó la diferencia en crecimiento, obtenido que las especies con mayores valores fueron *Cordia boissieri* con 5.0 mm, *Havardia pallens* con 3.8 mm y *Helietta parvifolia* con 3.1 mm. Las especies con menor crecimiento fueron *Ebenopsis ebano* y *Prosopis glandulosa* con 1.8 y 1.5 mm respectivamente.

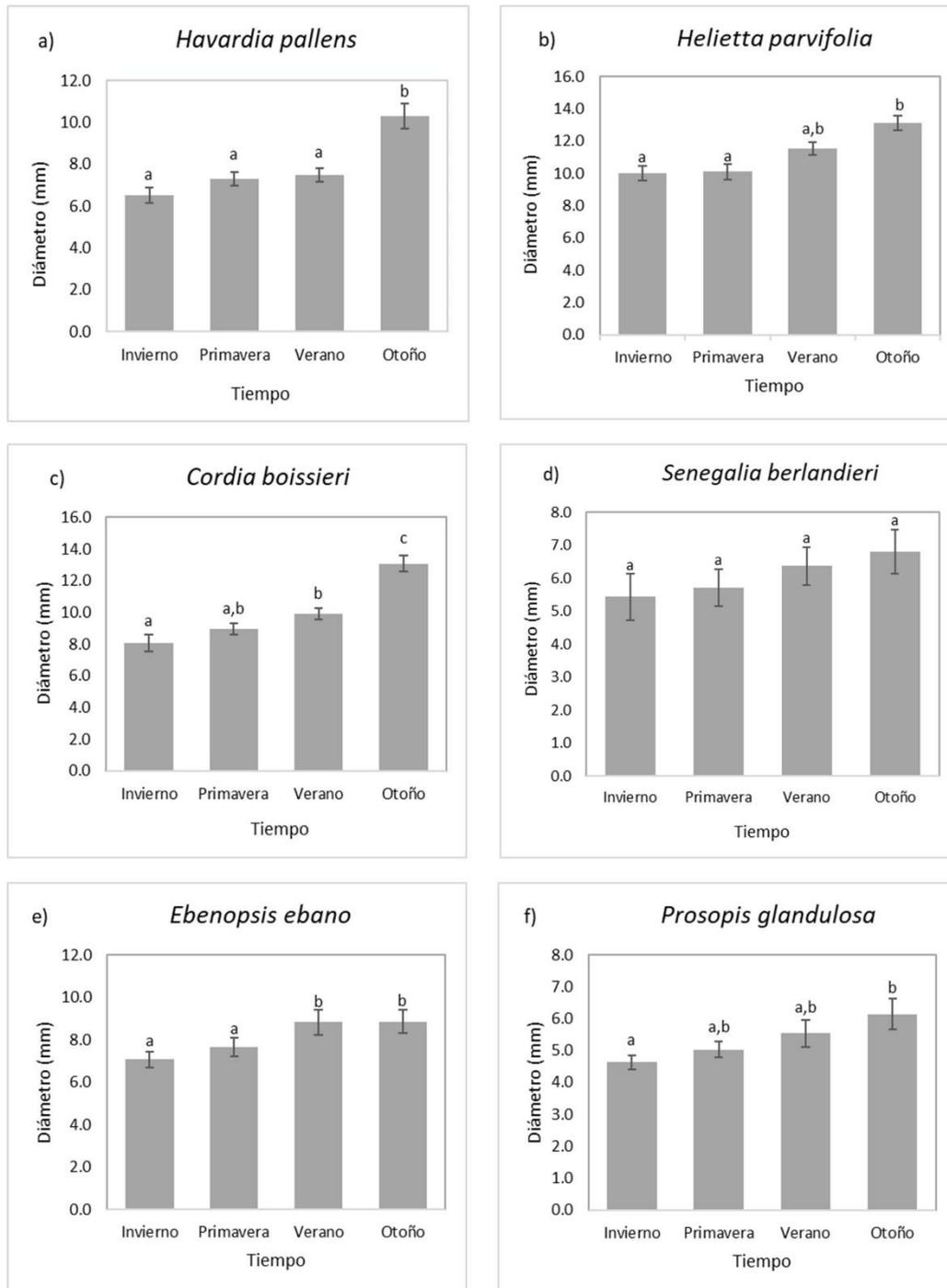


Figura 2. Crecimiento en diámetro basal (mm) de las seis especies en los cuatro periodos de evaluación (invierno, primavera, verano y otoño). Valores promedios \pm error estándar de la media calculado. Letras diferentes (a, b, c) indican niveles diferentes de significancia ($p < 0.05$).

Figure 2. Basal diameter growth (mm) of the six species in the four evaluation periods (winter, spring, summer, and autumn). Mean values \pm standard error of the mean calculated. Different letters (a, b, c) indicate different levels of significance ($p < 0.05$).

Diámetro de copa. Todas las especies mostraron incrementos significativos de diámetro de copa (k) durante el periodo evaluado ($p < 0.05$). Considerando el diámetro de copa promedio registrado en la primera y última evaluación de cada especie se estimó la diferencia. Las especies que tuvieron mayor crecimiento promedio fueron *Havardia pallens* con 56.6 cm, *Cordia boissieri* con 36.2 cm, *Senegalia berlandieri* con 25.5 cm y *Prosopis glandulosa* con

19.6 cm. Las especies que presentaron menor crecimiento fueron *Helietta parvifolia* y *Ebenopsis ebano* con un crecimiento de 10.2 y 10.0 cm respectivamente.

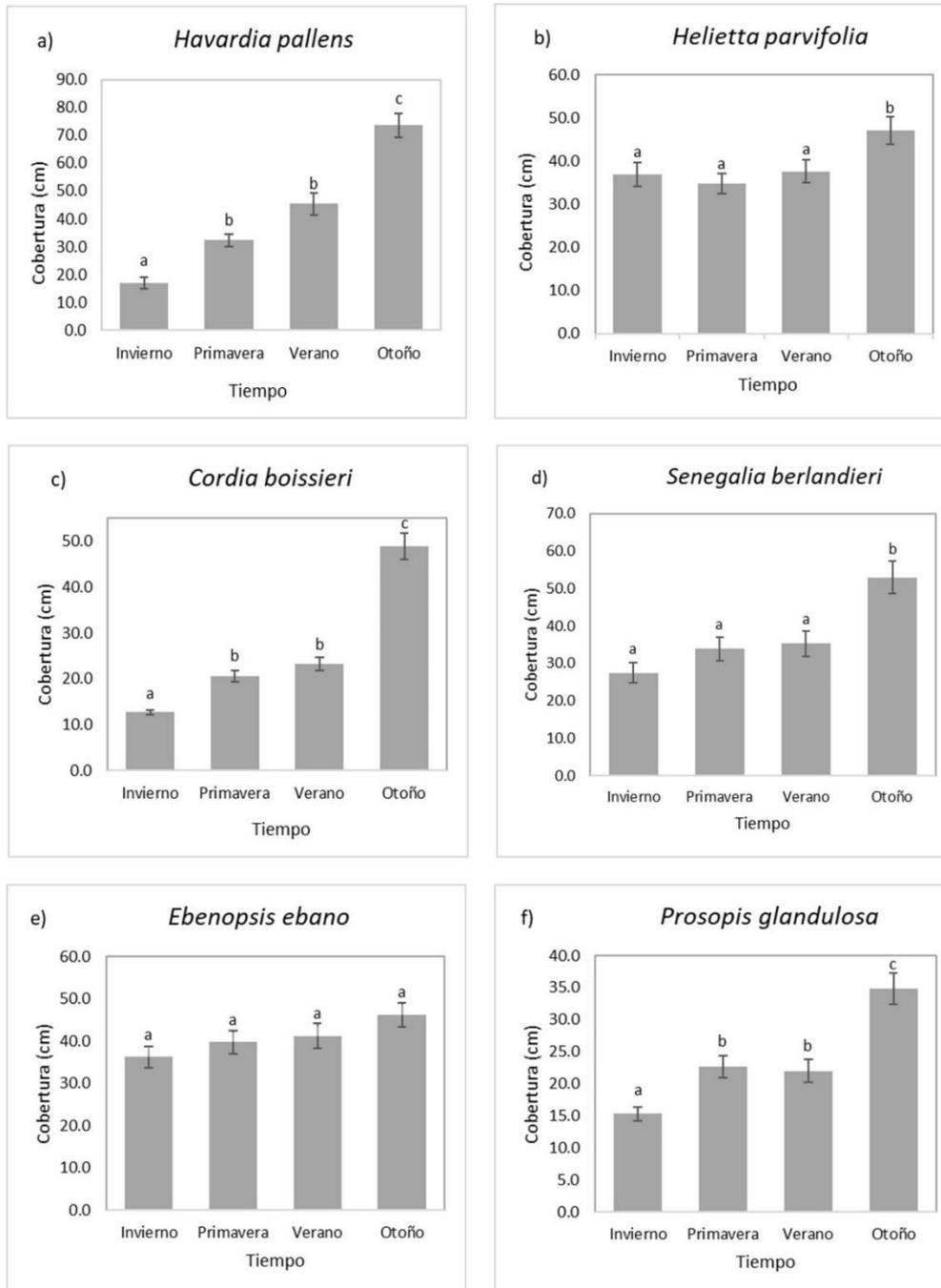


Figura 3. Crecimiento en cobertura de copa (cm) de las seis especies en los cuatro periodos de evaluación (invierno, primavera, verano y otoño). Valores promedios \pm error estándar de la media calculado. Letras diferentes (a, b, c) indican niveles diferentes de significancia ($p < 0.05$).

Figure 3. Canopy cover growth (cm) of the six species in the four evaluation periods (winter, spring, summer, and autumn). Mean values \pm standard error of the mean calculated. Different letters (a, b, c) indicate different levels of significance ($p < 0.05$)

Supervivencia. El porcentaje de supervivencia considerando todas las especies fue del 96%. En específico, *Cordia boissieri* presentó un 97%, *Senegalia berlandieri*, *Ebenopsis ebano*, *Prosopis glandulosa* y *Havardia pallens* presentaron un 96.5% y *Helietta parvifolia* un 93.3%.

DISCUSIÓN

Altura. Los resultados indican que ninguna de las seis especies presentó un crecimiento significativo en altura a un año de la reforestación ($p > 0.05$). Estos resultados concuerdan parcialmente con los de Vega *et al.* (2017), quienes también evaluaron una reforestación en el matorral espinoso tamaulipeco a un año de establecerse y no registraron incremento en la altura en cinco especies, pero sí registraron mortalidad o herbívora en cuatro (*Castela erecta*, *Cordia boissieri*, *Parkinsonia texana* y *Zanthoxylum fagara*). Este daño también fue registrado por Patiño *et al.* (2022) para dos especies (*Eysenhardtia texana* y *Leucophyllum frutescens*) a un año de haber sido plantadas, y también lo asocian a la mortalidad del tallo principal y herbívora. El hecho de que no se presente incremento en altura a un año de la reforestación es esperado, ya que como comenta Arriaga *et al.*, (1994) algunas especies del matorral presentan crecimiento limitado en la altura debido a las escasas precipitaciones (La precipitación media anual es de $770 \text{ mm} \pm 46.97$) y altas temperaturas (La temperatura media mensual más cálida está entre 30 y 31 °C y se presenta en los meses de junio, julio y agosto, llegando a alcanzar los 40 °C (INEGI, 1986)) de las localidades donde se desarrollan, canalizando su crecimiento en el diámetro basal, cobertura de copa y raíz.

Diámetro basal. Cinco de las seis especies mostraron incrementos significativos en su crecimiento ($p < 0.05$), siendo *Cordia boissieri* y *Havardia pallens* las que presentaron mayores valores. Estos resultados de incremento en diámetro basal concuerdan con los de Patiño *et al.*, (2022), quienes evaluaron una reforestación de un año con cuatro especies (*Cordia boissieri*, *Caesalpinia mexicana*, *Eysenhardtia texana* y *Leucophyllum frutescens*). Los resultados difieren parcialmente con los de Vega *et al.*, (2017) quienes evaluaron una reforestación de un año de establecida en el matorral espinoso tamaulipeco, donde cinco especies presentaron incremento en el diámetro basal (*Acacia amentacea*, *A. farnesiana*, *Eysenhardtia texana*, *Leucophyllum frutescens*, *Prosopis glandulosa*) y seis mostraron decremento (*Castela erecta*, *Cordia boissieri*, *Croton incanus*, *Forestiera angustifolia*, *Parkinsonia texana* y *Zanthoxylum fagara*); ya que presentaron como estrategia de respuesta la muerte de la parte superior de fuste principal y el rebrote en la base del tallo. Menges *et al.* (2020) y Alanís *et al.* (2020) indican que una estrategia que presentan algunas especies vegetales ante un disturbio es el rebrote, el cual les permite restablecerse después de incendios, heladas o huracanes. Una posible explicación del porque no murió la parte aérea y por consecuencia no rebrotaron las plántulas de la base del cuello de este estudio fue al riego, lo que les ayudó a disminuir el estrés hídrico, aunado a que en el vivero se sometieron a un proceso de endurecimiento previo a la reforestación, que es una práctica realizada durante la producción de planta de vivero en la que se estimulan mecanismos de resistencia a un factor de estrés (Ávila *et al.*, 2019).

Diámetro de copa. Todas las especies mostraron incrementos significativos del diámetro de copa (k) durante el periodo evaluado ($p < 0.05$). Estos resultados son similares a los de Patiño *et al.*, (2022) quienes también registraron incremento en la cobertura de copa en una reforestación de un año con cuatro especies del matorral espinoso tamaulipeco. Patiño *et al.* (2022) y Molina *et al.* (2023) indican que una variable importante en los programas de restauración ecológica es la cobertura de copa de la vegetación que se establece, ya que cubre la superficie del suelo y provee de materia orgánica. Las especies que presentaron mayor crecimiento promedio en el año de evaluación fueron *Havardia pallens* con 56.6 cm, *Cordia boissieri* con 36.2 cm, *Senegalia berlandieri* con 25.5 cm y *Prosopis glandulosa* con 19.6 cm. *Havardia pallens* y *Cordia boissieri* igual que otras especies que se establecen en las primeras fases sucesionales como *Acacia farnesiana* y *Parkinsonia aculeata* tienden a tener mayor crecimiento durante los primeros años de su establecimiento, por lo tanto, son recomendadas en los programas de restauración ecológica (Foroughbakhch *et al.*, 2001; Foroughbakhch *et al.*, 2014; Molina *et al.*, 2023).

Supervivencia. La supervivencia de las especies a un año de su reforestación fue de 96% , porcentaje alto comparado a otras reforestaciones realizadas en el matorral espinoso tamaulipeco (Tabla 2) y a las reforestaciones de la CONAFOR a nivel nacional de 53% y en el estado de Nuevo León del 30% (Prieto *et al.*, 2016). Con los resultados obtenidos en la investigación y los resultados de la Tabla 2 se aprecia que pudiera existir una relación entre el tamaño de la plántula y el porcentaje de supervivencia, siendo entre mayor tamaño de la

plántula mayor porcentaje de supervivencia. Estos resultados también fueron registrados por (Rojas *et al.* (2013) y Ivetiá *et al.* (2016), donde determinaron mayores porcentajes de supervivencia en plántulas de mayor tamaño.

Además del tamaño de plántula, también se pudiera atribuir el alto porcentaje de supervivencia de las especies de esta investigación a las actividades de mantenimiento de la plantación, entre ellas la más importante el riego, el cual reduce el estrés hídrico de la planta. Se ha documentado diversas reforestaciones en zonas áridas y semiáridas como los flujos de agua superficial determinan el éxito en la supervivencia y crecimiento de las plántulas (Smanis *et al.*, 2021; Valdecantos *et al.*, 2014). Otra actividad de mantenimiento fue la remoción de las herbáceas, las cuales representan una competencia por el espacio en las primeras fases de la plantación (Vega *et al.*, 2017). En el caso específico del *Prosopis glandulosa*, Mata *et al.* (2022) documentaron un bajo porcentaje supervivencia por herbívora, por lo que en esta investigación se utilizó protectores individuales, los cuales cumplieron con el objetivo de proteger las plántulas, ya que presentaron un 96.5% de supervivencia.

Tabla 2. Estudios previos de reforestaciones en el matorral espinoso tamaulipeco. Se indica la ubicación de la reforestación, las especies utilizadas, la procedencia de las plántulas, la localidad de la plantación, la altura promedio de las plántulas, el tiempo de la plantación y el porcentaje de supervivencia.

Table 2. Previous studies of reforestations in the Tamaulipan thornscrub. The location of the reforestation, the species used, the provenance of the seedlings, the locality of the plantation, the average height of the seedlings, the planting time, and the survival percentage are indicated.

Autores / ubicación	Especies	Procedencia / localidad de plantación	Altura de plántulas	Tiempo de plantación	Porcentaje de supervivencia
Vega <i>et al.</i> (2017) / Pesquería, N.L.	<i>Acacia amentacea</i> , <i>Acacia farnesiana</i> , <i>Castela erecta</i> , <i>Cordia boissieri</i> , <i>Eysenhardtia texana</i> , <i>Forestiera angustifolia</i> , <i>Leucophyllum frutescens</i> , <i>Prosopis glandulosa</i> , <i>Zanthoxylum fagara</i> <i>Parkinsonia texana</i> , <i>Croton incanus</i> <i>Caesalpinia mexicana</i> , <i>Cordia boissieri</i> , <i>Eysenhardtia texana</i> y <i>Leucophyllum frutescens</i>	Trasplante / Valle	1.30 cm	12 meses	51.6
Patiño-Flores <i>et al.</i> (2022) / Pesquería, N.L.	<i>Celtis pallida</i> , <i>Condalia hookeri</i> , <i>Cordia boissieri</i> , <i>Diospyros texana</i> , <i>Ebenopsis ebano</i> , <i>Ehretia anacua</i> , <i>Erythrostemon mexicanus</i> , <i>Havardia pallens</i> , <i>Parkinsonia aculeata</i> , <i>Prosopis glandulosa</i> , <i>Senegalia berlandieri</i> , <i>Senegalia wrightii</i> , <i>Vachellia farnesiana</i> ,	Vivero / Loma	1.45 cm	41 meses	49.4
Mata <i>et al.</i> (2022) / Los Ramones, N.L.	<i>Senegalia berlandieri</i> , <i>Senegalia wrightii</i> , <i>Vachellia farnesiana</i> ,	Vivero / Valle	30 cm	31 meses	28.7

	<i>Vachellia rigidula,</i> <i>Yucca filifera</i>				
	<i>Celtis pallida,</i> <i>Condalia hookeri,</i> <i>Cordia boissieri,</i> <i>Diospyros texana,</i> <i>Ebenopsis ebano,</i> <i>Ehretia anacua,</i> <i>Erythrostemon</i> <i>mexicanus, Havardia</i> <i>pallens,</i>				
Mata et al. (2023) / Cadereyta, N.L.	<i>Leucophyllum</i> <i>frutescens,</i> <i>Parkinsonia</i> <i>aculeata, Prosopis</i> <i>glandulosa,</i> <i>Senegalia</i> <i>berlandieri,</i> <i>Senegalia wrightii,</i> <i>Vachellia farnesiana,</i> <i>Vachellia rigidula,</i> <i>Yucca filifera</i>	Vivero / Valle	30 cm	31 meses	31.7

CONCLUSIONES

La hipótesis uno se acepta, ya que todas las especies presentaron una supervivencia mayor al 80 % a un año de ser plantadas. Este alto porcentaje podría estar asociado al tamaño de la plántula y las correctas acciones de mantenimiento de la plantación como el riego y la remoción de las herbáceas. La hipótesis dos se acepta parcialmente, ya que las especies no presentaron crecimiento en altura, pero sí en el diámetro basal y cobertura de copa. Las especies que presentaron mayores incrementos en diámetro basal y diámetro de copa fueron *Havardia pallens* y *Cordia boissieri*.

Recomendaciones

Para asegurar un porcentaje alto de supervivencia se recomienda usar plántulas mayores a 0.80 m de altura y acciones de mantenimiento de la plantación como el riego y la remoción de las herbáceas. Se recomienda generar investigaciones que evalúen la relación costo/beneficio del tamaño de la plántula y su crecimiento y supervivencia para poder proponer estrategias que optimicen las actividades de gestión. Adicionalmente se recomienda evaluar también la efectividad de la aplicación de hidrogel y enraizador en el crecimiento y supervivencia de las especies del matorral espinoso tamaulipeco.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera especial a la empresa constructora OPERADORA TERRA REGIA S.A. DE C.V. por el apoyo para la realización de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Alanís Rodríguez, E., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderón, Ó., Treviño Garza, E., Jurado Ybarra, E., & González Tagle, M. A. (2008). Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL*, 11(1), 56–62.
- Alanís Rodríguez, E., Martínez Adriano, C. A., Sánchez Castillo, L., Rubio Camacho, E. A., & Valdecantos, A. (2023). Land abandonment as driver of woody vegetation dynamics

- in Tamaulipan thornscrub at Northeastern Mexico. *PeerJ*, 11. <https://doi.org/10.7717/peerj.15438>
- Alanís Rodríguez, E., Mora Olivo, A., & Marroquín de la fuente, J. (2020). *Muestreo ecológico de la vegetación* (Primera edición). Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Arriaga, M., Cervantes, G., & Vargas Mena, A. (1994). *Manual de reforestación con especies nativas: colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas*. SEDESOL.
- Ávila Angulo, M. L., Gómez Guerrero, A., Aldrete, A., Vargas Hernández, J. J., López López, M. Á., & Hernández Ruiz, J. (2019). Does fertilization hardening improve the morphometric and physiological characteristics of *Pinus rudis* Endl. seedlings? *Revistas Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 26(1), 141–153. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.04.031>
- CONABIO (Comisión Nacional de Biodiversidad). (2011, November 22). *Matorrales*.
- CONAFOR. (2010). *Manual básico de Prácticas de reforestación*.
- CONAFOR. (2024). Reglas de Operación del Programa Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable 2022. *Diario Oficial de La Federación*.
- Filio Hernández, E., González Rodríguez, H., Domínguez-Gómez, T. G., Ramírez Lozano, R. G., Cantú Silva, I., & Del S. Alvarado, M. (2019). Seasonal water relations in four native plants from northeastern Mexico. *Bio Ciencias*, 6(1), 16.
- Foroughbakhch, F., Háuad, L. A., & Céspedes, A. E. (2001). Evaluation of 15 indigenous and introduced species for reforestation and agroforestry in northeastern Mexico. *Agroforestry Systems*, Vol. 51 (3), 2013–2221. <https://doi.org/10.1023/A:1010702510914>
- Foroughbakhch, R., Hernández Piñero, J. L., & Carrillo Parra, A. (2014). Adaptability, growth and firewood volume yield of multipurpose tree species in semiarid regions of Northeastern Mexico. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, Vol.2 (12), 444–453. <https://doi.org/https://doi.org/10.15739/IJAPR.016>
- Foroughbakhch, R., Hernández-Piñero, J. L., Alvarado-Vázquez, M. A., Céspedes-Cabriales, E., Rocha-Estrada, A., & Cárdenas-Avila, M. L. (2009). Leaf biomass determination on woody shrub species in semiarid zones. *Agroforestry Systems*, 77(3), 181–192. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9194-6>
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. UNAM.
- Graciano Ávila, G., Alanís Rodríguez, E., Aguirre Calderón, Ó. A., González Tagle, M. A., Rubio Camacho, E. A., & Mata Balderas, J. M. (2018). Caracterización y estructura florística de un grupo funcional vegetal del matorral espinoso tamaulipeco. *Gayana Botánica*, 75(1), 512–523. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432018000100512>
- IBM Corp. (2020). *IBM SPSS Statistics para Windows* (27.0).
- INEGI. (2024). *Síntesis geográfica del estado de Nuevo León*. <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>
- Ivetić, V., Devetaković, J., & Maksimović, Z. (2016). Initial height and diameter are equally related to survival and growth of hardwood seedlings in first year after field planting. *Reforestación*, 1(2), 6–21. <https://doi.org/10.21750/REFOR.2.02.17>
- López Barrera, F., Martínez Garza, C., & Ceccon, E. (2017). Ecología de la restauración en México: estado actual y perspectivas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 97–112. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.001>
- Mata Balderas, J. M., Cavada Prado, K. A., Sarmiento Muñoz, T. I., & González Rodríguez, H. (2022). Monitoreo de la supervivencia de una reforestación con especies nativas del matorral espinoso tamaulipeco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(71), 28–52. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1229>
- Mata Balderas, J. M., González Sánchez, C. S., Cavada Prado, K. A., & Sarmiento Muñoz, T. I. (2023). Evaluación de una reforestación y regeneración del matorral espinoso tamaulipeco en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(79), 180–212. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i79.1340>
- Menges, E. S., Smith, S. A., Olano, J. M., Schafer, J. L., Clarke, G., & Main, K. (2020). Effects of frequent fire and mowing on resprouting shrubs of Florida scrub, USA. *Fire Ecology*, 16(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s42408-020-0069-1>
- Mohsin, F., Arias, M., Albrecht, C., Wahl, K., Fierro-Cabo, A., & Christoffersen, B. (2021). Species-specific responses to restoration interventions in a Tamaulipan thornforest.

Recibido:
9/febrero/2024

Aceptado:
21/junio/2024

- Forest Ecology and Management*, 491(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119154>
- Molina Guerra, V. M., Mora Olivo, A., Alanís Rodríguez, E., Soto Mata, B. E., & Patiño Flores, A. M. (2019). *Plantas características del matorral espinoso tamaulipeco en México*. Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Molina Guerra, V., Rodríguez, E. A., Cháves-Costa Collantes, A., Mora Olivo, A., Buendía Rodríguez, E., & De la Rosa Manzano, E. (2022). Restauración de un fragmento de matorral espinoso tamaulipeco: respuesta de ocho especies leñosas. *Colombia Forestal*, 26(1), 36–47. <https://doi.org/10.14483/2256201X.19056>
- Patiño Flores, A. M., Alanís Rodríguez, E., Molina Guerra, V. M., Sigala Rodríguez, J. Á., Jurado, E., González Rodríguez, H., & Aguirre Calderón, O. A. (2022). Desempeño de una reforestación con especies arbóreas nativas del matorral espinoso tamaulipeco en áreas degradadas. *Madera y Bosques*, 28(2). <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822342>
- Preece, N. D., Van Oosterzee, P., & Lawes, M. J. (2023). Reforestation success can be enhanced by improving tree planting methods. *Journal of Environmental Management*, 336, 117645. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117645>
- Prieto Ruiz, J. A., Aldrete, A., Hernández Díaz, J. C., & Goche Télles, J. R. (2016). Causas de mortalidad de las reforestaciones y propuestas de mejora. In *Las Reforestaciones en México. Problemas y alternativas de solución* (UJED, pp. 55–66).
- Prieto Ruíz, J. Á., Duarte Santos, A., Goche Télles, J. R., González Orozco, M. M., & Pulgarín Gámiz, M. Á. (2018). Supervivencia y crecimiento de dos especies forestales, con base en la morfología inicial al plantarse. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 151–168. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.182>
- Rojas Zamora, O., Insuasty-Torres, J., Cardenas, C. D. los Á., & Vargas Ríos, O. (2013). Reubicación de plantas de *Espeletia grandiflora* (Asteraceae) como estrategia para el enriquecimiento de áreas de páramo alteradas (PNN Chingaza, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 61(1), 363–376. <https://doi.org/10.15517/rbt.v61i1.11135>
- Smanis, A., Fuentes, D., Fuente, P., & Valdecantos, A. (2021). How far surface water fluxes determine restoration success in Mediterranean degraded areas? Implications for dryland precision restoration. *Journal of Arid Environments*, 187, 104445. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104445>
- Valdecantos, A., Fuentes, D., Smanis, A., Llovet, J., Morcillo, L., & Bautista, S. (2014). Effectiveness of Low-Cost Planting Techniques for Improving Water Availability to *Olea europaea* Seedlings in Degraded Drylands. *Restoration Ecology*, 22(3), 327–335. <https://doi.org/10.1111/rec.12076>
- Vega López, J. A., Alanís Rodríguez, E., Molina Guerra, V. M., Buendía Rodríguez, E., Marín Solís, J. M., & Alcalá Rojas, A. G. (2017). Selección de especies arbóreas y arbustivas para la restauración del matorral espinoso tamaulipeco. *Árido-Ciencia*, 2(1), 3–10.



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

**ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA DE
NANOPARTÍCULAS DE PLATA
BIOSINTETIZADAS A PARTIR DE
EXTRACTOS DE TRES ESPECIES DE
Agave PARA INHIBIR *Bacillus licheniformis***

**ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF SILVER
NANOPARTICLES BIOSYNTHESIZED
FROM EXTRACTS OF THREE SPECIES
OF *Agave* TO INHIBIT *Bacillus licheniformis***

**Martínez Martínez, Sandra Yarensy; Amaury Martín Arzate Fernández; María
Guadalupe González Pedroza; Hilda García-Núñez y Eulogio De la Cruz Torres**

ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA
BIOSINTETIZADAS A PARTIR DE EXTRACTOS DE TRES ESPECIES DE *Agave* PARA
INHIBIR *Bacillus licheniformis*

ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF SILVER NANOPARTICLES BIOSYNTHESIZED
FROM EXTRACTS OF THREE SPECIES OF *Agave* TO INHIBIT *Bacillus licheniformis*

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 149-157 México. Julio 2024

DOI: 10.18387/polibotanica.58.10



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0
Atribución-No Comercial ([CC BY-NC 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)).

Actividad antibacteriana de nanopartículas de plata biosintetizadas a partir de extractos de tres especies de *Agave* para inhibir *Bacillus licheniformis*

Antibacterial activity of silver nanoparticles biosynthesized from extracts of three species of *Agave* to inhibit *Bacillus licheniformis*

Sandra Yarensy Martínez Martínez; Amaury Martín Arzate Fernández; María Guadalupe González Pedroza; Hilda García-Núñez y Eulogio De la Cruz Torres

ACTIVIDAD
ANTIBACTERIANA DE
NANOPARTÍCULAS DE
PLATA BIOSINTETIZADAS
A PARTIR DE EXTRACTOS
DE TRES ESPECIES DE
Agave PARA INHIBIR
Bacillus licheniformis

ANTIBACTERIAL
ACTIVITY OF SILVER
NANOPARTICLES
BIOSYNTHESIZED FROM
EXTRACTS OF THREE
SPECIES OF *Agave* TO
INHIBIT *Bacillus licheniformis*

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 149-157. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.10

Sandra Yarensy Martínez Martínez <https://orcid.org/0009-0006-9317-545X>

Amaury Martín Arzate Fernández

Autor de correspondencia: amaury1963@yahoo.com.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8603-0099>

Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEMéx, Toluca, Estado de México, México

María Guadalupe González Pedroza <https://orcid.org/0000-0002-6095-9673>

Departamento de Biotecnología, Facultad de Ciencias, UAEMéx,

Toluca, Estado de México, México

Hilda García-Núñez

Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEMéx, Toluca, Estado de México, México

Eulogio De la Cruz Torres <https://orcid.org/0000-0002-6870-1765>

Departamento de Biología, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Ocoyoacac, Estado de México, México

RESUMEN: *Bacillus licheniformis* es un agente contaminante del cultivo *in vitro* de plantas de agave, lo cual provoca pérdidas en su propagación. El uso de nanopartículas de plata (AgNPs) biosintetizadas a partir de extractos acuosos de especies de este género, es una alternativa ecológica para controlar la contaminación causada por este microorganismo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la actividad antibacteriana de AgNPs biosintetizadas a partir de extractos acuosos de tres especies de *Agave* (*A. tequilana*, *A. cupreata* y *A. salmiana*), como agentes reductores para biosintetizar AgNPs, para inhibir el crecimiento de *B. licheniformis* y caracterizar las nanopartículas biosintetizadas. Para la biosíntesis de AgNPs se probaron extractos acuosos de tres especies de *Agave* y seis concentraciones relación volumen de Ag: volumen de extracto. Se evaluó la actividad antibacteriana mediante la prueba de sensibilidad de Kirby-Bauer y finalmente, las AgNPs se caracterizaron mediante análisis espectroscópico UV-Vis, microscopía electrónica de transmisión y espectroscopía de rayos X de energía dispersiva. Las AgNPs biosintetizadas a partir de *A. tequilana* y *A. cupreata* que presentaron un menor tamaño mostraron una mejor eficacia antibacteriana contra *B. licheniformis* que las AgNPs con un tamaño mayor, biosintetizadas a partir de *A. salmiana*. Nuestros resultados proporcionan un método ecológico, simple y de bajo costo para la biosíntesis de AgNPs con actividad antibacteriana.

Palabras clave: *Agave tequilana*; *Agave cupreata*; *Agave salmiana*; nanopartículas; actividad antibacteriana.

ABSTRACT: *Bacillus licheniformis* is a contaminating agent in the *in vitro* cultivation of agave plants, which causes losses in its propagation. The use of silver nanoparticles (AgNPs) biosynthesized from aqueous extracts of species of this genus is an ecological alternative to control the contamination caused by this microorganism. The objective of the present work was to evaluate the antibacterial activity of AgNPs biosynthesized from aqueous extracts of three species of *Agave* (*A. tequilana*, *A. cupreata* and *A. salmiana*), as reducing agents to biosynthesize AgNPs, to inhibit the growth of *B. licheniformis* and characterize the biosynthesized

nanoparticles. For the biosynthesis of AgNPs, aqueous extracts of three *Agave* species and six concentrations ratio volume of Ag: volume of extract were evaluated.

The antibacterial activity was evaluated using the Kirby-Bauer sensitivity test and finally, the AgNPs were characterized by UV-Vis spectroscopic analysis, transmission electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy. The AgNPs biosynthesized from *A. tequilana* and *A. cupreata* that had a smaller size showed better antibacterial efficacy against *B. licheniformis* than the AgNPs with a larger size, biosynthesized from *A. salmiana*. Our results provide a green, simple, and low-cost method for the biosynthesis of AgNPs with antibacterial activity.

Key words: *Agave tequilana*; *Agave cupreata*; *Agave salmiana*; nanoparticles; antibacterial activity.

INTRODUCCIÓN

El cultivo del género *Agave* tiene gran demanda debido a su importancia social, económica y cultural. Una de las principales problemáticas fitosanitarias que afecta la calidad de este, es la presencia de agentes patógenos causantes de enfermedades tanto en condiciones *in vitro* como *ex vitro*. En este sentido se ha reportado la presencia de *Bacillus licheniformis*, una bacteria grampositiva endógena (Martínez-Rodríguez *et al.*, 2019), que coloniza el tejido interno de la raíz y tallo de la planta, lo cual dificulta la propagación *in vitro* de la especie (Abreu *et al.*, 2016). Aunado a esto, el control por métodos químicos es ineficiente, incrementa los costos de propagación y genera un impacto negativo al ambiente. Por lo tanto, los investigadores se han centrado en el desarrollo de nuevos productos antimicrobianos, biodegradables y renovables (Hind *et al.*, 2016). En este sentido, se ha reportado el efecto antibacteriano de nanopartículas de plata, con aplicaciones potenciales en los campos de salud, medicina y agricultura (Carrillo *et al.*, 2014). Hoy en día, para la síntesis de nanopartículas verdes, se emplean varios componentes biológicos como microbios, algas, enzimas y extractos de plantas de manera efectiva (Farah *et al.*, 2022). La síntesis de nanopartículas utilizando extractos de plantas se está utilizando como un enfoque innovador para la formulación de nanopartículas metálicas debido a su naturaleza rápida, económica, ecológica y segura. Factores como el tipo de extracto vegetal y su concentración pueden afectar las características morfológicas de las nanopartículas y su eficiencia antibacteriana (López-Naranjo *et al.*, 2018).

Por otro lado, en las cadenas productivas de bebidas alcohólicas derivadas del agave en las que se utiliza *A. tequilana* para la elaboración de tequila, *A. cupreata* para el mezcal y *A. salmiana* para el pulque, sólo la piña de esta planta tiene importancia comercial mientras que las hojas constituyen un residuo agroindustrial (Nava-Cruza *et al.*, 2015).

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la actividad antibacteriana de AgNPs biosintetizadas a partir de extractos acuosos de tres especies de agave (*A. tequilana*, *A. cupreata* y *A. salmiana*) para inhibir el crecimiento de *B. licheniformis* y caracterizar las nanopartículas biosintetizadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación del extracto

Las plantas fueron obtenidas del Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Toluca, Estado de México. Se seleccionaron plantas de *Agave tequilana* (ATE), *A. cupreata* (ACU) y *A. salmiana* (ASA) de las cuales se recolectaron hojas de cada especie, se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 3% y se enjuagaron con agua destilada estéril. Posteriormente, las hojas se colocaron en un horno de secado a 45°C por tres meses para su deshidratación. Después de este periodo, se preparó el extracto acuoso de hoja para cada una de las especies de *Agave*: se mezcló 0.5 g de las hojas con 100 ml de agua destilada estéril y se calentó hasta punto de ebullición durante 1 minuto. Los extractos se filtraron diez veces y se realizó un segundo filtrado utilizando una unidad de ultrafiltración Amicon de 30 kDa para purificarlos.

Biosíntesis de AgNPs

Para la biosíntesis de nanopartículas se utilizó la metodología propuesta por González-Pedroza *et al* (2021), se utilizó una solución acuosa 0.1 mM de nitrato de plata (Sigma-Aldrich) y extractos de ATE, ACU y ASA en relación 0.1g de biomasa/mL. La biosíntesis, consiste en una reacción redox en la cual el agente reductor son los extractos acuosos y el agente oxidante es la sal precursora, las cuales se hacen reaccionar a punto de ebullición y pH neutro, para estos experimentos se utilizaron seis concentraciones de relación volumen de Ag: volumen de extracto (5:5, 5:3, 3:4, 2:5, 1:5 y 3:5), para las tres especies.

Ensayo antibacteriano

Para evaluar la actividad antibacteriana se siguió la prueba de sensibilidad de Kirby-Bauer, se extendieron 2 mL de suspensión de *Bacillus licheniformis* que contenía 1.8×10^5 UFC/mL sobre placas Petri con medio agar. Se colocaron discos con las seis concentraciones de extractos de AgNPs biosintetizadas a partir de ATE, ACU y ASA (Tabla 1), cada disco de 6 mm contenía 10 µl de AgNPs. Las placas petri que contenían los tratamientos del bioensayo se incubaron a 28°C durante 24 horas. Después de este periodo, se midió el halo de inhibición generado por las AgNPs sobre *B. licheniformis*.

Tabla 1. Concentraciones de los tratamientos de la prueba de sensibilidad de Kirby-Bauer.

Table 1. Treatment concentrations of the Kirby-Bauer sensitivity test.

Tratamientos	Concentraciones
ATE+ <i>B. licheniformis</i>	[5:5=1, 5:3=2, 3:4=3, 2:5=4, 1:5=5, 3:5=6]
ACU+ <i>B. licheniformis</i>	[5:5=1, 5:3=2, 3:4=3, 2:5=4, 1:5=5, 3:5=6]
ASA+ <i>B. licheniformis</i>	[5:5=1, 5:3=2, 3:4=3, 2:5=4, 1:5=5, 3:5=6]
Control: <i>B. licheniformis</i>	

Caracterización de AgNPs

Se realizó un análisis espectroscópico UV-Vis para monitorear la formación de AgNPs utilizando un espectrofotómetro UV-Vis (espectrofotómetro VE-5100UV, VELAB EE. UU.) Se analizó en un rango de 200 a 800 nm, en modo de absorción.

Las propiedades estructurales de las nanoestructuras formadas, tales como morfología, tamaño de partículas y distribución de estas; fueron caracterizadas mediante un microscopio electrónico de transmisión (TEM) JEM 2010. El análisis elemental de las nanopartículas se evaluó mediante espectroscopia de rayos X de dispersión de energía (EDS).

Análisis estadístico

Los experimentos incluyeron un diseño totalmente aleatorio, con tres repeticiones y se realizaron por triplicado. Los datos obtenidos del ensayo antibacteriano se sometieron a un análisis de varianza seguido de una prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando el software Stathgraphics versión Centurion.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actividad antibacteriana

La actividad antibacteriana de AgNPs biosintetizadas a partir de extractos de agave se evaluó frente a *B. licheniformis*, una bacteria grampositiva. Se encontró que las AgNPs biosintetizadas a partir de extracto de agave inhiben el crecimiento de *B. licheniformis* (Figura 1). Se sabe que el mecanismo antibacteriano general de la plata es mediante la degradación de la pared celular y la inhibición de la actividad enzimática intracelular (Morales-Luckie *et al.*, 2016). También se ha propuesto que los iones de plata liberados de las nanopartículas de plata pueden inactivar la replicación del ADN y provocar la inhibición de las funciones enzimáticas como resultado de su interacción con restos de fósforo en el ADN (Sánchez-Vieyra *et al.*, 2023).

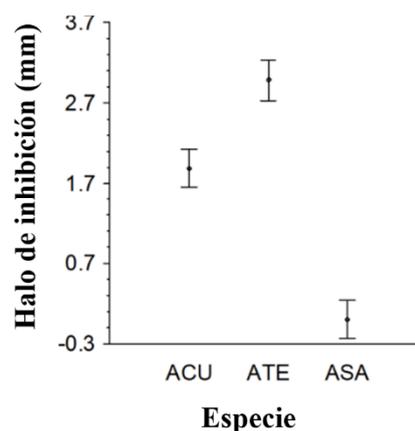


Figura 1. Gráfica de comparación de medias del efecto antibacteriano de AgNPs biosintetizadas con tres especies de *Agave* (*A. cupreata*= ACU, *A. tequilana*=ATE, *A. salmiana*= ASA).

Figure 1. Mean comparison graph of the antibacterial effect of AgNPs biosynthesized with three *Agave* species (*A. cupreata*= ACU, *A. tequilana*=ATE, *A. salmiana*= ASA).

Los análisis estadísticos ($P \leq 0.05$) mostraron que el mayor halo de inhibición hacia *B. licheniformis* con las AgNPs biosintetizadas fue con ATE cuyo halo fue de 2.9 mm, seguido de ACU con 1.9 mm; mientras que, con ASA, no se observó halo de inhibición. Esto evidencia una actividad antibacteriana diferente según el extracto de agave utilizado. La diferencia en la actividad antibacteriana del extracto de la planta depende de la variación de los componentes químicos presentes en el *Agave* (Ahumada-Santos *et al.*, 2013; García-Morales *et al.* 2022). Los principales compuestos bioactivos del género *Agave* son los polifenoles que engloban un gran grupo de compuestos, como flavonoides, quinonas, ácidos fenólicos, flavanoles, flavonas y taninos (Moreno-Luna *et al.*, 2022).

No se observó diferencia estadística en la aplicación de las seis concentraciones usadas en la biosíntesis de AgNPs con ATE para el control de *B. licheniformis*. Para el caso de ACU, se observó que el menor halo de inhibición se obtuvo en las concentraciones: 1 (5:5), 2(5:3) y 3 (3:4), mientras que para la concentración 5 (1:5) que presenta un mayor contenido de extracto de hoja se observó un aumento significativo con un valor de 2.9 mm de halo de inhibición (Figura 2B).

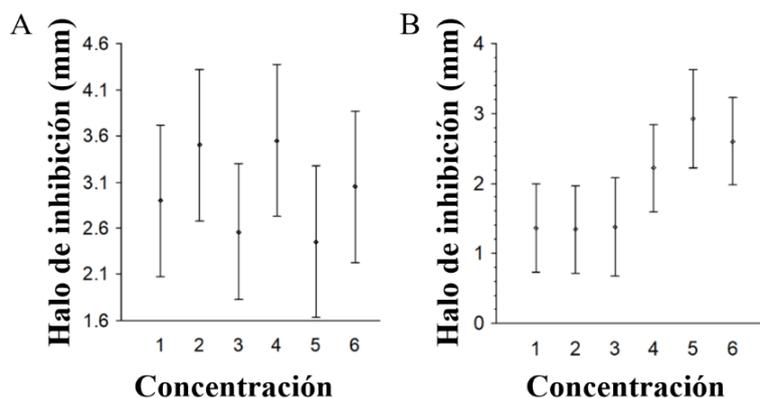


Figura 2. Gráfica de comparación de medias del efecto antibacteriano de AgNPs biosintetizadas utilizando seis concentraciones de relación volumen Ag: volumen extracto. A) *A. tequilana* y B) *A. cupreata*. 1= 5:5, 2= 5:3, 3= 3:4, 4= 2:5, 5= 1:5 y 6= 3:5.

Figure 2. Mean comparison graph of the antibacterial effect of biosynthesized AgNPs using six concentrations of Ag volume ratio: extract volume. A) *A. tequilana* and B) *A. cupreata*. 1= 5:5, 2= 5:3, 3= 3:4, 4= 2:5, 5= 1:5 and 6= 3:5.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por López-Naranjo *et al.* (2018) quienes lograron mejorar la capacidad antibacteriana de AgNPs sobre *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* utilizando una concentración alta de extracto de agave, lo que generó la presencia de un mayor contenido de AgNPs.

Caracterización de AgNPs

Los espectros de absorción de nanopartículas de plata suelen mostrar una banda de absorción de resonancia de plasmón entre longitudes de onda de 392 y 492 nm (Chowdhury *et al.*, 2016), lo que corrobora la presencia de AgNPs biosintetizadas en el presente trabajo.

Los valores de absorbancia para ATE en las seis concentraciones oscilaron de 0.5- 1.2 (Figura 3A), para ACU de 0.2 – 0.3 (Figura 3B), y en ASA se obtuvieron los valores más altos (1.2- 3.5) (Figura 3C) que pudieran estar relacionados con un mayor tamaño de partícula (5.6 nm). Se sabe que las ligeras variaciones en los valores de absorbancia están relacionadas con cambios en el tamaño y la concentración de las partículas (Tripathy *et al.*, 2010) causados por variaciones en la cantidad de metabolitos presentes en las especies (Asimuddin *et al.*, 2020).

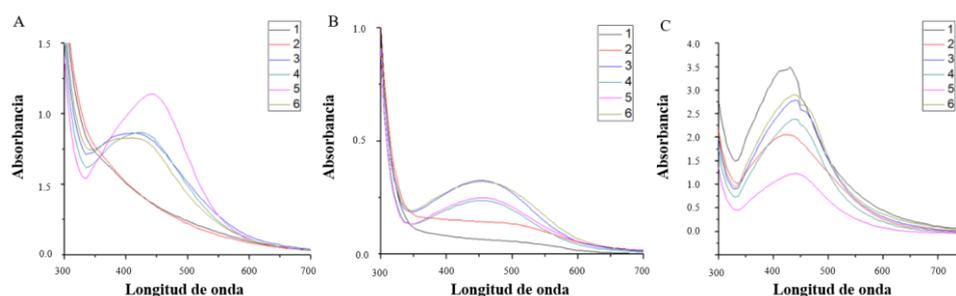


Figura 3. Espectros de rango UV-Vis de AgNPs biosintetizadas a partir de extractos de tres especies de *Agave*: A) *A. tequilana*, B) *A. cupreata* y C) *A. salmiana*, utilizando seis concentraciones de relación volumen Ag: volumen extracto. 1= 5:5, 2= 5:3, 3= 3:4, 4= 2:5, 5= 1:5 y 6= 3:5.

Figure 3. UV-Vis range spectra of AgNPs biosynthesized from extracts of three *Agave* species: A) *A. tequilana*, B) *A. cupreata* and C) *A. salmiana*, using six concentrations of Ag volume ratio: extract volume. 1= 5:5, 2= 5:3, 3= 3:4, 4= 2:5, 5= 1:5 and 6= 3:5.

Las imágenes TEM de las AgNPs se obtuvieron únicamente en la concentración 5 (1:5) de las tres especies de *Agave*. Se obtuvieron AgNPs cuasi esféricas con un tamaño de 3.5 nm, 2.1 y 5.6 para ATE (Figura 4A y B), ACU (Figura 4D y E) y ASA (Figura 4.G y H), respectivamente. Por otro lado, el histograma de distribución de tamaño de las AgNPs biosintetizadas a partir de ATE osciló entre ~1 y 20 nm ($X = 3,5$ nm, $\sigma = 2$ nm, Figura 4C), para ACU osciló entre ~0,5 y 11,5 nm ($X = 2,1$ nm, $\sigma = 0,8$ nm, Figura 4.F), y en ASA osciló entre ~1 y 50 nm ($X = 5,6$ nm, $\sigma = 6$ nm, Figura 4I).

La forma, el tamaño y la cantidad de nanopartículas tienen un efecto sobre el potencial antimicrobiano de las nanopartículas de plata (Iravani *et al.*, 2014). El tamaño de las nanopartículas metálicas garantiza que una superficie significativamente grande de las partículas esté en contacto con el efluente bacteriano.

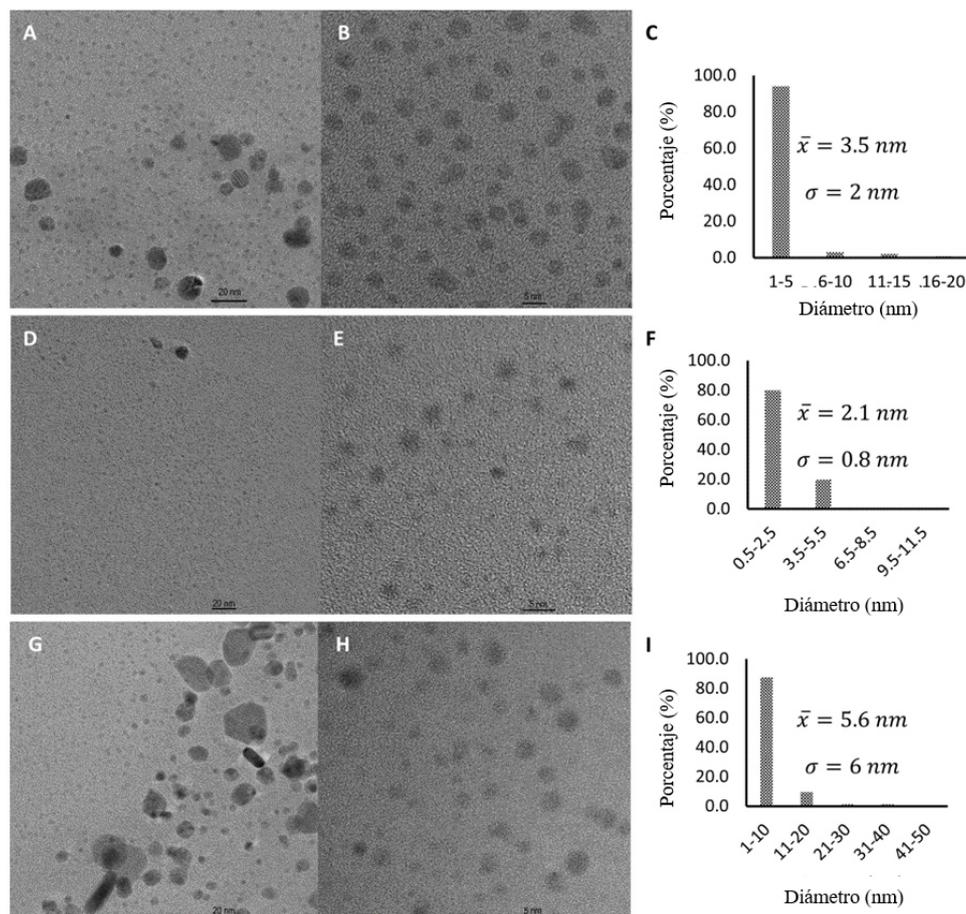


Figura 4. Imágenes TEM de nanopartículas de plata biosintetizadas a partir de tres especies de *Agave*: A-B) *A. tequilana*, D-E) *A. cupreata*, G-H) *A. salmiana* y C, F, I) histograma de distribución de tamaño de AgNPs, respectivamente.

Figure 4. TEM images of silver nanoparticles biosynthesized from three *Agave* species: A-B) *A. tequilana*, D-E) *A. cupreata*, G-H) *A. salmiana* and C, F, I) size distribution histogram of AgNPs, respectively.

La mayor aglomeración de AgNPs se obtuvo al utilizar el extracto de ASA como agente reductor. Sin embargo, cuando se utilizaron extractos ATE y ACU, no se observó aglomeración de partículas, lo que confirma la estabilidad de las soluciones de AgNPs (Chowdhury *et al.*, 2016). La estabilidad se considera una cuestión crucial con respecto a la aplicación de AgNPs, ya que la generación de agregados conduce a la pérdida de actividad antibacteriana (Kvítek *et al.* 2008).

El análisis EDS proporciona el estado cualitativo y cuantitativo de los elementos que pueden estar involucrados en la formación de nanopartículas. Generalmente, los nanocristales de plata metálica muestran un pico típico de alrededor de 3 keV correspondiente al elemento Ag (Ibrahim, 2015), como se muestra en la Figura 4, lo que confirma la existencia de este último.

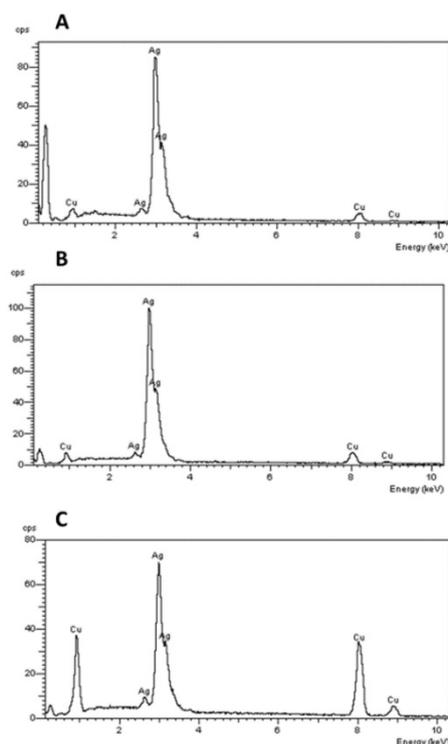


Figura 5. Perfil EDS de AgNPs biosintetizadas a partir de tres especies de *Agave*: A) *A. tequilana*, B) *A. cupreata* y C) *A. salmiana*.

Figure 5. EDS profile of AgNPs biosynthesized from three *Agave* species: A) *A. tequilana*, B) *A. cupreata* and C) *A. salmiana*.

CONCLUSIONES

Este es el primer informe que muestra el efecto antibacteriano de AgNPs biosintetizadas a partir de extractos de agave para el control de *B. licheniformis*.

Las AgNPs biosintetizadas a partir de ATE mostraron un mayor potencial antibacteriano, y podrían ser un control alternativo en la contaminación de cultivos *in vitro*.

Los espectros de absorción de AgNPs mostraron una banda de absorción de resonancia de plasmón entre longitudes de onda de 392 y 492 nm, lo que corroboró la presencia de AgNPs.

Las AgNPs presentaron una forma cuasi esférica con un tamaño de 3.5 nm con ATE, 2.1 nm con ACU y 5.6 nm con ASA.

LITERATURA CITADA

- Abreu, E., Sosa, M., Ascunce Del Sol, G., y González, G. (2016). Efecto de antibióticos en la propagación *in vitro* de *Agave fourcroydes* Lem. *Biología Vegetal*, 16 (1), 31–36.
- Ahumada-Santos, Y. P. Montes-Avila, J., Uribe-Beltrán, M.J., Díaz-Camacho, S.P., López-Angulo, G., Vega-Aviña, R., López-Valenzuela, J.A., José Basilio Heredia, J.B., y Delgado-Vargas, F. (2013). Chemical characterization, antioxidant and antibacterial activities of six *Agave* species from Sinaloa, Mexico. *Industrial Crops and Products*, 49, 143–149.
- Asimuddin, M., Rafi Shaik, M., Farooq, S., Rafiq, M., Alwarthan, A., Jamil, K., y Khan., M. (2020). *Azadirachta indica* based biosynthesis of silver nanoparticles and evaluation of their antibacterial and cytotoxic effects. *Journal of King Saud University - Science*, 32 (1), 648–656.

Recibido:
24/enero/2024

Aceptado:
20/junio/2024

- Chowdhury, N. R., MacGregor-Ramiasa, M., Zilm, P., Majewski, P., y Vasilev, K. (2016). 'Chocolate' silver nanoparticles: Synthesis, antibacterial activity and cytotoxicity. *Journal of Colloid and Interface Science*, 482, 151–158.
- Farah, S., Bashir, A., Laiba, A., Saad, A.K., Abdur, R., Anees, A.K., Afia, Z., Yahia, N.M., Zainab, M.A., Mohamed, F.R., y Javad, S.R. (2022). Antineoplastic and Cytotoxic Evaluation of Green AgNPs and Crude Extracts from *Agave americana*, *Mentha spicata*, and *Mangifera indica* Leaves. *Journal of Nanomaterials*, 2022, 1-13.
- García-Morales, S., Corzo-Jiménez, I.J., Silva-Córdova, N.F., Soto-Cordero, A.M., Rodríguez-Mejía, D.I., Pardo-Núñez, J., y León-Morales, J.M. (2022). Comparative study of steroidal saponin content in leaves of five *Agave* species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102 (13), 5653–5659.
- González-Pedroza, M.G., Argueta-Figueroa, L., García-Contreras, R., Jiménez-Martínez, Y., Martínez-Martínez, E., Navarro-Marchal, S.A., Marchal, J.A., Morales-Luckie, R.A., y Boulaiz, H. (2021). Silver Nanoparticles from *Annona muricata* Peel and Leaf Extracts as a Potential Potent, Biocompatible and Low Cost Antitumor Tool. *Nanomaterials*, 11, 1-17.
- Hind, E.O., Adel, Z., Ahmed, B., Moha, T., y François, B. (2016). Dielectric Properties of Paper Made from Pulps Loaded with Ferroelectric Particles. *Journal of Nanomaterials*, 2016, 1-10.
- Ibrahim, H. M. M. (2015). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using banana peel extract and their antimicrobial activity against representative microorganisms. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8, 265–275.
- Iravani, S., Korbekandi, H., Mirmohammadi, S. V., y Zolfaghari, B. (2014). Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical and biological methods. *Research in pharmaceutical sciences*, 9 (6), 385–406.
- Kvítek, L., Panacek, A., Soukupová, J., Kolář, M., Večeřová, R., Pucek, R., Holecová, M., y Zbořil, R. (2008). Effect of Surfactants and Polymers on Stability and Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles (NPs). *J. Phys. Chem. C*, 112, 5825–5834.
- López-Naranjo, E.J., Hernández-Rosales, I.P., Bueno-Durán, A.Y., Martínez-Aguilar, M.L., González-Ortiz, L.J., Pérez-Fonseca, A.A., Robledo-Ortiz, J.R., Sánchez-Peña, M.J., y Manzano-Ramírez, A. (2018). Biosynthesis of silver nanoparticles using a natural extract obtained from an agroindustrial residue of the tequila industry. *Materials Letters*, 213, 278-281
- Martínez-Rodríguez, A., Macedo-Raygoza, G., Huerta-Robles, A.X., Reyes-Sepulveda, I., Lozano-Lopez, J., García-Ochoa, E.Y., Fierro-Kong, L., Medeiros, Mascio, White, J. y Beltran-Garcia, M.J. (2019). *Agave seed endophytes: Ecology and impacts on root architecture, nutrient acquisition, and cold stress tolerance*. En: Verma, S., White, J. (eds) *Seed Endophytes*. Springer, Cham.139-170.
- Morales-Luckie, R.A., Lopezfuentes-Ruiz, A.A., Olea-Mejía, O.F., Liliana, A.F., Sanchez-Mendieta, V., Brostow, W., y Hinestroza, J.P. (2016). Synthesis of silver nanoparticles using aqueous extracts of *Heterotheca inuloides* as reducing agent and natural fibers as templates: *Agave lechuguilla* and silk. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*, 1;69, 429-436.
- Moreno-Luna, F.B., Herrera-Pérez, J.L., Bautista-Hernández, A., Meraz-Melo, M.A., Santoyo-Salazar, J., y Vázquez-Cuchillo, O. (2022). Biosynthesis of gold nanoparticles from *Agave potatorum* extracts: effect of the solvent in the extraction, *Materials Today Sustainability*, 20, 1-8.
- Nava-Cruza, N. Y., Medina-Morales, M. A., Martínez, J. L., Rodríguez, R., y Aguilera, C. N. (2015). *Agave* biotechnology: An overview. *Critical Reviews in Biotechnology*, 35 (4), 546–559.
- Sánchez-Vieyra, M.T., Ojeda-Martínez, M., Ocegüera-Contreras, E., Rodríguez-Preciado, S. Y., Díaz-Zaragoza, M., Martínez-Zérega, B. E., González-Solis, J. L., y Osegüera-Galindo, D. O. (2023). Eco-friendly high-rate formation of silver nanoparticles in agave inulin and its bactericidal effect against *Escherichia coli*. *Materials Science-Poland*, 41(3), 62-73.
- Tripathy, A., Raichur, A., Chandrasekaran, N., Prathna, T., and Mukherjee, A. (2010). Process variables in biomimetic synthesis of silver nanoparticles by aqueous extract of *Azadirachta indica* (Neem) leaves. *J Nanopart Res*, 2, 237–246.

TRATAMIENTOS QUE PROMUEVEN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE CINCO ESPECIES LEÑOSAS DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO CON LATENCIA FÍSICA

TREATMENTS THAT PROMOTE SEEDS GERMINATION OF FIVE WOODY SPECIES OF THE TAMAULIPAN THORNSCRUB WITH PHYSICAL DORMANCY

**Ruiz-Carranza, Luis Daniel; José Ángel Sigala-Rodríguez; Eduardo Alanís-Rodríguez;
Víctor Manuel Molina-Guerra y Erickson Basave-Villalobos**

TRATAMIENTOS QUE PROMUEVEN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE CINCO
ESPECIES LEÑOSAS DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO CON
LATENCIA FÍSICA

TREATMENTS THAT PROMOTE SEEDS GERMINATION OF FIVE WOODY
SPECIES OF THE TAMAULIPAN THORNSCRUB WITH PHYSICAL DORMANCY



Tratamientos que promueven la germinación de semillas de cinco especies leñosas del Matorral Espinoso Tamaulipeco con latencia física

Treatments that promote seeds germination of five woody species of the Tamaulipan Thornscrub with physical dormancy

Luis Daniel Ruiz-Carranza;
José Ángel Sigala-Rodríguez;
Eduardo Alanís-Rodríguez;
Víctor Manuel Molina-Guerra
y Erickson Basave-Villalobos

TRATAMIENTOS QUE
PROMUEVEN LA
GERMINACIÓN DE
SEMILLAS DE CINCO
ESPECIES LEÑOSAS DEL
MATORRAL ESPINOSO
TAMAULIPECO CON
LATENCIA FÍSICA

TREATMENTS THAT
PROMOTE SEEDS
GERMINATION OF FIVE
WOODY SPECIES OF THE
TAMAULIPAN
THORNSCRUB WITH
PHYSICAL DORMANCY

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 159-170. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.11

Luis Daniel Ruiz-Carranza <https://orcid.org/0000-0001-7344-2801>
Cobano Consultoría Integral Forestal y Medioambiental SA. de CV.
Morelia, Michoacán, México

José Ángel Sigala-Rodríguez <https://orcid.org/0000-0003-4292-8707>
INIFAP, Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental
Valle del Guadiana, Durango, Durango, México

Eduardo Alanís-Rodríguez <https://orcid.org/0000-0001-6294-4275>
Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales.
Linares, Nuevo León, México.

Víctor Manuel Molina-Guerra <https://orcid.org/0000-0003-4405-699X>
Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales.
Linares, Nuevo León, México
RENAC, SA. de CV. Departamento de Investigación
Linares, Nuevo León, México

Erickson Basave-Villalobos.
Autor de correspondencia: basave.erickson@inifap.gob.mx
<https://orcid.org/0000-0002-6743-3623>
INIFAP, Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental
Valle del Guadiana, Durango, Durango, México

RESUMEN: Muchas especies forestales del Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET) presentan problemas de germinación de sus semillas que limitan la propagación de planta en vivero para su uso en los proyectos de restauración o reforestación. El objetivo de este estudio fue definir los tratamientos que promueven la germinación en semillas de cinco especies del MET con latencia física. Las especies estudiadas fueron: *Ebenopsis ebano*, *Havardia pallens*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis laevigata* y *Vachellia farnesiana*. Se recolectó semilla en poblaciones naturales y de individuos fenotípicamente superiores. Se examinaron tratamientos de escarificación que consistieron en diferentes tiempos de inmersión en peróxido de hidrógeno, agua hirviendo y ácido sulfúrico, además de un tratamiento testigo. El ensayo se realizó en cajas Petri con papel filtro dentro de una cámara de germinación en condiciones controladas de humedad y temperatura. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones de 50 semillas por especie. La germinación se contabilizó durante 16 días considerando la emergencia de la radícula de 1 cm de longitud. Se determinó el porcentaje de germinación y se construyeron curvas de germinación acumulada. Se realizó un análisis de varianza y las medias se compararon con la prueba de Tukey a un nivel de significancia de 0.05. Hubo diferencias significativas entre los tratamientos en todas las especies evaluadas. Cada tratamiento tuvo un efecto diferente en función de la especie, destacándose que en la mayoría como es el caso de *E. ebano*, *H. pallens*, *P. laevigata* y *V. farnesiana* funcionaron los tratamientos con ácido sulfúrico, pero con diferente tiempo de inmersión (5 o 25 min). En *P. aculeata* la germinación se incrementó sumergiendo las semillas en agua hirviendo durante 5 minutos. Estos resultados tienen implicaciones prácticas para mejorar el manejo de las semillas de las especies estudiadas en los proyectos de restauración o reforestación en el MET.

Palabras clave: Ácido sulfúrico, escarificación, fabáceas, peróxido de hidrógeno, tratamientos pregerminativos.

ABSTRACT: Many forest species of the Tamaulipan Thornscrub (MET) present seed germination problems that limit seedling propagation in nurseries for use in restoration or reforestation projects. The objective of this study was to define the treatments that promote germination in seeds of five MET species with physical dormancy. The species studied were: *Ebenopsis ebano*, *Havardia pallens*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis laevigata* and *Vachellia farnesiana*. Seed was collected from natural populations and from phenotypically superior individuals. Scarification treatments consisting of different immersion times in hydrogen peroxide, boiling water and sulfuric acid were examined, in addition to a control treatment. The trial was carried out in Petri dishes with filter paper inside a germination chamber under controlled conditions of humidity and temperature. A completely randomized experimental design was used with four replicates of 50 seeds per species. Germination was counted for 16 days considering the emergence of the 1 cm long radicle. The germination percentage was determined, and cumulative germination curves were constructed. Analysis of variance was performed, and means were compared with Tukey's test at 0.05 significance level. There were significant differences among treatments in all species evaluated. Each treatment had a different effect depending on the species, highlighting that in most of them, as is the case of *E. ebano*, *H. pallens*, *P. laevigata* and *V. farnesiana*, the treatments with sulfuric acid worked, but with different immersion times (5 or 25 min). In *P. aculeata* germination was increased by immersing the seeds in boiling water for 5 min. These results have practical implications for improving seed management of the species studied in restoration or reforestation projects in the MET.

Key words: Sulfuric acid, scarification, fabaceas, hydrogen peroxide, pre-germination treatments.

INTRODUCCIÓN

En México, los matorrales son uno de los principales tipos de vegetación por su distribución amplia en el territorio nacional. De acuerdo con estadísticas de la superficie ocupada por esta vegetación es de 576727 Km², lo que representa casi el 30% del territorio. De los diferentes tipos de matorral que México alberga, el matorral espinoso tamaulipeco (MET), tiene una representatividad importante porque ocupa el 5° lugar en extensión con una cobertura de 2.5569 Mha según registros oficiales (Challenger & Soberón, 2008). Su distribución comprende principalmente los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, aunque también abarca parte de territorio de EE.UU. (González Medrano, 2004). El MET es diverso en especies vegetales y en varios estudios se ha resaltado la importancia ecológica, económica, social y cultural de un número representativo de especies leñosas tanto arbóreas como arbustivas (Molina-Guerra *et al.*, 2013, 2019).

Desafortunadamente, grandes extensiones del MET están siendo fragmentadas tanto por causas antropogénicas como naturales. Los cambios en el uso del suelo para actividades agropecuarias, la extracción de leña y los incendios forestales recurrentes son los principales factores de disturbio en estos hábitats (García Hernández & Jurado, 2008; Pequeño-Ledezma *et al.*, 2012). Esto ha impactado considerablemente la composición y estructura de este tipo de vegetación, y, por ende, su funcionamiento (Arriaga, 2009)

Como respuesta a los cambios mencionados, que han ocasionado la pérdida de cobertura arbórea, es preponderante implementar acciones de restauración o recuperación de áreas degradadas por medio de la plantación de especies leñosas (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2010). Sin embargo, la mayor parte de estas especies del MET poseen semillas con ciertos mecanismos de latencia física que dificultan los procesos germinativos (Luera *et al.*, 2021). Esto, por lo tanto, limita su propagación en vivero y ocasiona que a menudo se tenga una representatividad baja de especies para los diferentes proyectos de restauración o reforestación. Por esta razón, es necesario aplicar tratamientos pregerminativos que permitan romper la latencia en las semillas, pero antes es importante identificar qué tipo de tratamiento

funciona mejor para cada especie analizada (Baskin & Baskin, 2014; Sánchez-Soto *et al.*, 2017).

En el MET son representativas las especies de la familia Fabaceae. De estas se destacan *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby & J.W. Grimes, *Havardia pallens* (Benth.) Britton & Rose, *Parkinsonia aculeata* L., *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst., *Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn. y *V. rigidula* (Benth.) Seigler & Ebinger, porque son especies que tienen un potencial alto para la restauración, debido a su capacidad para fijar N atmosférico, rápido crecimiento, producción abundante de materia orgánica, resistencia a la sequía, aunado a su valía por los usos múltiples que tienen en las regiones donde se distribuyen, por ejemplo, como recursos forrajeros y melíferos, así como fuentes de carbón, leña y alimento (Molina-Guerra *et al.*, 2013, 2019).

En las fabáceas es característico la presencia de mecanismos de latencia física, pues constituye una respuesta funcional de adaptación a la variabilidad ambiental que comúnmente presentan los matorrales (Baskin & Baskin, 2014; Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006). La latencia física se refiere a la impermeabilidad de la cubierta de la semilla que impide su germinación (Baskin & Baskin, 2014). Esta impermeabilidad está regulada por la presencia en la testa de una capa de células en empalizada impermeables al agua (Baskin & Baskin, 2014), que puede variar en grosor (García Azpeitia *et al.*, 2022). Por lo general, los tratamientos de escarificación mecánica como la inmersión en agua caliente, o química como la inmersión en ácido sulfúrico o peróxido de hidrógeno (Baskin & Baskin, 2014) son los que se utilizan para remover este tipo de latencia. Estos tratamientos han sido eficaces en numerosas especies de las que ya se tienen protocolos bien definidos (Camacho Morfin, 2011). De especies del MET se tienen algunos antecedentes, por ejemplo, precisamente con *E. ebano* y con *Cordia boissieri* A. DC. y *Zanthoxylum fagara* (L.) Sarg. (Luera *et al.*, 2021). No obstante, aún falta analizar los tratamientos en muchas otras especies. Lo anterior, se debe a que algunas carecen de evidencia en aspectos particulares como por ejemplo tiempos óptimos de exposición; también, porque se ha documentado que, incluso entre poblaciones de una misma especie y a nivel de individuos, existe variación en los caracteres morfológico (Calixto Valencia *et al.*, 2022; Romero-Saritama & Pérez Ruiz, 2016) y anatómicos de las semillas (García Azpeitia *et al.*, 2022). Esto se debe al efecto coyuntural de condicionantes genéticos, fisiológicos y ambientales que afectan cada fuente parental, y, por ende, el desarrollo de las semillas (Bareke, 2018). Por lo tanto, los tratamientos pregerminativos que podrían funcionar para inducir y acelerar la germinación de una especie podrían no ser factibles para otras (Baskin & Baskin, 2014), porque se debe promover la permeabilidad de la testa sin causar daños al endospermo y embrión (Viveros Viveros *et al.*, 2018), aunado a la practicidad de los métodos, lo cual es un aspecto decisivo cuando se requiere manejar cantidades elevadas de semillas.

Por tal motivo, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes tratamientos de escarificación mecánica y química en la germinación de semillas de cinco especies leñosas del MET. La información tiene implicaciones prácticas importantes porque permitirá definir mejores prácticas de manejo de las semillas para su empleo en la propagación de plantas para los proyectos de restauración o reforestación en el MET.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el laboratorio de semillas de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Las semillas se recolectaron de rodales naturales de sitios sin indicios de disturbios por pastoreo, tala, cambios en el uso de suelo o incendios. Estos sitios se encuentran dentro del municipio de Linares, Nuevo León (Figura 1).

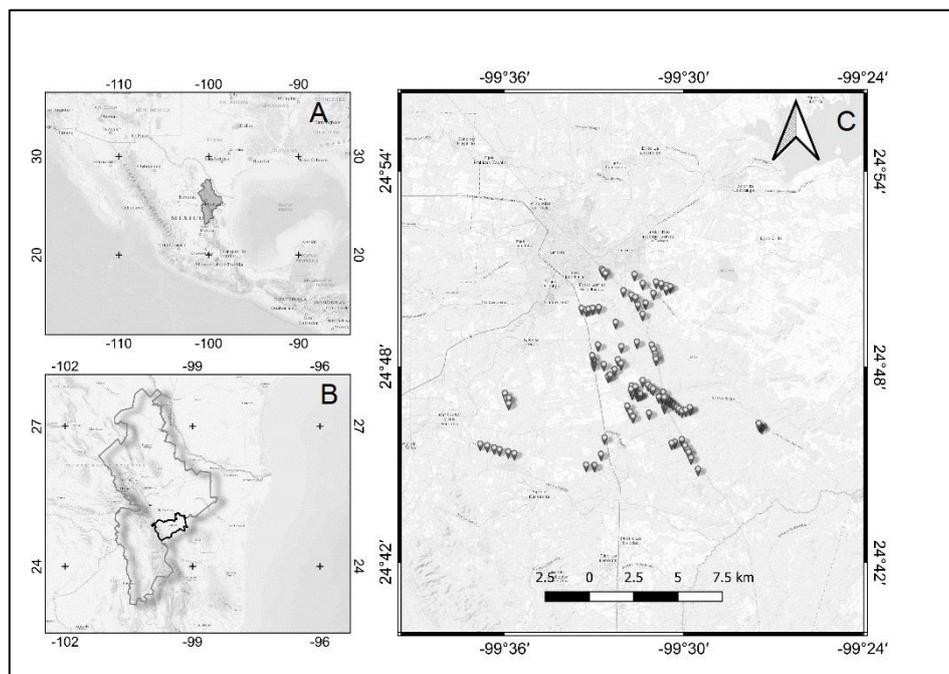


Figura 1. Ubicación de los sitios de recolección de semilla. A. delimitación estatal, B. municipal y C. puntos de localización de las fuentes de semilla.

Figure 1. Location of seed collection sites. A. state delineation, B. municipal delineation, and C. points of seed source localization.

Material de estudio

Las especies de estudio fueron cinco leguminosas arbóreas que se consideraron por su importancia ecológica y económica de acuerdo con Molina-Guerra *et al.* (2019), estas se indican en la tabla 1. El arbolado del que se obtuvieron las semillas fue seleccionado considerando las recomendaciones de Wang & Beardmore (2004), de modo que se eligieron aquellos individuos sin aparentes signos y síntomas de plagas o enfermedades, y con producción abundante de frutos, de igual forma libres de plagas o enfermedades. Se muestrearon 20 árboles por especie homogéneamente distribuidos con el fin de representar la mayor variación genética de las poblaciones. La recolección se realizó durante los meses de abril y mayo de 2021, el cual es el periodo, previo a la dehiscencia, en el que las semillas alcanzan su madurez según la coloración de los frutos y cubierta seminal (Molina-Guerra *et al.*, 2019). Previo a su uso, las semillas se procesaron en laboratorio. Para ello, los frutos, en este caso vainas, se pusieron a secar a temperatura ambiente sobre papel estraza por un periodo de dos meses, para promover su apertura. La extracción de las semillas fue manual procurando obtener las semillas de tamaño uniforme y de la parte media de la vaina, esto para el caso de los frutos polispermos.

Tabla 1. Especies leñosas de la familia Fabaceae del Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET) utilizadas para el estudio de tratamientos pregerminativos.

Table 1. Woody species of the Fabaceae family from the Thorny Tamaulipan Shrubland (TTS) used for the study of pre-germination treatments

No.	Especie	Nombre común
1	<i>Ebenopsis ebano</i> (Berland.) Barneby & J.W. Grimes	Ébano
2	<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose	Tenaza
3	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Retama
4	<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst.	Mezquite
5	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Huizache

Evaluación de tratamientos

Complementariamente, se evaluó la viabilidad de las semillas con la prueba de flotación con base en lo señalado por Wilkinson *et al.* (2014). No se consideraron las semillas flotantes. Una vez depuradas, de cada especie se tomó una muestra de 200 semillas mediante un muestreo al azar, la cual se dividió en cuatro sub-muestras de 50 semillas, para los ensayos con los tratamientos pregerminativos. Se establecieron ensayos de germinación *in vitro* en condiciones controladas de laboratorio. Se utilizó una cámara de germinación marca SL Shel Lab (Sheldon Manufacturing, Inc., OR, EUA) a una temperatura constante de 28 °C, una humedad relativa del 65% y un fotoperiodo de 12 h. La siembra se realizó sobre papel filtro húmedo en cajas Petri. Los tratamientos examinados fueron los siguientes: 1) Peróxido de hidrógeno, 2) agua a punto de ebullición y 3) ácido sulfúrico, cada uno con diferentes tiempos de inmersión; adicionalmente, se consideró un tratamiento testigo (semillas sin ningún tratamiento). En la tabla 2 se detallan los tratamientos aplicados. Los tratamientos se analizaron de forma individual para cada especie. Estos se definieron tomando como base en los reportados o recomendados en la literatura para una especie en particular (Everitt, 1983; Luera *et al.*, 2021; Sobrevilla-solís *et al.*, 2013; Villarreal Garza *et al.*, 2013), aunque un tratamiento pudo ser el mismo para dos o más especies; además, por el número de tratamientos, se consideró la disponibilidad de semillas para definir cuál tratamiento probar en una especie determinada. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, siendo la unidad experimental la sub-muestra de 50 semillas. La germinación se contabilizó diariamente durante un lapso de 16 días, el cual fue el lapso en el que la germinación se estabilizó; es decir, en que ya no se presentaron eventos de germinación. Se consideró semilla germinada a aquella con radícula emergida de 1 cm. La aparición de hongos se previno con aspersiones con fungicida Mancozeb (Manzate®, FARMAGRO S.A., Guayaquil, Perú) a razón de 2 g L⁻¹, estas se aplicaron a todas las unidades experimentales en dos ocasiones.

Tabla 2. Tratamientos pregerminativos evaluados en cinco especies leñosas del Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET).

Table 2. Pre-germination treatments evaluated in five woody species of the Thorny Tamaulipan Shrubland (TTS)

Tratamiento	Identificación	Especie
Testigo (sin tratamiento)	T	Todas
Peróxido de hidrógeno 20 min	Ao20	Todas
Peróxido de hidrógeno 60 min	Ao60	Todas
Agua hirviendo 1 min	A1	<i>Prosopis laevigata</i> y <i>Havardia pallens</i>
Agua hirviendo 5 min	A5	Todas excepto <i>H. pallens</i>
Ácido sulfúrico 1 min	Ac1	<i>H. pallens</i>
Ácido sulfúrico 5 min	Ac5	Todas
Ácido sulfúrico 15 min	Ac15	Todas excepto <i>H. pallens</i>
Ácido sulfúrico 25 min	Ac25	Todas excepto <i>H. pallens</i>

El peróxido de hidrógeno y ácido sulfúrico empleados fue grado reactivo (98.08 ppm).

Análisis de datos

Para identificar diferencias significativas entre tratamientos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA). Los datos de porcentaje de germinación se transformaron mediante el arcoseno de la raíz cuadrada de la proporción. Los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se verificaron mediante la prueba de Shapiro Wilk y de Levene, respectivamente. Se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para determinar diferencias entre tratamientos con un nivel de significancia de $P < 0.05$. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el Software IBM SPSS Statistics versión 19 (IBM Corp., 2010)

RESULTADOS

Hubo diferencias significativas entre los tratamientos en todas las especies evaluadas (Figura 2) ($P \leq 0.0001$). Cada tratamiento tuvo un efecto diferente en función de la especie, pero se

destaca que en la mayoría funcionaron los tratamientos con ácido sulfúrico. Por ejemplo, en *E. ebano*, la inmersión en ácido sulfúrico durante 25 min promovió la mayor germinación (97.5 ± 1.91 %; media \pm error estándar), la cual se incrementó exponencialmente a partir del día 4 (Figura 2A). Esta respuesta en germinación fue 21 veces más alta que la registrada con el tratamiento testigo que no alcanzó ni el 5%, aunque la germinación más baja fue con el peróxido de hidrógeno durante 60 min (Figura 2A). Para el caso de *H. pallens*, las semillas tuvieron un 98 ± 1.63 % de germinación al ser tratadas con el ácido sulfúrico durante 5 min, alcanzándose más del 50% entre los días 4 y 6 (Figura 2B). En este caso la respuesta fue 11 veces superior al testigo que tuvo 9% de germinación; no obstante, se tuvo una germinación nula con el agua hirviendo por 1 min (Figura 2B). A diferencia de las especies anteriores, en *P. aculeata*, el tratamiento con la mejor respuesta fue la inmersión en agua durante 5 min con una germinación acumulada de 64 ± 3.65 %, la cual es cuatro veces superior al tratamiento testigo (Figura 2C). Al igual que las otras especies, los eventos de germinación se concentraron a partir del día 4. En esta especie, el peróxido durante 60 min afectó la germinación reportando el valor más bajo de 16.5% (Figura 2C). Por su parte, *P. laevigata* tuvo una germinación elevada ($97.5\% \pm 3.78$.) entre los días 2 y 4, con la inmersión en ácido por cinco minutos (Figura 2D). Este tratamiento tuvo una diferencia cercana a 40% comparado con el tratamiento testigo (65.5%). En este caso la peor respuesta se presentó con el agua hirviendo por 5 min con 2% (Figura 2D). Finalmente, la germinación de las semillas de *V. farnesiana* se favoreció con el ácido durante 25 min (23.5 ± 5 %), aunque la germinación fue baja en todos los tratamientos porque no se alcanzó el 25% (Figura 2E).

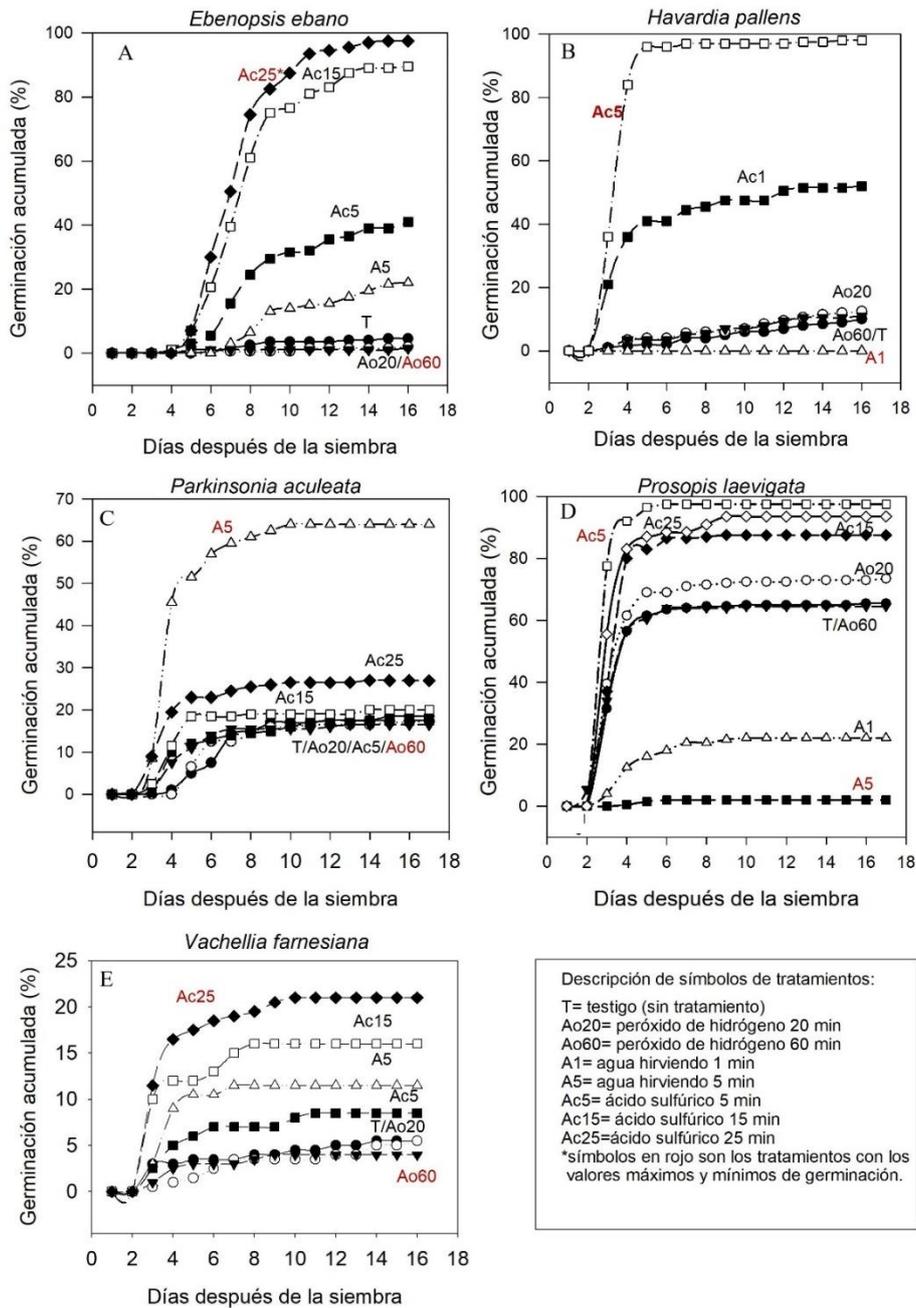


Figura 2. Respuestas en germinación de las cinco especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET) sometidas a diferentes tratamientos pregerminativos de escarificación mecánica y química. En todas las especies, los tratamientos mostraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.0001$).

Figure 2. Germination responses of the five species from the Thorny Tamaulipan Shrubland (TTS) subjected to different pre-germination treatments involving mechanical and chemical scarification. In all species, the treatments showed highly significant differences ($P \leq 0.0001$).

DISCUSIÓN

En general, los tratamientos pregerminativos de escarificación evaluados promovieron la germinación de las semillas de las especies estudiadas, pero esta respuesta estuvo en función de la especie y el tratamiento. Los resultados confirman y se suman a la evidencia de que la escarificación es un método viable para romper la latencia física, en este caso de las especies de la familia Fabaceae analizadas en el presente estudio (Luera *et al.*, 2021). En varios géneros de la familia Fabaceae está presente ese tipo de latencia (Baskin & Baskin, 2014;

Núñez-Cruz *et al.*, 2018) y esto es una condición característica de los taxones que son de ambientes áridos (Khurana & Singh, 2001; Luna-Nieves *et al.*, 2019) como es el caso de los del MET. La latencia física de las semillas se atribuye principalmente a que en su testa presenta una capa dura de células en empalizada impermeables al agua constituida por células esclereidas, a menudo del tipo de las macroesclereidas, en las cuales hay sustancias repelentes al agua como cutina, lignina, quinonas, suberinas y ceras (Baskin & Baskin, 2014; Bewley *et al.*, 2013). Por ejemplo, García Azpeitia *et al.* (2022) demuestran mediante un estudio a nivel anatómico que las semillas de *Prosopis laevigata* tienen una testa de cuatro capas: cutícula, epidermis, hipodermis y parénquima, en la que la epidermis y la hipodermis están formadas por macroesclereidas y osteoesclereidas, respectivamente.

La escarificación, sea mecánica o química, promueve la permeabilidad de la testa por ruptura, remoción o ablandamiento (Camacho Morfín, 2011). A los tratamientos con agua caliente, ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno aquí evaluados, se les reconoce dicho efecto y en varias especies han sido eficaces para romper la latencia física (Baskin & Baskin, 2014; Camacho Morfín, 2011). En efecto, esto se confirma con los resultados del presente estudio, a pesar de las diferencias mostradas en cada especie. De hecho, estas diferencias son coherentes con lo señalado por Baskin & Baskin (2014), en torno a que la efectividad de cada tratamiento varía entre especie por las particularidades de estas debido a las características de las semillas, así como por la intensidad y duración de los tratamientos. Por ejemplo, en la mayoría de las especies el mejor tratamiento fue el de ácido sulfúrico, siendo efectivo para unas de ellas la inmersión de las semillas durante 25 min, como sucedió en *E. ebano* y *V. farnesiana*, y en otras, 5 min, como es el caso de *H. pallens* y *P. laevigata*. Este comportamiento coincide con los resultados de Luera *et al.* (2021) para el caso particular de *E. ebano*, quienes han logrado incrementar la germinación con el uso de ácido sulfúrico. De igual manera, Villarreal Garza *et al.* (2013), evaluaron la germinación in vitro de semillas de *Prosopis glandulosa*. En este caso, la inmersión de las semillas durante 20 minutos incrementa la germinación hasta un 96%. Estas diferencias en los tiempos requeridos para hacer permeable a la testa suelen atribuirse a las variaciones en rasgos como el grosor o dureza de la testa que las semillas a menudo registran de manera individual y principalmente a nivel interespecífico (Romero-Saritama & Pérez Ruiz, 2016). Partiendo de este supuesto, es probable que entre las especies antes mencionadas haya habido diferencias en este sentido, lo cual se sustenta con los reportes en múltiples especies en las que la escarificación con ácido sulfúrico funciona con determinado tiempo de inmersión (Baskin & Baskin, 2014; Camacho Morfín, 2011). En estudios futuros sería interesante evaluar la variabilidad de los rasgos morfológicos de las semillas de las especies aquí evaluadas.

Por otra parte, en *P. aculeata* la escarificación con agua hirviendo por 5 minutos incrementa su germinación. Este tratamiento de inmersión térmica ha sido efectivo en los congéneres *Parkinsonia microphylla* (Torr.) y *Parkinsonia florida* (Benth. ex A. Gray) S. Watson, aunque hay diferencias en la temperatura y tiempo de inmersión. En estas especies valores altos de germinación se promueven sumergiendo las semillas en agua a 80°C por 8 minutos (Mc Caughey-Espinoza *et al.*, 2018). Se menciona que el efecto de los choques térmicos con agua en semillas con latencia física consiste en que se forman fisuras por separación de grupos de células de macroesclerénquima (Camacho Morfín, 2011). El intervalo de temperaturas y tiempo de exposición factible para un grupo grande de especies oscila entre los 65 y 75°C durante tres a seis minutos, aunque se han registrado especies que soportan temperaturas y tiempos mayores de exposición pero que no sobrepasan los 90°C por tres minutos, porque de lo contrario se pierde considerablemente la viabilidad (Camacho Morfín, 2011).

Finalmente, es importante mencionar que los resultados tienen implicaciones prácticas que permiten definir mejores prácticas de manejo de las semillas, para su empleo en la propagación de plantas para los proyectos de restauración o reforestación en el MET. No obstante, también conviene resaltar que a pesar de en la mayoría de las especies se logró eliminar la latencia artificialmente con los tratamientos evaluados y tener valores de germinación superiores a 90% en varias de ellas, *V. farnesiana* mostró valores de germinación inferiores a 20%. Al respecto, aunque se procuró utilizar semilla viable partiendo de la prueba de flotación, es probable, por las limitaciones de dicha prueba, que no se haya tenido tal condición y por esto no se haya expresado todo el potencial de germinación

de la especie en cuestión. Se reconoce a esto como una limitación del presente estudio, para lo cual se recomienda que trabajos posteriores se complementen con el análisis de la viabilidad mediante métodos colorimétricos como la Prueba de Tetrazolio, aunque también tiene sus respectivas desventajas (Barone *et al.*, 2016), especialmente tratándose de especies silvestres como las del MET, en las que se carecen de protocolos sobre concentraciones, tiempos requeridos y patrones de tinción para definir la viabilidad.

CONCLUSIONES

La latencia física de *Ebanopsis ebano*, *Havardia pallens*, *Prosopis laevigata* y *Vachellia farnesiana* se elimina con la escarificación en ácido sulfúrico, aunque la efectividad de este tratamiento para promover la germinación está en función del tiempo de inmersión. En *Parkinsonia aculeata* la germinación incrementa con la inmersión de las semillas en agua hirviendo durante 5 minutos. Estos resultados tienen implicaciones prácticas para mejorar el manejo de las semillas de las especies de estudio en los proyectos de restauración o reforestación en el MET.

LITERATURA CITADA

- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Pando-Moreno, M., Aguirre-Calderón, Ó. A., Treviño-Garza, E. J., & García-Galindo, P. C. (2010). Efecto de la restauración ecológica post-incendio en la diversidad arbórea del Parque Ecológico Chipinque, México. *Madera y Bosques*, 16(4), 39–54. <https://doi.org/10.21829/myb.2010.1641159>
- Arriaga, L. (2009). Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiescalar. *Investigación ambiental*, 1(1), 6–16.
- Bareke, T. (2018). Biology of seed development and germination physiology. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 8(4), 336–346. <https://doi.org/10.15406/apar.2018.08.00336>
- Barone, J., Duarte, E., & Luna, C. (2016). Determinación de la eficacia de métodos de evaluación de calidad de semillas de especies forestales nativas de la Selva Atlántica. *Quebracho*, 24(1–2), 70–80.
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination* (Second Ed.). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-00597-X>
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>
- Calixto Valencia, C. G., Cetina Alcalá, V. M., Ramírez Herrera, C., López López, M. Á., Ángeles-Pérez, G., Equihua Martínez, A., & Basave Villalobos, E. (2022). Características morfométricas, reproductivas y germinativas del germoplasma de *Swietenia humilis* Zucc. en Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(72), 148–172. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i72.1250>
- Camacho Morfin, F. (2011). *Dormición de semillas: causas y tratamientos* (2a ed.). Trillas.
- Challenger, A., & Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres. En *Capital natural de México* (Volumen I, pp. 87–108). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.118843>
- Everitt, J. H. (1983). Seed germination characteristics of two woody legumes (Retama and Twisted Acacia) from South Texas. *Journal of Range Management*, 36(4), 411–414. <https://doi.org/10.2307/3897928>
- Finch-Savage, W. E., & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, 171(3), 501–523. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x>
- García Azpeitia, L., Labrada-Delgado, G. J., Montalvo-González, E., & Loza-Cornejo, S. (2022). Caracteres morfométricos y anatómicos de frutos y semillas de *Prosopis laevigata* (Fabaceae) en Lagos de Moreno, Jalisco, Mexico. *Acta Botanica Mexicana*, e2057(129). <https://doi.org/10.21829/ABM129.2022.2057>

- García Hernández, J., & Jurado, E. (2008). Caracterización del matorral con condiciones prístinas en lineares N. L., México. *Ra Ximhai*, 4(1), 1–21. <https://www.redalyc.org/exportarcita.oa?id=46140101>
- González Medrano, F. (2004). *Las comunidades vegetales de México. Propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México* (Segunda ed). Instituto Nacional de Ecología.
- IBM Corp. (2010). *SPSS for Windows* (Version 19.0). IBM Corp.
- Khurana, Ekta, & Singh, J. S. (2001). Ecology of seed and seedling growth for conservation and restoration of tropical dry forest: a review. *Environmental Conservation*, 28(01), 39–52. <https://doi.org/10.1017/S0376892901000042>
- Luera, P., Wahl-Villarreal, K., Christoffersen, B. O., Treviño, A., Soti, P., & Gabler, C. A. (2021). Effects of Scarification, Phytohormones, Soil Type, and Warming on the Germination and/or Seedling Performance of Three Tamaulipan Thornscrub Forest Species. *Plants*, 10(8), 1489. <https://doi.org/10.3390/plants10081489>
- Luna-Nieves, A. L., Meave, J. A., González, E. J., Cortés-Flores, J., & Ibarra-Manríquez, G. (2019). Guiding seed source selection for the production of tropical dry forest trees: *Couleria platyloba* as study model. *Forest Ecology and Management*, 446(May), 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.020>
- Mc Caughey-Espinoza, Diana, Ayala-Astorga, G. I., Burboa-Zazueta, M. G., Retes-López, R., & Ochoa-Meza, A. (2018). Uso de plantas nativas para la rehabilitación de canteras en Sonora. *Idesia (Arica)*, 36(4), 17–24. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018005002401>
- Molina-Guerra, V. M., Mora-Olivo, A., Alanís-Rodríguez, E., Soto-Mata, B. E., & Patiño-Flores, A. M. (2019). *Plantas características del matorral espinoso tamaulipeco en México*. Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León. <https://www.plantas.ec/material/medicinales/>
- Molina-Guerra, V. M., Pando-Moreno, M., Alanís-Rodríguez, E., Canizales-Velázquez, P. A., González Rodríguez, H., & Jiménez-Pérez, J. (2013). Composición y diversidad vegetal de dos sistemas de pastoreo en el matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(2), 361–371. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242013000300007
- Núñez-Cruz, A., Meave, J. A., & Bonfil, C. (2018). Reproductive Phenology and Seed Germination in Eight Tree Species From a Seasonally Dry Tropical Forest of Morelos, Mexico: Implications for Community-Oriented Restoration and Conservation. *Tropical Conservation Science*, 11(1–14). <https://doi.org/10.1177/1940082917749946>
- Pequeño-Ledezma, MA, Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., González-Tagle, MA, Yerena-Yamallell, JI, Cuellar-Rodríguez, G., & Mora-Olivo, A. (2012). Análisis de la restauración pasiva post-pecuaria en el matorral espinoso tamaulipeco del noroeste de México. *Ciencia UAT*, 7(1), 48–53.
- Romero-Saritama, J. M., & Pérez Ruiz, C. (2016). Rasgos morfológicos de semillas y su implicación en la conservación *ex situ* de especies leñosas en los bosques secos tumbesinos. *Ecosistemas*, 25(2), 59–65. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.07>
- Sánchez-Soto, Bardo Heleodoro, Pacheco-Aispuro, Elizabeth, Lugo-García, Gabriel Antonio, Reyes-Olivas, Álvaro, & García-Moya, Edmundo. (2017). Métodos de escarificación en semillas de *Guaiacum coulteri*, especie amenazada del bosque tropical caducifolio del norte de Sinaloa, México. *Gayana Botánica*, 74(2), 262–268. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432017000200262>
- Sobrevilla-solís, J. A., López-Herrera, M., López-Escamilla, A. L., & Romero-Bautista, L. (2013). Evaluación de diferentes tratamientos pregerminativos y osmóticos en la germinación desembras *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd) M. C. Johnston. *Estudios científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas*, 2(12), 83–95.
- Villarreal Garza, J. A., Rocha Estrada, A., Cárdenas-Ávila, M. L., Moreno Limón, S., González Álvarez, M., & Vargas López, V. (2013). Morphometric characteristics, viability and germination of mesquite and sweet acacia seeds in northeastern Mexico. *Phyton*, 82, 169–174.
- Viveros Viveros, H., Hernández Palmeros, J. D., Velasco García, M. V., Robles Silva, R., Ruiz Montiel, C., Aparicio Rentería, A., Martínez Hernández, M. J., Hernández Villa, J., & Hernández Hernández, M. L. (2018). Análisis de semilla, tratamientos

Recibido:
3/octubre/2023

Aceptado:
16/abril/2024

- pregerminativos de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. y su crecimiento inicial. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(30), 52–65. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i30.207>
- Wang, B. S. P., & Beardmore, TannisVargas. (2004). Almacenamiento y manejo de germoplasma. En J. Jesús Vargas H., Basilio Bermejo V., & Thomas Leding (Eds.), *Manejo de recursos genéticos forestales* (Segunda ed, pp. 102–127). Colegio de Postgraduados, Comisión Nacional Forestal. www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/3960Manejo_de_Recursos_Geneticos_Forestales.pdf#page=79
- Wilkinson, Kim M., Landis, Thomas D., Haase, Diane L., Daley, Brian F., & Dumroese, R. Kasten. (2014). Tropical Nursery Manual- A Guide to Starting and Operating a Nursery for Native and Traditional Plants. En Kim M. Wilkinson, Thomas D. Landis, Diane L. Haase, Brian F. Daley, & R. Kasten Dumroese (Eds.), *Agriculture Handbook: 732* (Número April). U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

CONSERVACIÓN *in vitro* de *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler & W. E. Higgins POR MÍNIMO CRECIMIENTO

In vitro CONSERVATION OF *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler & W. E. Higgins FOR MINIMAL GROWTH

Ramírez-Mosqueda, Marco A.; Raúl López-Aguilar; Andrés Orduño-Cruz y Marco Vinicio Rodríguez-Deméneghi

CONSERVACIÓN *in vitro* de *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler & W. E. Higgins POR MÍNIMO CRECIMIENTO

In vitro CONSERVATION OF *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler & W. E. Higgins FOR MINIMAL GROWTH



Conservación *in vitro* de *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler & W. E. Higgins por mínimo crecimiento

In vitro conservation of *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler & W. E. Higgins for minimal growth

Marco A. Ramírez-Mosqueda;
Raúl López-Aguilar;
Andrés Orduño-Cruz y
Marco Vinicio Rodríguez-
Deméneghi

CONSERVACIÓN *in vitro* de
Guarianthe skinneri (Bateman)
Dressler & W. E. Higgins POR
MÍNIMO CRECIMIENTO

In vitro CONSERVATION OF
Guarianthe skinneri (Bateman)
Dressler & W. E. Higgins FOR
MINIMAL GROWTH

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 171-180. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.12

Marco A. Ramírez-Mosqueda

Autor de correspondencia: marcomosqueda02@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2477-4612>

Centro Nacional de Recursos Genéticos-INIFAP, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México

Raúl López-Aguilar <https://orcid.org/0009-0008-4537-2031>

Andrés Orduño-Cruz <https://orcid.org/0000-0003-0794-0567>

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C, Unidad Guerrero Negro.

Guerrero Negro, Baja California Sur, México

Marco Vinicio Rodríguez-Deméneghi <https://orcid.org/0000-0002-0371-4434>

Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana,

Amatlán de los Reyes, Veracruz, México

RESUMEN: Las técnicas de conservación *in vitro* son consideradas métodos de preservación del germoplasma vegetal a mediano plazo. El periodo de conservación bajo esta técnica usualmente es de 1 a 2 años sin utilizar algún subcultivo. En México, existen recursos fitogenéticos que se encuentran catalogados dentro la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Estas especies vegetales deben ser prioritariamente salvaguardadas y conservadas. *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler & W. E. Higgins es una orquídea que posee una flor que genera la atención de horticultores y/o coleccionistas como planta ornamental. El objetivo de este estudio fue establecer un protocolo de conservación *in vitro* de *G. skinneri* por mínimo crecimiento. Para ello, se valoraron en medio Murashige and Skoog (MS) diferentes concentraciones (0, 0.5, 1.0 y 2.0 mg L⁻¹) de ácido abscísico (ABA), paclobutrazol (PBZ), ancimídol (ACD) y diferentes concentraciones (0, 5, 10 y 20 g L⁻¹) de polietilenglicol 8000. Posteriormente se realizó la regeneración del material conservado utilizando medio MS adicionado con 2 mg L⁻¹ de 6-Bencilaminopurina (BAP). Después de 12 meses de conservación *in vitro*, los resultados mostraron una reducción en la altura de los brotes conservado en MS con 2.0 mg L⁻¹ de PBZ y en ABA 0.5 mg L⁻¹. Sin embargo, en el tratamiento con PBZ aumentó la formación de brotes y raíces en comparación con el tratamiento con ABA. Se logró la regeneración de 5.4 brotes/explante en 2.0 mg L⁻¹ de BAP. Así como una supervivencia del 90% durante el proceso de aclimatización. Los resultados de este estudio pueden contribuir a los trabajos de conservación que se llevan a cabo en esta especie de importancia ornamental.

Palabras clave: Conservación, Crecimiento mínimo, Ancimídol, Polietilenglicol, Regeneración *in vitro*.

ABSTRACT: *In vitro* conservation techniques are considered methods of medium-term conservation of plant germplasm. The conservation period under this technique is usually 1 to 2 years without using any subculture. In Mexico there are plant genetic resources that are cataloged within the Official Mexican Standard NOM-059-SEMARNAT-2010. These plant species must be safeguarded and conserved as a priority. *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler & W. E. Higgins is an orchid that has a flower that attracts the attention of horticulturists and/or collectors as an ornamental plant. The objective of this study was to establish an *in vitro* conservation protocol for *G. skinneri* through minimal growth. For this, different concentrations (0, 0.5, 1.0 and 2.0 mg L⁻¹) of abscisic acid (ABA), paclobutrazol (PBZ), ancimídol (ACD) and different concentrations (0, 5, 10 and 20 g L⁻¹) of polyethylene glycol (8000). Subsequently, the regeneration of the preserved material was carried out using

MS medium added with 2 mg L⁻¹ of 6-benzylaminopurine (BAP). After 12 months of *in vitro* conservation, the results showed a reduction in the length of the shoots preserved in MS with 2.0 mg L⁻¹ of PBZ and in ABA 0.5 mg L⁻¹. However, in the PBZ treatment, shoot and root formation increased compared to the ABA treatment. The regeneration of 5.4 shoots/explant was achieved at 2.0 mg L⁻¹ of BAP. As well as a survival of 90% during the acclimatization process. The results of this study can contribute to the conservation work carried out on this species of ornamental importance.

Key words: Conservation, Minimum growth, Ancimidol, Polyethylene glycol, In vitro regeneration.

INTRODUCCIÓN

La fragmentación del hábitat natural de los recursos fitogenéticos a nivel global, ha ocasionado pérdidas del germoplasma en especies vegetales (Aguilar *et al.*, 2019; Salgotra & Chauhan, 2023). Por tanto, es necesario implementar estrategias para la conservación de estos recursos (Sahu *et al.*, 2023). La biotecnología a través del cultivo de tejidos vegetales nos brinda la oportunidad de conservar el germoplasma en condiciones *in vitro* a mediano plazo (Chandran *et al.*, 2023) En la conservación *in vitro*, recurrentemente se utiliza un sistema de cultivo por mínimo crecimiento o crecimiento lento, consistiendo en agregar al medio de cultivo inhibidores del crecimiento o la disminución de los nutrientes en el medio de cultivo (Benelli *et al.*, 2022; Spinoso-Castillo *et al.*, 2022). Recientemente, esta técnica se ha utilizado con éxito en la conservación de diversas especies vegetales como: anturios (*Anthurium andraeanum* Linden), caña de azúcar (*Saccharum spp.* Híbridos) y agave (*Agave potatorum* Zucc.) (Spinoso-Castillo *et al.*, 2022). Así como en la conservación de plantas ornamentales, particularmente orquídeas como: *Catasetum integerrimum* Hook. (López-Puc & Herrera-Cool., 2022). *Laelia anceps* Lindl. (Ramírez-Mosqueda *et al.*, 2019) y *Stanhopea tigrina* Bateman ex Lind. (Cruz-Cruz *et al.*, 2022).

El saqueo de especies de orquídeas con fines ornamentales es un problema recurrente en todo el mundo (Mackenzie & Yates, 2016; Castillo-Pérez *et al.*, 2019). En México, se extraen especímenes silvestres y en algunas ocasiones especies endémicas de las zonas con alta biodiversidad para su comercio clandestino (Castillo-Pérez *et al.*, 2019; Gutiérrez-Rodríguez, 2022) Aunado a esto, el uso tradicional y cultural de algunas orquídeas contribuye a la reducción de sus poblaciones silvestres (Sosa-Nishizaki, 2009; Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2012; Molina-Luna *et al.*, 2015).

Guarianthe skinneri (Bateman) Dressler & E.W. Higgins es una orquídea que se distribuye naturalmente desde México hasta Panamá (Bertolini *et al.*, 2016) Posee alto valor ornamental debido al tamaño y color de sus flores, favoreciendo su extracción ilegal y la reducción de sus poblaciones naturales (Coutiño-Cortés *et al.*, 2018). Este miembro de la familia Orchidaceae se encuentra catalogado como amenazado en la NOM-ECOL-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), e internacionalmente se encuentra en la categoría II del CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre) (CITES, 2023). En consecuencia, el problema radica en que no existe un medio de cultivo *in vitro* o protocolo que garantice la conservación *in vitro* de la especie con la finalidad de salvaguardar este valioso germoplasma. El objetivo de este estudio fue evaluar diferentes concentraciones de ácido abscísico (ABA), paclobutrazol (PBZ), ancimidol (ACD) y Polietilenglicol (PEG), para desarrollar un medio de cultivo capaz de lograr la conservación *in vitro* del germoplasma de *G. skinneri*, que contribuya a implementar estrategias de preservación de esta orquídea que se encuentra el peligro de extinción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se utilizaron plantas de *G. skinneri* previamente establecida, provenientes de la germinación asimbiótica de las semillas de esta orquídea. La germinación se realizó en medio MS (Murashige & Skoog, 1962) sin reguladores del crecimiento vegetal (RCVs), suplementado con 30 g L⁻¹ de sacarosa. Se ajustó el pH del medio de cultivo a 5.8 ± 0.2, posteriormente se agregaron 2.2 g L⁻¹ de Phytigel® como agente gelificante. Se dosificaron 20 mL de medio de cultivo en frascos de vidrio de 120 ml, por último, se esterilizaron en una autoclave a 1.5 kg cm⁻² de presión y 121°C por 15 min. Los cultivos fueron

incubados a una temperatura de 25 ± 2 °C, bajo una irradianza de 50 ± 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ proporcionada por lámparas LEDs.

Conservación *in vitro*

Se utilizó la técnica de conservación por crecimiento mínimo. Para ello, plantas *in vitro* de *G. skinneri* (1 cm de altura) fueron transferidas a medio de cultivo MS suplementado con 30 g L⁻¹ de sacarosa y diferentes concentraciones de ácido abscísico (ABA), paclobutrazol (PBZ), ancimidol (ACD) y polietilenglicol 8000 (PEG). 0, 0.5, 1.0 y 2.0 mg·L⁻¹ para ABA, PBZ y ACD; 0, 10, y 20 g L⁻¹ para PEG. El pH del medio de cultivo se ajustó a 5.8 ± 0.2 , posteriormente se agregaron 2.2 g L⁻¹ de Phytigel® como agente gelificante. Por último, se dosificó en tubos de ensayo de (22 × 220 mm) conteniendo 15 ml de medio, se esterilizaron en una autoclave a 1.5 kg cm⁻² de presión y 121 °C por 15 min. Los cultivos fueron incubados a una temperatura de 25 ± 2 °C, bajo una irradianza de 50 ± 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ proporcionada por lámparas LED. Todos los reactivos fueron de la marca Sigma-Aldrich Chemical Company, MO, USA. Después de 12 meses de cultivo se evaluó el porcentaje de sobrevivencia, el número de brotes, la altura de brotes (distancia entre la base y el ápice del tallo) y el número de raíces.

Regeneración *in vitro*

25 plantas individuales (1.5 cm de altura) de *G. skinneri* obtenidas del mejor tratamiento de crecimiento mínimo fueron transferidos a frascos de vidrio de 120 ml, conteniendo 20 mL de medio de cultivo MS suplementado con 2.0 mg L⁻¹ de 6-Bencilaminopurina (BAP) y 30 g L⁻¹ de sacarosa. Como agente gelificante se utilizó 2.2 g L⁻¹ de Phytigel®. Las condiciones de pH, esterilización de medios de cultivo e incubación fueron las mismas descritas anteriormente. Después de seis semanas de cultivo se evaluó el número de brotes por explante.

Aclimatización

Los brotes con una altura de 3 cm que presentaban un óptimo desarrollo radicular, fueron enjuagados con agua corriente. Posteriormente, se sembraron en sustrato estéril de musgo turboso + agrolita (1:1 v/v) utilizando charolas de 72 cavidades (5 x 5 x 8 cm). Las plántulas se mantuvieron bajo condiciones de invernadero con sombra al 50%, humedad relativa entre el $90 \pm 5\%$ y temperatura entre 30 ± 5 °C. Después de ocho semanas de cultivo se evaluó el porcentaje de supervivencia (dividiendo el número total de plantas sembradas entre el número de plantas que prevalecen vivas).

Análisis estadístico

El diseño experimental utilizado en todos los experimentos fue completamente al azar, los experimentos se realizaron por duplicado. Para la conservación *in vitro*, se utilizaron 25 explantes por tratamiento (un explante por tubo de ensayo). Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) seguido de una prueba de Tukey-Kramer ($P \leq 0.05$) utilizando el software IBM SPSS Estadísticas (Versión 21 para Windows). La normalidad y la homogeneidad de la varianza se verificaron mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Levene, respectivamente. Cuando las variables no mostraron estos parámetros, se transformaron en logaritmo natural (ln).

RESULTADOS

Conservación *in vitro*

Posteriormente a 12 meses en conservación *in vitro* en todos los tratamientos se observó un 100 % de supervivencia de las plantas de *G. skinneri*. Para la altura de los brotes se observaron diferencias significativas, las cuales se reportan en la Tabla 1. La menor altura observada fue de 1.50 cm obtenida en el tratamiento con 2 mg L⁻¹ de PBZ (Figura 1c), seguida de 1.65 cm observado en 0.5 mg L⁻¹ de ABA (Figura 1b) y 1.80 cm en 2 mg L⁻¹ de ACD (Figura 1d). La mayor altura se observó en el tratamiento testigo con brotes de 7.35 cm (Figura 1a). Con el uso de PEG no se afectó drásticamente la variable altura de los brotes a diferencia del uso de inhibidores del crecimiento vegetal (Figura 1e). Para el número de raíces, se observaron diferencias significativas en los tratamientos evaluados (Tabla 1). De manera general se observó una mayor formación de brotes en el medio de conservación suplementado con ACD, en el cual se obtuvieron 22.90 brotes en el tratamiento con 2 mg L⁻¹, seguido de 18.30 brotes en 1 mg L⁻¹ y 16.10 en 0.5 mg L⁻¹ (Figura 1d). El tratamiento con 2 mg L⁻¹ de PBZ generó 15.00 brotes (Figura 1c), mientras que el menor número de brotes (2.60) se observó en el tratamiento testigo (Figura

1a). Para número de raíces, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 1). La adición de PBZ y ACD estimularon la formación de raíces a diferencia de los tratamientos restantes: 22.30 raíces se obtuvieron en el tratamiento con 2 mg L⁻¹ de ACD, 22.0 raíces en el tratamiento con 1 mg L⁻¹ de PBZ y 19.80 raíces en el tratamiento con 1 mg L⁻¹ de ACD. El menor número de raíces (5.70) se observó en 2 mg L⁻¹ de ABA.

Tabla 1. Efecto de la concentración de inhibidores del crecimiento y PEG sobre la conservación *in vitro* de *G. skinneri*.

Table 1. Effect of growth inhibitor and PEG concentration on *in vitro* preservation of *G. skinneri*.

Tratamiento	Concentración	Altura de los brotes (cm)	Núm. de brotes	Núm. de raíces
Testigo	MS	7.35±0.24a	2.60±0.49g	8.40±1.46bc
ABA (mg L ⁻¹)	0.5	1.65±0.11d	6.90±0.58e	8.30±1.54b
	1	1.85±0.14cd	4.40±0.42f	6.30±1.36c
	2	1.85±0.12cd	4.60±0.54f	5.70±1.22c
PBZ (mg L ⁻¹)	0.5	1.95±0.15cd	7.40±0.88e	19.20±1.95a
	1	2.05±0.18cd	11.60±1.02d	22.00±2.14a
	2	1.50±0.16d	15.00±1.24bc	19.40±1.90a
ACD (mg L ⁻¹)	0.5	1.90±0.19cd	16.10±1.34bc	19.50±1.94a
	1	2.05±0.15cd	18.30±1.35a	19.80±1.98a
	2	1.80±0.12cd	22.90±1.90a	22.30±2.18a
PEG (g L ⁻¹)	5	4.65±0.20b	7.40±0.94e	10.30±1.49b
	10	4.50±0.21b	6.80±0.68e	7.50±1.79bc
	20	3.25±0.19bc	9.20±1.12d	12.10±1.89b

Los valores representan la media ± ES (error estándar). Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

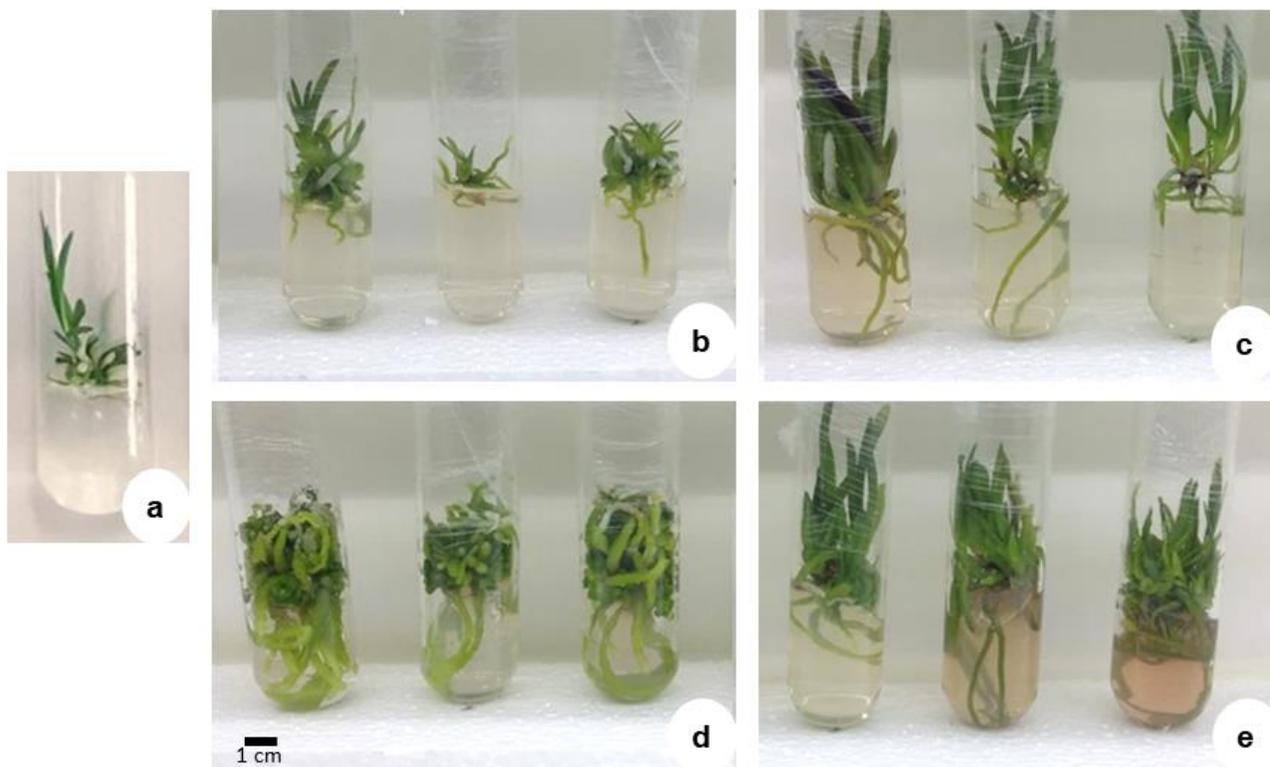


Figura 1. Conservación *in vitro* de *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler & E.W. Higgins por 12 meses en mínimo crecimiento: a) MS (tratamiento testigo), b) Ácido abscísico a 0.5, 1.0 y 2.0 mg L⁻¹ (izquierda-derecha), c) Paclobutrazol a 0.5, 1.0 y 2.0 mg L⁻¹ (izquierda-derecha), d) Ancimídol a 0.5, 1.0 y 2.0 mg L⁻¹ (izquierda-derecha), e) Polietilenglicol a 5, 10 y 20 mg L⁻¹ (izquierda-derecha).

Figure 1. *In vitro* storage of *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler & E.W. Higgins for 12 months at minimum growth: a) DM (control treatment), b) Abscisic acid at 0.5, 1.0 and 2.0 mg L⁻¹ (left-right), c) Paclobutrazole at 0.5, 1.0 and 2.0 mg L⁻¹ (left-right), d) Ancimídol at 0.5, 1.0 and 2.0 mg L⁻¹ (left-right), e) Polyethylene glycol at 5, 10 and 20 mg L⁻¹ (left-right).

Regeneración *in vitro* y aclimatización

Del tratamiento superior de conservación (2.0 mg L⁻¹ de PBZ), después de seis semanas de cultivo en el medio de regeneración *in vitro*, se logró la generación de 5.4 brotes por explante en un medio de cultivo suplementado con 2 mg L⁻¹ de BAP (Figura 2a-b). Posterior a ocho semanas en el proceso de aclimatización, se observó un 75% de supervivencia en las plantas de *G. skinneri* (Figura 2c).

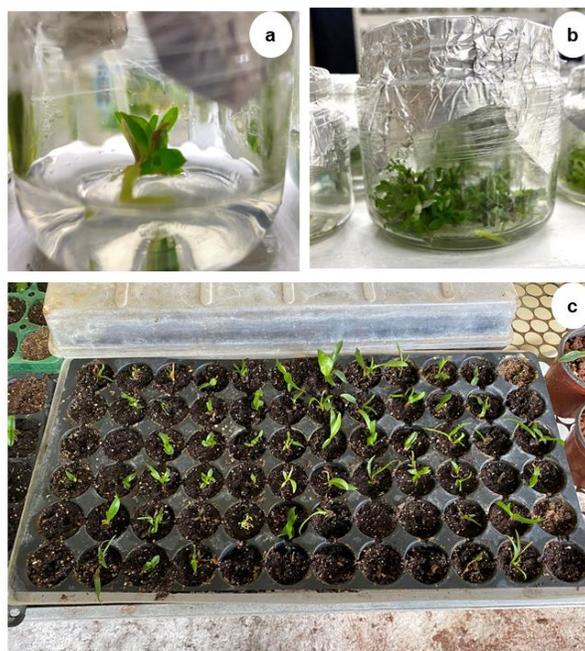


Figura 2. Regeneración *in vitro* y aclimatización del germoplasma conservado de *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler & W. E. Higgins. a) Proliferación de brotes en medio MS con 2.0 mg L⁻¹ de BAP, b) Proliferación de brotes después de seis semanas de cultivo, c) Plantas aclimatizadas después de ocho semanas de cultivo.

Figure 2. *In vitro* regeneration and acclimatization of conserved germplasm of *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler & W. E. Higgins. a) Proliferation of shoots in MS medium with 2.0 mg L⁻¹ of BAP, b) Proliferation of shoots after six weeks of cultivation, c) Acclimatized plants after eight weeks of cultivation.

DISCUSIÓN

En este estudio se estableció con éxito un protocolo de conservación *in vitro* de *Guarianthe skinneri* a través de un medio de cultivo para mínimo crecimiento. Se observó que el paclobutrazol (PBZ) permitió la conservación *in vitro* por 12 meses, reduciendo la altura de los brotes, aumentando la formación de brotes y el número de raíces, sin afectar la supervivencia de los mismos. El uso del mínimo crecimiento para la conservación *in vitro* de recursos fitogenéticos, ha sido la estrategia biotecnológica mayormente usada como conservación a mediano plazo (Chauhan *et al.*, 2019; Spinoso-Castillo *et al.*, 2022). Otra estrategia utilizada y reportada para la conservación a corto plazo, es la elaboración de semilla sintética y su almacenamiento *in vitro* (Sharma *et al.*, 2020; Rathour *et al.*, 2023). Mientras que la criopreservación es una técnica biotecnológica que permite la conservación a largo plazo (Bettoni *et al.*, 2021; Nausch & Buyel, 2021).

En este estudio se observó que el ABA (0.5 mg L⁻¹) y el PBZ (2.0 mg L⁻¹) tienen efectos similares en la reducción de la altura de los brotes. El ácido abscísico es un regulador del crecimiento vegetal (RCV) que regula diversos procesos fisiológicos en la planta como: el cierre de estomas, la acumulación de cera cuticular, la senescencia de las hojas (desprendimiento de hojas, frutos y otras partes de la planta), la dormancia de las yemas, la regulación osmótica, la germinación de las semillas, la respuesta al estrés y la regulación del crecimiento (Chen *et al.*, 2020). El ABA es un inhibidor de crecimiento vegetal que ha resultado eficaz para la conservación *in vitro* de diversas especies vegetales como áster (*Taraxacum pienanicum*) (Kamińska *et al.*, 2021), laelia (*Laelia anceps*) (Ramírez-Mosqueda *et al.*, 2019), *Stanhopea tigrina* (Cruz-Cruz *et al.*, 2022), tomate (*Solanum lycopersicum*) (Al-Abdallat *et al.*, 2017) y vainilla (*Vanilla planifolia*) (Bautista-Aguilar *et al.*, 2021). Sin embargo, en nuestro estudio se observó que el uso de PBZ influyó en la proliferación de brotes del germoplasma conservado, así como en el aumento del número de raíces a diferencia de las plantas conservadas en ABA.

El PBZ es un RCV ampliamente usado en la inducción de la floración en cultivos en campo, así como en los últimos años se utilizado en técnicas de conservación *in vitro* por el efecto que tiene en la reducción de brotes (Orozco-Meléndez *et al.*, 2022; Spinoso-Castillo *et al.*, 2022). Su acción en el metabolismo celular, es el bloqueo de la oxidación del ácido ent-kauronoico mediante la inactivación de la oxigenasa dependiente del citocromo P450 durante la síntesis de giberelina, que actúa sobre el alargamiento celular e inhibe el crecimiento de las plantas (Desta & Amare, 2021). El PBZ se ha utilizado en diferentes concentraciones en la conservación *in vitro* de diferentes especies vegetales. Spinoso-Castillo *et al.* (2022) determinaron que para la conservación *in vitro* en mínimo crecimiento por seis meses de *anthurium* (*Anthurium andraeanum*) y caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) fue necesario utilizar 1 mg L⁻¹ de PBZ. Mientras que para agave (*Agave potatorum*) fue necesario adicionar 3 mg L⁻¹ de PBZ. Esto concuerda con lo observado en nuestro estudio, debido a que para la conservación *in vitro* de *G. skinneri* por 12 meses fue necesario la adición de 2 mg L⁻¹ de PBZ. Sin embargo, contrasta con lo observado por Cruz-Cruz *et al.* (2022) en *Stanhopea tigrina*, en donde 2 mg L⁻¹ de ABA mostró una mayor reducción en la altura de los brotes en comparación de cualquier dosis (0.5, 1.0 y 2.0 mg L⁻¹) de PBZ.

No solo el uso de inhibidores del crecimiento vegetal es utilizado para optimizar protocolos de conservación *in vitro* del germoplasma vegetal. Existen estudios en donde las condiciones de incubación tienen un papel importante y sinérgico con el uso de inhibidores, logrando conservar por un periodo mayor de tiempo. Samarina *et al.* (2014) demostraron que se puede conservar *Citrus limon* cv. Novoafonsky por 12 meses en medio ½ MS a temperaturas de 10 °C con una baja intensidad lumínica (12-14 μmol m⁻² s⁻¹). Sin embargo, algunas especies son altamente susceptibles a la reducción de la temperatura de incubación como en el caso de vainilla (*V. planifolia*) (Bautista-Aguilar *et al.*, 2021).

Las plantas conservadas en PBZ y ABA fueron regeneradas (proliferación de brotes) sin alguna complicación utilizando BAP como RCV. El uso de BAP para la formación *in vitro* de brotes de *G. skinneri* ha sido ampliamente reportada: Hernández-Ramírez *et al.* (2023) utilizaron 1.12 mg L⁻¹ de BAP en medio de cultivo Yasuda. Mientras que Leyva-Ovalle *et al.* (2020) utilizaron 3 mg L⁻¹ de BAP en medio MS en combinación con el uso de biorreactores de inmersión temporal (BIT).

CONCLUSIONES

Se estableció un protocolo eficiente para la conservación *in vitro* de *G. skinneri* por crecimiento mínimo mediante la inhibición en el desarrollo con la adición de PBZ y regeneración del material conservado con BAP. Los sistemas de conservación y regeneración *in vitro* contribuirán a las estrategias de preservación y reintroducción de germoplasma de este valioso recurso fitogenético.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, R., Cristóbal-Pérez, E. J., Balvino-Olvera, F. J., De Jesús Aguilar-Aguilar, M., Aguirre-Acosta, N., Ashworth, L., Lobo, J. A., Martín-Rodríguez, S., Fuchs, E. J., Sánchez-Montoya, G., Bernardello, G., & Quesada, M. (2019). Habitat fragmentation reduces plant progeny quality: a global synthesis. *Ecology Letters*, 22(7), 1163–1173. <https://doi.org/10.1111/ele.13272>
- Al-Abdallat, A. M., Shibli, R. A., Akash, M. W., Rabbah, M., & Al-Qudah, T. (2017). *In vitro* preservation of transgenic tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants overexpressing the stress-related SIAREB1 transcription factor. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(7), 1477. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijms18071477>
- Bautista-Aguilar, J. R., Iglesias-Andreu, L. G., Martínez-Castillo, J., Ramírez-Mosqueda, M. A., & Ortiz-García, M. M. (2021). *In Vitro* Conservation and Genetic Stability in *Vanilla planifolia* Jacks. *HortScience*, 56(12), 1494–1498. <https://doi.org/https://doi.org/10.21273/HORTSCI16118-21>

- Beltrán-Rodríguez, L. A., Martínez-Rivera, B., & Maya, A. P. (2012). Etnoecología de la flor de catarina-*Laelia autumnalis* (La Llave & Lex.) Lindl.-(Orchidaceae) en una comunidad campesina al sur del estado de Morelos, México: conservando un recurso y preservando saberes populares. *Etnobiología*, 10(1), 1–17. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5294459>
- Benelli, C., Tarraf, W., Izgu, T., & De Carlo, A.-. (2022). *In Vitro* Conservation through Slow Growth Storage Technique of Fruit Species: An Overview of the Last 10 Years. *Plants*, 11(23), 3188. <https://doi.org/10.3390/plants11233188>
- Bertolini, V., Damon, A., & Cerdeña-Ibarra, C. (2016). Atlas de las orquídeas del Soconusco: modelos digitales de nichos ambientales entre Centro y Sudamérica. En: *Modelos digitales de nichos ambientales entre Centro y Sudamérica. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/306465164_Atlas_de_las_orquideas_del_Soconusco_Modelos_digitales_de_nichos_ambientales_entre_Centro_y_Sudamerica* (1ra ed.). El Colegio de la Frontera Sur. <https://www.researchgate.net/publication/306465164>
- Bettoni, J. C., Bonnard, R., & Volk, G. M. (2021). Challenges in implementing plant shoot tip cryopreservation technologies. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 144(1), 21–34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11240-020-01846-x>
- Castillo-Pérez, L. J., Martínez-Soto, D., Maldonado-Miranda, J. J., Alonso-Castro, A. J., & Carranza-Álvarez, C. (2019). The endemic orchids of Mexico: a review. *Biología*, 74, 1–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.2478/s11756-018-0147-x>
- Chandran, S., Raghu, A. V., & Mohanan, K. V. (2023). *In vitro* conservation of rare, endangered, and threatened plants. En: *Conservation and Sustainable Utilization of Bioresources*, Sukumaran, S. T., Keerthi, T. R. (pp. 391-408). Singapore: Springer Nature Singapore. 391–408. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5841-0_16
- Chauhan, R., Singh, V., & Quraishi, A. (2019). *In vitro* conservation through slow-growth storage. En: S. T. Sukumaran & T. R. Keerthi (Eds.), *Synthetic Seeds: Germplasm Regeneration, Preservation and Prospects* (pp. 397–416). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24631-0_19
- Chen, K., Li, G., Bressan, R. A., Song, C., Zhu, J., & Zhao, Y. (2020). Abscisic acid dynamics, signaling, and functions in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 62(1), 25–54. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jipb.12899>
- CITES. (2023). *Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*. 2012-2023. Appendices I, II and III. <http://www.cites.org/eng/app/appendices.php>
- Coutiño-Cortés, A. G., Bertolini, V., Morales, F. A., Valle-Mora, J., Iracheta-Donjuan, L., García-Bautista, M., & Ruiz-Montoya, L. (2018). El uso ornamental de *Guarianthe skinneri* (Orchidaceae), en Chiapas y Guatemala, determina parcialmente su diversidad y estructura genética. *Acta Botánica Mexicana*, 124, 32–48. <https://doi.org/https://doi.org/10.21829/abm124.2018.1303>
- Cruz-Cruz, C. A., González-Arnao, M. T., Bautista-Aguilar, J. R., & Ramírez-Mosqueda, M. A. (2022). *In vitro* short-term storage of *Stanhopea tigrina* Bateman ex Lind. *South African Journal of Botany*, 151, 334–338. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.10.014>
- Desta, B., & Amare, G. (2021). Paclobutrazol as a plant growth regulator. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(1), 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s40538-020-00199-z>
- Gutiérrez-Rodríguez, B. E. (2022). The orchids of MegaMéxico and their interactions with pollinators. *Agro Productividad*, 15(5), 133–141. <https://doi.org/https://doi.org/10.32854/agrop.v15i5.2187>
- Hernández-Ramírez, F., Iracheta-Donjuan, L., Damon, A. A., Fernández-Pavía, S. P., & Guillén-Navarro, K. (2023). Efecto del medio de cultivo y escotoperiodo en la germinación de semillas y crecimiento *in vitro* de *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler & WE Higgins (Orchidaceae). *Polibotánica*, 56, 151–170. <https://doi.org/https://doi.org/10.18387/polibotanica.56.8>
- Kamińska, M., Kęsy, J., & Trejgell, A. (2021). Abscisic acid in preservation of *Taraxacum pieninicum* in the form of synthetic seeds in slow growth conditions. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 144, 295–312. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11240-020-01924-0>
- Leyva-Ovalle, O. R., Bello-Bello, J. J., Murguía-González, J., Núñez-Pastrana, R., & Ramírez-Mosqueda, M. A. (2020). Micropropagation of *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler et WE Higgings in temporary immersion systems. *3 Biotech*, 10, 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13205-019-2010-3>
- López-Puc, G., & Herrera-Cool, G. J. (2022). Asymbiotic germination, *in vitro* conservation and regeneration of *Catasetum integerrimum* Hook. *Polibotánica*, 53, 135–149. <https://doi.org/https://doi.org/10.18387/polibotanica.53.9>

Recibido:
3/noviembre/2023

Aceptado:
18/junio/2024

- Mackenzie, S., & Yates, D. (2016). Collectors on illicit collecting: Higher loyalties and other techniques of neutralization in the unlawful collecting of rare and precious orchids and antiquities. *Theoretical Criminology*, 20(3), 340–357. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/1362480615607625>
- Molina-Luna, N. G., Arellanes-Cancino, Y., & Martínez y-Ojeda Enrique. (2015). El papel de la comercialización orquídeas y bromelias de mercados de los valles centrales de Oaxaca, México, en la subsistencia campesina. *Observatorio de La Economía Latinoamericana*, 210. <https://ideas.repec.org/a/erv/observ/y2015i21031.html>
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473–497. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Nausch, H., & Buyel, J. F. (2021). Cryopreservation of plant cell cultures—Diverse practices and protocols. *New Biotechnology*, 62, 86–95. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nbt.2021.02.002>
- Orozco-Meléndez, L. R., Hernández-Rodríguez, O. A., Cruz-Álvarez, O., Robles-Hernández, L., Ávila-Quezada, G. D., Chávez, E. S., Porrás-Flores, D. A., & Ojeda-Barrios, D. L. (2022). Paclobutrazol and its use in fruit production: A review. *Phyton*, 91(1), 1. <https://doi.org/https://doi.org/10.32604/phyton.2022.016908>
- Ramírez-Mosqueda, M. A., Cruz-Cruz, C. A., Atlahua-Temoxtle, J., & Bello-Bello, J. J. (2019). *In vitro* conservation and regeneration of *Laelia anceps* Lindl. *South African Journal of Botany*, 121, 219–223. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.11.010>
- Rathour, R., Yadav, S., Singh, A., Kaushik, S., & Rai, M. K. (2023). A liquid culture system for plantlet conversion and slow growth storage of encapsulated shoot tips of *Justicia adhatoda* L. *Industrial Crops and Products*, 205, 117534. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117534>
- Sahu, P. K., Sao, R., Khute, I. K., Baghel, S., Patel, R. R. S., Thada, A., Parte, D., Devi, Y. L., Nair, S., Kumar, V., Mondal, S., Das, B. K., Sharma, D. (2023). Plant genetic resources: conservation, evaluation and utilization in plant breeding. En: *Advanced Crop Improvement, Volume 2: Case Studies of Economically Important Crops*, Raina, A., Wani, M. R., Laskar, R. A., Tomlekova, N., Khan, S., (eds.) (pp. 1-45). Cham: Springer International Publishing 2, 1–45. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26669-0_1
- Salgotra, R. K., & Chauhan, B. S. (2023). Genetic diversity, conservation, and utilization of plant genetic resources. *Genes*, 14(1), 14. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/genes14010174>
- Samarina, L. S., Choudhary, R., Kolomiets, T. M., Abilfazova, Y. S., & Saran, P. L. (2014). *In vitro* Conservation Technique for Russian *Citrus limon*. *Agricultural Research*, 3, 279–283. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40003-014-0127-5>
- 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* (Vol. 6). https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019#gsc.tab=0
- Sharma, N., Pandey, R., & Agrawal, A. (2020). Influence of explant types, non-embryogenic synseed and reduced oxygen environment on *in vitro* conservation of *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 56(6), 851–856. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11627-020-10078-9>
- Sosa-Nishizaki, Ó. (2009). Impacto de los factores antropogénicos de afectación directa a las poblaciones silvestres de flora y fauna. En: Soberón J., Halffter G., & Llorente-Bousquets J. (Eds.), *Capital natural de México* (Vol. 2, pp. 247–276). Ecosur. <https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=000037477>
- Spinoso-Castillo, J. L., Pérez-Sato, J. A., Schettino-Salomón, S. S., & Bello-Bello, J. J. (2022). An alternative method for medium-term *in vitro* conservation of different plant species through gibberellin inhibitors. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 58(4), 606–614. <https://doi.org/10.1007/S11627-022-10263-Y>

ESTABLECIMIENTO *in vitro* DE PASCUITA (*Euphorbia leucocephala* Lotsy) E INDUCCIÓN DE CALLOS Y TALLOS BAJO DIFERENTES COLORES DE LUZ LED

In vitro ESTABLISHMENT OF PASCUITA (*Euphorbia leucocephala* Lotsy) AND CALLUS AND SHOOT INDUCTION UNDER DIFFERENT LED LIGHT COLORS

Colinas-León, María Teresa; Carlos de Jesús Morales-Becerril; Ramón Marcos Soto-Hernández; Natanael Magaña-Lira; María Teresa Martínez-Damián y José Luis Rodríguez-de la O

ESTABLECIMIENTO *in vitro* DE PASCUITA (*Euphorbia leucocephala* Lotsy) E INDUCCIÓN DE CALLOS Y TALLOS BAJO DIFERENTES COLORES DE LUZ LED
In vitro ESTABLISHMENT OF PASCUITA (*Euphorbia leucocephala* Lotsy) AND CALLUS AND SHOOT INDUCTION UNDER DIFFERENT LED LIGHT COLORS



Establecimiento *in vitro* de pascuíta (*Euphorbia leucocephala* Lotsy) e inducción de callos y tallos bajo diferentes colores de luz led

In vitro establishment of pascuíta (*Euphorbia leucocephala* Lotsy) and callus and shoot induction under different led light colors

Colinas-León, María Teresa;
Carlos de Jesús Morales-Becerril;
Ramón Marcos Soto-Hernández;
Natanael Magaña-Lira;
María Teresa Martínez-Damián
y José Luis Rodríguez-de la O

ESTABLECIMIENTO *in vitro*
DE PASCUÍTA (*Euphorbia*
leucocephala Lotsy) E
INDUCCIÓN DE CALLOS Y
TALLOS BAJO
DIFERENTES COLORES DE
LUZ LED

In vitro ESTABLISHMENT
OF PASCUÍTA (*Euphorbia*
leucocephala Lotsy) AND
CALLUS AND SHOOT
INDUCTION UNDER
DIFFERENT LED LIGHT
COLORS

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 56: 181-195. Julio 2024

DOI:

10.18387/polibotanica.58.13

María Teresa Beryl Colinas y León <https://orcid.org/0000-0003-2617-5928>

Carlos de Jesús Morales-Becerril

Autor de correspondencia: carlos_morales.becerril@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0125-6457>

Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo,
Texcoco, Estado de México

Ramón Marcos Soto-Hernández <https://orcid.org/0000-0001-8577-7991>

Área de Botánica, Colegio de Posgraduados. Montecillo,
Texcoco, Estado de México, México

Natanael Magaña-Lira <https://orcid.org/0000-0003-4940-5060>

María Teresa Martínez-Damián <https://orcid.org/0000-0002-7204-2133>

José Luis Rodríguez-de la O <https://orcid.org/0000-0002-2331-9984>

Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo,
Texcoco, Estado de México, México

RESUMEN: La pascuíta (*Euphorbia leucocephala* Lotsy) es una planta con uso ornamental durante la temporada navideña. La nula existencia de variedades agronómicas y protocolos de reproducción vegetativa eficientes son retos asociados a esta especie. La generación de un protocolo de reproducción *in vitro* por organogénesis indirecta representa un primer paso para abordar ambos retos. El objetivo del presente trabajo fue determinar el tipo de explante y agente antioxidante adecuado para establecer a la pascuíta *in vitro*, así como evaluar tres colores de luz LED y diferentes combinaciones de benciladenina (BA) y ácido indol-3-acético (AIA) sobre la formación de callos y posterior generación de tallos. En una primera fase se probó el uso de fragmentos foliares y fragmentos de nudo como propágulos y carbón activado (1 g L^{-1}) y polivinilpirrolidona (PVP, 300 mg L^{-1}) como agentes antioxidantes para establecer a la pascuíta *in vitro*. En una segunda fase se probó el efecto de 9 y $12 \mu\text{M}$ de BA en combinación con 5, 8 y $11 \mu\text{M}$ de AIA agregados al medio de cultivo (WPM) y luz LED blanca, roja y azul ($10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y 16 h fotoperiodo), sobre la generación de callos y posterior formación de tallos en fragmentos de nudos de pascuíta. Los resultados mostraron que es posible establecer a la pascuíta *in vitro* utilizando como explante fragmentos de nudos y PVP como agente antioxidante; así mismo, es posible generar callos bajo todos los tratamientos evaluados, siendo bajo luz roja donde el proceso se da más rápido (100% al día 16, bajo otros colores hasta el día 23) y donde se observó 100% de callos con formación de tallos; el número y longitud de los tallos estuvo en función de las interacciones entre los tratamientos hormonales y luminosos. Es posible generar callos con cualquiera de los tratamientos hormonales y luminosos evaluados; la luz roja acelera la formación de callos y tallos adventicios de pascuíta con características deseables. **Palabras clave:** *Euphorbia leucocephala*, cultivo *in vitro*, organogénesis indirecta, iluminación LED.

ABSTRACT: Pascuíta (*Euphorbia leucocephala* Lotsy) is a plant commonly used for ornamental purposes during the Christmas season. The lack of agronomic varieties and efficient vegetative reproduction protocols pose challenges for this species. The development of an *in vitro* reproduction protocol through indirect

organogenesis represents a first step in addressing both challenges. The objective of this study was to determine the suitable type of explant and antioxidant agent for *in vitro* establishment of pascuíta, as well as to evaluate three LED light colors and different combinations of benzyladenine (BA) and indole-3-acetic acid (IAA) on callus formation and subsequent shoot generation. In the first phase, the use of leaf fragments and node fragments as explants, along with activated charcoal (1 g L^{-1}) and polyvinylpyrrolidone (PVP, 300 mg L^{-1}) as antioxidant agents, was tested for *in vitro* establishment of pascuíta. In the second phase, the effect of 9 and $12 \text{ }\mu\text{M}$ BA in combination with 5, 8, and $11 \text{ }\mu\text{M}$ IAA added to the culture medium (WPM) and white, red, and blue LED light ($10 \text{ }\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and 16 h photoperiod) were tested on callus generation and subsequent shoot formation in pascuíta node fragments. Results showed that it is possible to establish pascuíta *in vitro* using node fragments as explants and PVP as an antioxidant agent. Additionally, callus formation was observed under all evaluated treatments, with the fastest process occurring under red light (100% by day 16, compared to day 23 under other colors), and 100% of calli showing shoot formation under red light. The number and length of shoots depended on the interactions between hormonal and light treatments. Callus formation with desirable characteristics and subsequent shoot formation can be achieved with any of the evaluated hormonal and light treatments; red light accelerates callus and adventitious shoot formation in pascuíta.

Key words: *Euphorbia leucocephala*, *in vitro* culture, indirect organogenesis, LED lighting.

INTRODUCCIÓN

La pascuíta (*Euphorbia leucocephala* Lotsy) es una especie vegetal arbustiva originaria de México y Centroamérica, utilizada como ornamental en la temporada navideña. Se propaga principalmente por esquejes y semillas. Su reproducción en masa por diferentes técnicas de micropropagación no está reportada y solo existe un antecedente en la literatura científica que proporciona información sobre el establecimiento exitoso y posterior enraizamiento de esquejes apicales de pascuíta *in vitro* (Martínez-Villegas *et al.*, 2015). La nula existencia de variedades comerciales de esta especie es uno de los grandes problemas para los productores y una oportunidad para la investigación en mejoramiento genético. Diversas técnicas de transformación y generación de mutaciones pueden ser aplicadas sobre callos *in vitro* en programas de mejoramiento genético. Lo anterior deja clara la necesidad de generar una metodología para el establecimiento *in vitro* y la formación de callos de pascuíta, como un primer paso para abordar parte de los retos asociados a la producción agronómica de esta especie.

La formación de callos *in vitro* de cualquier especie vegetal involucra la posibilidad de generar variaciones somaclonales en ese tejido y en aquellos formados a partir del mismo (Duta-Cornescu *et al.*, 2023). Cuando se desea propagar una especie ornamental (como es el caso de la pascuíta) por organogénesis indirecta, la presencia de variaciones somaclonales puede representar un problema, especialmente aquellas que se expresan en el fenotipo, pues lo que se desea en dichos casos, es la generación de plántulas idénticas a la planta madre. Estas variaciones pueden ser también utilizadas durante el mejoramiento genético, especialmente para la generación de nuevos genotipos (Duta-Cornescu *et al.*, 2023) y como en el caso de la pascuíta, para la generación de nuevas variedades. Si bien, el objetivo del presente trabajo no involucra la promoción o detección de estas variaciones, son un factor importante para considerar durante el establecimiento *in vitro* de cualquier especie.

El establecimiento de tejidos vegetales *in vitro* es afectado por múltiples factores como el medio de cultivo, reguladores de crecimiento, tipo de explantes y ambiente del cuarto de incubación. Diversas especies del género *Euphorbia* y la familia Euphorbiaceae se han cultivado *in vitro* previamente, existiendo protocolos de micropropagación para nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*) (D'Onofrio & Morini, 2001; Perera & Trader, 2010), *Euphorbia helioscópica* (Aljibouri *et al.*, 2014) y *Jatropha curcas* (Daud *et al.*, 2013). El medio de cultivo MS es el más utilizado en la micropropagación de especies de esta familia; sin embargo, se ha reportado que esquejes de pascuíta se adaptan mejor al medio WPM sin presencia de CaCl_2 (Martínez-Villegas *et al.*, 2015).

La generación de callos está fuertemente influenciada por la adición de reguladores del crecimiento al medio de cultivo (Ikeuchi *et al.*, 2013). De manera general se conoce que el balance entre auxinas y citoquininas estimula las reacciones necesarias para la generación de callos, tallos o raíces de un explante *in vitro* (Ikeuchi *et al.*, 2013). Las auxinas sintéticas más utilizadas para promover la formación de callos son el ácido indol-3-acético (AIA) ácido indol-3-butírico (AIB) y el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D); y respecto a citoquininas, las más empleadas son la benciladenina (BA), cinetina y zeatina. En nochebuena “Prestige Red”, la adición de 4 μM de AIA con 8, 10 o 12 μM de BA mostró ser óptima para la generación de callos (Perera & Trader, 2010); para las variedades Agelika, Dorothee y Regina lo fue la adición al medio de 1 μM de 4-CPA (ácido 4-clorofenoxiacético) y 0.9 μM de BA (D’Onofrio & Morini, 2001); mientras que en *E. helioscopica* el uso de 1 mg L^{-1} de BA y 0.8 mg L^{-1} de 2,4-D generó buenos resultados para el mismo objetivo (Aljibouri *et al.*, 2014).

El estado fisiológico de los tejidos empleados y sus niveles hormonales endógenos son de vital importancia para la desdiferenciación celular y la formación de callos (Mostafa *et al.*, 2020). Se sabe que en los meristemos se encuentra un grupo de células no diferenciadas que usualmente permiten una generación óptima de callos (Sobańska *et al.*, 2023); sin embargo, de acuerdo con la teoría de la totipotencia celular, no solo las células meristemáticas son capaces de generar callos (Mostafa *et al.*, 2020). Respecto a especies de la familia Euphorbiaceae, se ha logrado inducir la formación de callos a partir de fragmentos foliares en nochebuena (Pickens *et al.*, 2005), *Euphorbia hirta* (Amos Samkumar *et al.*, 2019) y *Croton urucurana* (Lima *et al.*, 2008); mientras que a partir de meristemos apicales (ápices) o axilares (nudos o fragmentos de nudos) la formación de callos se ha reportado en nochebuena (Perera & Trader, 2010), *Phyllanthus urinaria* (Catapan *et al.*, 2002), *E. helioscopica*, *Euphorbia peplus*, *Euphorbia granulata* y *E. hirta* (Aljibouri *et al.*, 2014).

Entre los factores ambientales que influyen sobre el establecimiento de plantas *in vitro*, la calidad de la luz es de los más importantes (Cavallaro *et al.*, 2022). A través de los fotorreceptores las plantas responden a la intensidad luminosa, longitud de onda y fotoperiodo, desencadenando procesos que controlan la bioquímica, fisiología y morfología vegetal. Si bien es común que en micropropagación se utilice luz blanca para el mantenimiento de las plantas *in vitro*, varias investigaciones han demostrado que la luz roja y la azul pueden desencadenar múltiples reacciones fisiológicas que permiten acelerar o hacer eficientes varios de los procesos necesarios para lograr la regeneración vegetal (Daud *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2017; Pawłowska *et al.*, 2018; Yu *et al.*, 2019). Sobre nochebuena se ha reportado que la luz roja favorece la formación de callos en comparación con la luz azul y blanca (D’Onofrio & Morini, 2001), efecto que ha sido observado también en otras especies (Adil *et al.*, 2019; Budiarto, 2010; Younas *et al.*, 2018; Yu *et al.*, 2019), por lo que se puede atribuir que dicha respuesta se debe a que este color de luz favorece un balance hormonal adecuado para la formación de callos (Yu *et al.*, 2019).

Pruebas realizadas previo al establecimiento del presente trabajo mostraron altos porcentajes de necrosamiento en fragmentos de hojas de pascuíta establecidos *in vitro* bajo el medio WPM sin CaCl_2 , lo que dejó clara la necesidad de probar el uso de antioxidantes y otro tipo de propágulo para lograr establecer a la pascuíta *in vitro*.

Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar el tipo de explante y agente antioxidante adecuado para establecer a la pascuíta *in vitro*, así como evaluar tres colores de luz LED y diferentes combinaciones de benciladenina (BA) con ácido indol-3-acético (AIA) sobre la formación de callos y posterior generación de tallos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación, manejo de explantes y medio de cultivo

El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Se utilizaron plantas madre de *E. leucocephala* de un año de edad cultivadas bajo invernadero en la UACH.

Se fertilizaron una vez por semana con una solución del fertilizante Ultrasol® Multipropósito a 1 mg L^{-1} . Para el saneamiento de las plantas se utilizó INTERMICIN 500® (Estreptomocina, Oxitetraciclina y Sulfato tribásico de cobre) a 1 g L^{-1} aplicado al riego a las cuatro y dos semanas previas a la obtención de los explantes. Dado que previo a la obtención de los explantes (4 de noviembre) iniciaron los días cortos, las plantas madre se trataban diariamente con 4 horas de luz adicional (8:00 PM – 12:00 AM) utilizando luz blanca fría (PHILIPS® EcoHome LEDBulb 12MX) a $85 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para evitar la floración.

El presente trabajo se realizó en dos fases (descritas en los siguientes apartados), en ambas, los explantes se obtuvieron del antepenúltimo verticilo formado en ramas de las plantas madre (figura 1); durante el transporte del invernadero al laboratorio, estas estructuras estuvieron sumergidas en una solución antioxidante (150 mg L^{-1} de ácido cítrico más 100 mg L^{-1} de ácido ascórbico). El método de desinfección consistió en lavado con jabón y agua corriente adicionado con 5 gotas de Tween® por 10 min, posteriormente lavado con solución de FUNLATE 50® (benomilo) a 1 g L^{-1} e INTERMICIN 500® (estreptomocina, oxitetraciclina y cobre) a 2 g L^{-1} por 10 min en agitación constante y finalmente lavado con hipoclorito de sodio comercial al 10 % por 5 min; ya dentro de la campana de flujo laminar se enjuagaron una sola vez con agua destilada y para su posterior manejo permanecieron en solución antioxidante (150 mg L^{-1} de ácido cítrico más 100 mg L^{-1} de ácido ascórbico).

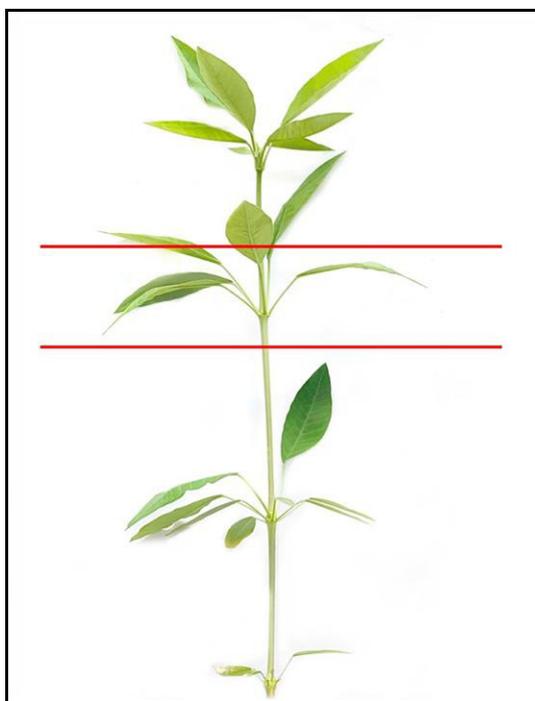


Figura 1. Zona de las ramas de pascuíta de donde se obtuvieron los explantes.
Figure 1. Zone of the Pascuíta's branches from which the explants were taken.

En ambas fases del trabajo se utilizó el medio de cultivo WPM (Woody Plant Medium) modificado por Martínez-Villegas *et al.* (2015), cuya composición es: NH_4NO_3 , 400 mg L^{-1} ; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 695 mg L^{-1} ; MgSO_4 , 370 mg L^{-1} ; KH_2PO_4 , 170 mg L^{-1} ; $\text{Na}_2 \text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 37.2 mg L^{-1} ; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 27.8 mg L^{-1} ; H_3BO_3 , 6.2 mg L^{-1} ; $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 22.3 mg L^{-1} ; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 8.6 mg L^{-1} ; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.25 mg L^{-1} ; y $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0.25 mg L^{-1} . Se adicionó también 3 % de sacarosa, 100 mg L^{-1} de mio-inositol y 0.4 mg L^{-1} de tiamina-HCl; el pH se ajustó a 5.7 y se agregó 0.7 % de agar (Sigma-Aldrich). El medio se colocó en tubos de ensayo, aproximadamente 20 mL de medio en cada uno.

Iluminación

En ambas fases de trabajo los tubos de ensayo se establecieron dentro de cajas de aislamiento luminoso, de $60 \times 40 \times 35 \text{ cm}$ de largo, ancho y alto, respectivamente, estas estaban forradas con papel aluminio para promover una iluminación homogénea. Como fuentes luminosas se

utilizaron paneles con 100 módulos de LED 5630 (TUNIX® LA-CCH50505) de 1.5 W, de colores rojo, blanco y azul establecidos en un área de 9 x 30 cm en la parte central de la tapa superior de la caja. La iluminación se mantuvo a $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (medido a la base de la caja de aislamiento) y 16 h de fotoperiodo. Las características espectrales de cada fuente de iluminación se muestran en la Tabla 1 y fueron medidas con un espectroradiómetro Apogee® modelo StellarNet PS-300.

Tabla 1. Características espectrales de las fuentes luminosas.

Table 1. Spectral characteristics of the light sources.

	Blanco	Rojo	Azul
Densidad de flujo de fotones ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	10	10	10
Longitud de máxima emisión (nm)	447.5, 547.5	556.5	451
UV (300-400 nm)	1.40%	4.87%	6.98%
Azul (400-500 nm)	30.62%	2.58%	85.44%
Verde (500-600 nm)	47.87%	4.60%	2.89%
Rojo (600-700 nm)	18.17%	83.35%	2.14%
Rojo lejano (700-800 nm)	1.94%	4.60%	2.55%
Proporción Azul/Rojo	1.68	0.03	39.85

Fase 1. Explante y agente antioxidante

En esta primera fase buscó determinar el tipo de explante y agente antioxidante adecuado para establecer a la pascuíta *in vitro*. Se diseñó un experimento factorial donde se probaron dos tipos de propágulos: fracción central de la hoja (1 cm^2 aproximadamente, figura 2c) establecida con la superficie abaxial hacia el medio de cultivo y una cuarta parte de un nudo desprovisto de hojas y peciolo (figura 2b); y dos antioxidantes: polivinilpirrolidona (PVP, adicionada al medio a 300 mg L^{-1}) y carbón activado (adicionado al medio a 1 g L^{-1}). Cada una de las combinaciones generó un tratamiento y cada tratamiento tuvo dieciocho repeticiones que se establecieron bajo los tres colores de luz LED, seis por cada color. La unidad experimental fue un tubo de ensayo con el tratamiento respectivo. A los diez días se contabilizó el porcentaje de necrosamiento en cada tratamiento, sin considerar aquellas unidades experimentales que se hubieran contaminado.

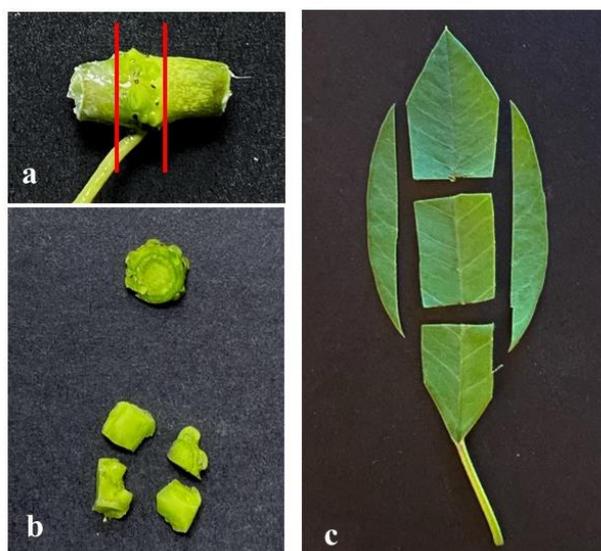


Figura 2. Explantes probados para establecer a la pascuíta *in vitro*. a) Zona del nudo de donde se tomaron los explantes. b) Nudo entero y nudo fraccionado en cuatro partes. c) La parte central de la hoja se utilizó como el segundo explante probado.

Figure 2. Explants tested for *in vitro* establishment of Pascuíta. a) Node zone from which the explants were taken. b) Whole node and node divided into four parts. c) The central part of the leaf was used as the second tested explant.

Las unidades experimentales sin necrosamiento o contaminación se mantuvieron en observación por 60 días, con la finalidad de detectar si formaban callo.

Para el análisis estadístico en esta primera fase se utilizó una prueba de Friedman ($P \leq 0.05$) para detectar diferencias en el porcentaje de necrosamiento entre los diferentes tratamientos. Se utilizó el programa estadístico SAS® System versión 9.0.

Fase 2: BA/AIA y tipo de luz en la inducción de callos y tallos adventicios

Una vez obtenidos los resultados de necrosamiento del experimento anterior se estableció la segunda fase, cuyo objetivo era inducir la formación de callos y posteriormente tallos. Utilizando fragmentos de nudo como propágulos y PVP como antioxidante (300 mg L^{-1}) se diseñó un experimento factorial donde se probaron tres colores de luz LED (blanco, rojo y azul, $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y 16 h de fotoperiodo) y dos concentraciones de benciladenina (BA, 9.0 y $12.0 \mu\text{M}$) en combinación con tres concentraciones de ácido indol-3-acético (AIA, 5, 8 y $11 \mu\text{M}$). La combinación de los factores generó 18 tratamientos, se establecieron cinco repeticiones por cada uno. La unidad experimental consistió en un tubo de ensayo con el tratamiento respectivo.

Se evaluó la formación de callos a los 10, 16 y 23 días de establecido el experimento, registrando como positivo la formación de callo en al menos 50% de la superficie del explante. El porcentaje de unidades experimentales con callos formados por tratamiento se calculó sin considerar aquellos tubos en que hubiera contaminación o necrosamiento de explantes. El tamaño de los callos se registró considerando una escala empírica utilizando cruces, donde +: callos pequeños ($< 0.5 \text{ cm}$), ++: callos medianos ($0.5\text{-}1.0 \text{ cm}$) y +++: callos grandes ($> 1.0 \text{ cm}$). Los callos se mantuvieron bajo los tratamientos luminosos respectivos y se contabilizó el porcentaje de unidades experimentales con tallos presentes por tratamiento a los días 59, 72 y 90 después de establecido el experimento.

A los 90 días de establecido el experimento se contabilizó el número de tallos y la longitud promedio de los tallos en cada unidad experimental. Para obtener las medias de estas variables en cada tratamiento, no se tomaron en cuenta aquellos casos en que aun con presencia de callos, no hubiera tallos formados.

Se realizaron pruebas de Kruskal-Wallis ($P \leq 0.05$) para detectar el efecto del color de luz y las combinaciones de los tratamientos hormonales sobre el porcentaje de callos y tallos adventicios formados. Para las variables número de tallos y longitud de tallos formados, se aplicó análisis de varianza (ANAVA) y prueba de comparación de medias de Duncan ($P \leq 0.05$). Se utilizó el programa estadístico SAS® System versión 9.0.

RESULTADOS

Fase 1. Explante y agente antioxidante

En todo el experimento solo se observó una unidad experimental contaminada (bacteria no identificada), lo que corresponde a 1.38 % del total. Se detectaron diferencias significativas (Friedman, $P \leq 0.05$) para las combinaciones entre tipo de propágulo y antioxidante utilizado. No se observaron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) en el porcentaje de necrosamiento debidas al tipo de antioxidante cuando se utilizaban fragmentos de hoja como propágulo (Tabla 2), sin embargo, cuando se utilizaron fragmentos de nudos, la adición de PVP al medio mostró una reducción significativa ($P \leq 0.05$) del necrosamiento en comparación con la adición de carbón activado.

Tabla 2. Efecto de dos antioxidantes adicionados al medio de cultivo sobre el necrosamiento de dos tipos de propágulos de pascuíta evaluado a los diez días.

Table 2. Effect of two antioxidants added to the culture medium on the necrosis of two types of pascuíta propagules evaluated at ten days.

Explante	Antioxidante	Necrosamiento (%) ± DE
Fragmento de hoja	Polivinilpirrolidona	72.33 ± 20.76 a*
	Carbón activado	77.67 ± 9.24 a
Fragmento de nudo	Polivinilpirrolidona	5.67 ± 8.0 c
	Carbón activado	27.67 ± 7.54 b

*Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente (Friedman, $P \leq 0.05$). DE: desviación estándar.

*Means followed by the same letter do not differ statistically (Friedman, $P \leq 0.05$). SD: standard deviation.

Posterior a la toma de datos, se conservó el experimento para observar su evolución. En ningún caso se observó formación de callo u órganos adventicios, dejando clara la necesidad de adicionar reguladores del crecimiento para la generación de estas estructuras. En los explantes de hoja hubo necrosamiento en el 50 % a los 35 días, mientras que más del 50 % de los explantes de fragmento de nudo permanecieron sin necrosamiento hasta el final de las observaciones (60 días).

Fase 2: BA/AIA y tipo de luz en la inducción de callos y tallos adventicios

El análisis estadístico mostró que únicamente el efecto del color de luz fue significativo (Kruskal-Wallis, $P = 0.047$) sobre el porcentaje de unidades experimentales con callo formado al día 10. Para los días 16 y 23 no se observaron efectos significativos ($P \leq 0.05$) del color de luz LED aplicado o de los tratamientos hormonales.

La formación de callos de pascuíta inició durante la primera semana. A los diez días de establecido el experimento el mayor porcentaje de unidades experimentales con callo presente se registró bajo luz roja (Tabla 3), sin presentar diferencia estadística (Kruskal-Wallis, $P \leq 0.05$) al porcentaje registrado bajo luz blanca. El menor porcentaje de formación de callos se observó bajo luz azul. Para el día 16, el tratamiento con luz roja había alcanzado el 100 % de unidades experimentales con callo formado. Para el día 23 todas las unidades experimentales tenían callos formados.

Tabla 3. Formación de callos de pascuíta bajo diferentes colores de luz LED

Table 3. Callus formation of Pascuíta under different LED light colors

Color de luz	Unidades experimentales con callo (%)		
	Día 10 (± DE)	Día 16 (± DE)	Día 23 (± DE)
Blanco	84.17 ± 18.35 a*	95.83 ± 9.32	100 ± 0
Rojo	93.33 ± 9.43 a	100 ± 0	100 ± 0
Azul	64.17 ± 18.35 b	88.33 ± 11.79	100 ± 0

*Porcentajes seguidos de letras iguales, no difieren estadísticamente (Kruskal-Wallis, $P \leq 0.05$). DE.: desviación estándar.

*Percentages followed by the same letters do not differ statistically (Kruskal-Wallis, $P \leq 0.05$). SD: standard deviation.

Respecto al tamaño de los callos, los más grandes se presentaron bajo luz roja y blanca (Tabla 4), aunque el tamaño varió en función del tratamiento hormonal.

Tabla 4. Tamaño de callos de pascuíta formados bajo diferentes colores de luz LED y tratamientos hormonales.
Table 4. Size of pascuíta calli formed under different LED light colors and hormonal treatments.

Tratamiento hormonal		Color de luz		
BA (μM)	AIA (μM)	Blanco	Rojo	Azul
9	5	++	++	+
	8	++	++	+
	11	+++	++	++
12	5	++	+++	+
	8	+++	+++	++
	11	++	+++	+

+: callos pequeños (< 0.5 cm), ++: callos medianos (0.5-1.0 cm), +++: callos grandes (> 1.0 cm). n=5. el número de cruces en la Tabla representa la moda en cada tratamiento.

+: small calli (< 0.5 cm), ++: medium-sized calli (0.5-1.0 cm), +++: large calli (> 1.0 cm). n=5. The number of crosses in the table represents the mode in each treatment.

Las características de los callos no mostraron grandes diferencias (Figura 3). Bajo luz roja y con tratamiento hormonal de BA 9 μM y AIA 11 μM se observó la presencia de una tonalidad rosa en la superficie de los callos. Respecto al área del explante cubierta por callo, fue bajo luz azul donde se detectó menor crecimiento de este tipo de células.

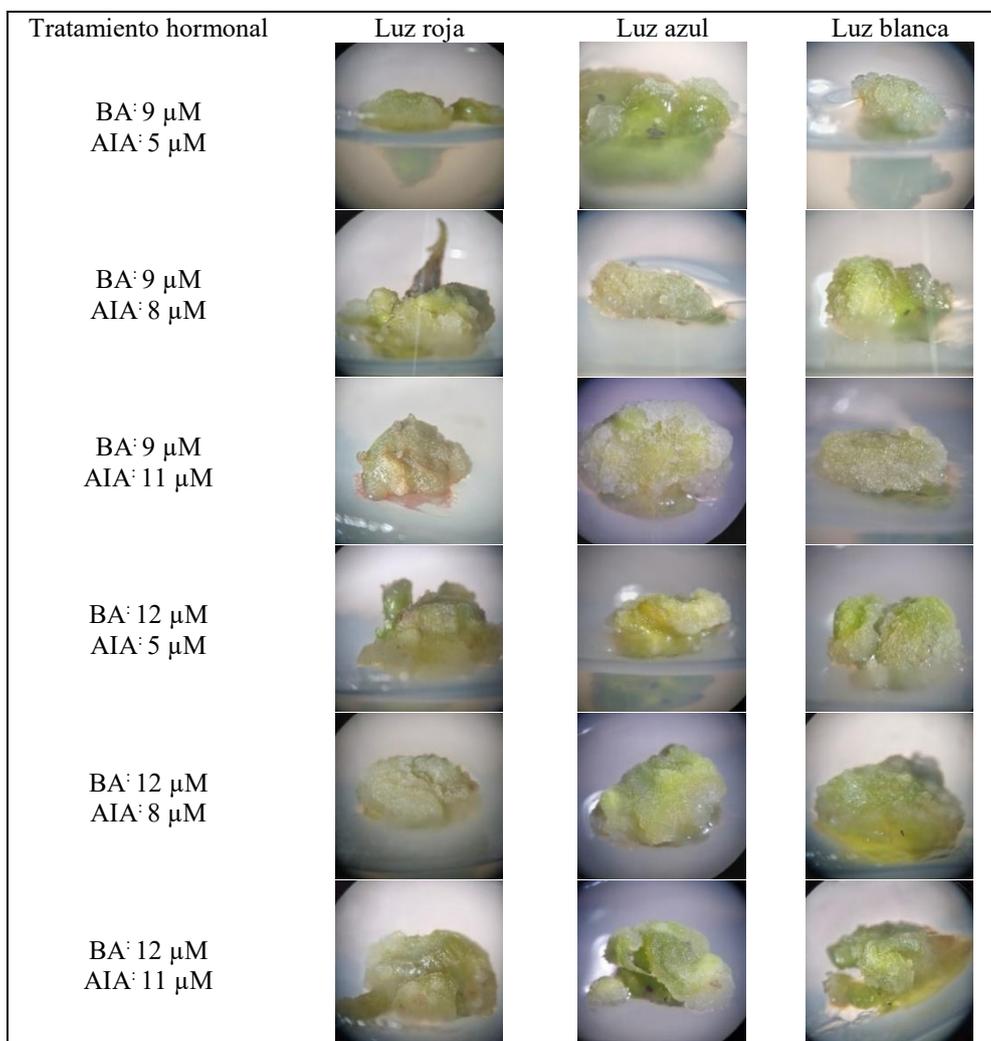


Figura 3. Callos de pascuíta formados bajo diferentes colores de luz LED y tratamientos hormonales. BA: benciladenina AIA: ácido indol-3-acético.

Figure 3. Pascuíta calli formed under different LED light colors and hormonal treatments. BA: benzyladenine AIA: indole-3-acetic acid.

La formación de tallos se observó en todos los tratamientos. Al día 59, solo los tratamientos hormonales fueron significativos estadísticamente (Kruskal-Wallis, $P = 0.039$) sobre el porcentaje de unidades experimentales con tallos. Para el día 72 solo se observó significancia para el factor color de luz ($P = 0.017$), mientras que para el día 90, ninguno de los factores evaluados fue significativo para esta variable. El análisis de varianza para el número y longitud de tallos mostró que para ambas variables hubo efectos significativos ($P \leq 0.05$) del color de luz aplicado, los tratamientos hormonales y la interacción de ambos.

La formación de tallos en función de los tratamientos hormonales para el día 59 fue máxima cuando se usaron $5 \mu\text{M}$ de AIA y disminuyó en función del aumento en la concentración de la auxina, independientemente de la concentración de BA en el medio (Tabla 5).

Tabla 5. Formación de tallos adventicios a partir de callos de pascuíta en función de diferentes tratamientos hormonales *in vitro*.

Table 5. Formation of adventitious shoots from pascuíta calli based on different *in vitro* hormonal treatments.

Tratamiento		Unidades experimentales con tallos (%)		
BA (μM)	AIA (μM)	Día 59 (\pm DE)	Día 72 (\pm DE)	Día 90 (\pm DE)
	5	83.33 \pm 11.79 a*	91.67 \pm 0	100 \pm 0
9	8	30.00 \pm 7.07 b	61.11 \pm 20.79	72.22 \pm 20.79
	11	23.33 \pm 2.36 c	58.33 \pm 31.18	66.67 \pm 31.18
12	5	83.33 \pm 11.79 a	91.67 \pm 11.79	100 \pm 0
	8	41.67 \pm 23.57 b	75.00 \pm 20.41	100 \pm 0
	11	28.33 \pm 20.95 c	50.00 \pm 20.41	83.33 \pm 23.57

*Porcentajes seguidos de letras iguales, no difieren estadísticamente (Kruskal-Wallis, $P \leq 0.05$). DE: desviación estándar.

*Percentages followed by the same letters do not differ statistically (Kruskal-Wallis, $P \leq 0.05$). SD: standard deviation.

En función de los tratamientos luminosos, al día 72 de iniciado el experimento se registró un mayor porcentaje de unidades experimentales con tallos adventicios formados bajo luz roja (Tabla 6), seguido por luz azul y blanca, estas últimas sin ser estadísticamente diferentes entre sí (Kruskal-Wallis, $P \leq 0.05$). Al día 90 no se detectaron diferencias entre los tratamientos, sin embargo, cabe resaltar al tratamiento con luz roja como el único donde el 100% de las unidades experimentales formaron tallos.

Tabla 6. Formación de tallos adventicios de pascuíta a partir de callos bajo diferentes colores de luz LED.

Table 6. Formation of pascuíta adventitious shoots from calli under different LED light colors.

Color de luz	Unidades experimentales con tallos (%)		
	Día 59 (\pm DE)	Día 72 (\pm DE)	Día 90 (\pm DE)
Blanco	54.17 \pm 33.59	66.67 \pm 23.57 b*	79.17 \pm 22.44
Rojo	45.00 \pm 22.17	95.83 \pm 9.32 a	100 \pm 0
Azul	45.83 \pm 30.33	51.39 \pm 23.77 b	81.94 \pm 28.22

*Porcentajes seguidos de letras iguales, no difieren estadísticamente (Kruskal-Wallis, $P \leq 0.05$). DE: desviación estándar.

*Percentages followed by the same letters do not differ statistically (Kruskal-Wallis, $P \leq 0.05$). SD: standard deviation.

Si bien no se realizaron estudios histológicos para determinar el origen de los nuevos tallos, al día 72 se observó que estos se originaban en la superficie de los callos (Figura 4). Bajo luz roja en combinación con 9 μM de BA y 11 μM de AIA fue posible observar un elevado número de primordios de tallo sobre la superficie del callo (Figura 4B), muchos de ellos se desarrollaron y fueron cuantificados a los 90 días.

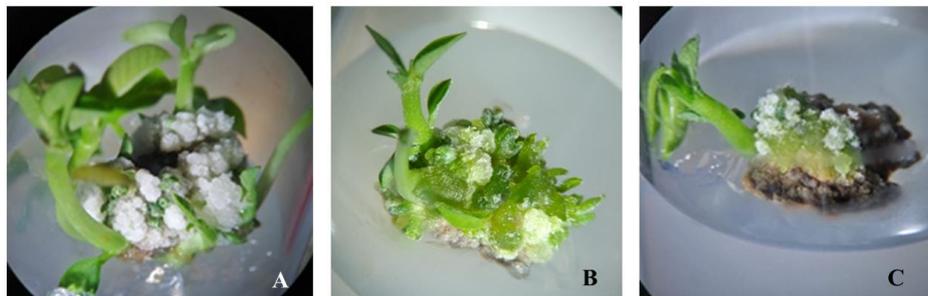


Figura 4. Tallos de pasquita formados *in vitro* bajo luz blanca (A), roja (B) y azul (C) en medio WPM adicionado con 9 μM de BA y 11 μM de AIA, a los 72 días del establecimiento.

Figure 4. *In vitro*-formed Pasquita shoots under white (A), red (B), and blue (C) light in WPM medium supplemented with 9 μM BA and 11 μM IAA, at 72 days after establishment.

El número y la longitud de los tallos adventicios formados estuvieron en función de las diferentes combinaciones entre el color de luz aplicado y el balance hormonal del medio. El mayor número de tallos se obtuvo bajo luz blanca en los tratamientos hormonales que contenían 5 μM de AIA y en luz roja con 9 μM de BA y 11 μM de AIA (Tabla 7). Respecto a la longitud de los tallos, los valores mayores se registraron bajo múltiples tratamientos hormonales en los colores rojo y azul.

Tabla 7. Número y longitud de tallos de pasquita formados a partir de callos bajo diferentes tratamientos hormonales y luminosos *in vitro*.

Table 7. Number and length of pasquita shoots formed from calli under different *in vitro* hormonal and light treatments.

Color de luz	BA (μM)	AIA (μM)	Número de tallos (\pm DE)	Longitud de tallos (cm) (\pm DE)
Blanco	9	5	4.00 \pm 0 a*	0.50 \pm 0.14 c
		8	1.00 \pm 0 f	0.70 \pm 0 bcd
		11	1.20 \pm 0.43 ef	0.76 \pm 0.49 bcd
	12	5	4.00 \pm 0 a	0.30 \pm 0.08 d
		8	2.75 \pm 0.43 bc	0.37 \pm 0.20 d
		11	1.00 \pm 0 f	0.85 \pm 0.15 bcd
Rojo	9	5	2.25 \pm 0.83 cde	0.89 \pm 0.11 bcd
		8	2.60 \pm 0.8 c	2.06 \pm 0.85 a
		11	3.67 \pm 0.47 ab	0.87 \pm 0.17 bcd
	12	5	2.80 \pm 0.4 bc	1.36 \pm 0.37 abc
		8	2.50 \pm 0.5 cd	1.41 \pm 0.39 ab
		11	2.50 \pm 0.5 cd	1.45 \pm 0.23 ab
Azul	9	5	2.75 \pm 0.43 bc	0.95 \pm 0.38 bcd
		8	1.00 \pm 0 f	1.45 \pm 0.05 ab
		11	1.00 \pm 0 f	0.90 \pm 0.1 bcd
	12	5	2.00 \pm 0 cdef	1.95 \pm 0.17 a
		8	1.33 \pm 0.47 ef	1.40 \pm 0.36 ab
		11	1.50 \pm 0.5 ef	0.45 \pm 0.05 d

*Medias seguidas por la misma letra, no son diferentes estadísticamente (Duncan, $P \leq 0.05$). AIA: ácido indol-3-acético. BA: benciladenina. DE: desviación estándar.

*Means followed by the same letter are not statistically different (Duncan, $P \leq 0.05$). AIA: Indole-3-acetic acid. BA: Benzyladenine. SD: Standard deviation.

DISCUSIÓN

Fase 1. Explante y agente antioxidante

Los resultados (Tabla 2) mostraron que el uso de fragmentos de nudos como propágulo y PVP como antioxidante, permiten el establecimiento de la pascuita *in vitro* con mínimo necrosamiento del tejido. El necrosamiento de explantes *in vitro* debe a múltiples factores, entre los que destacan la oxidación de algunos componentes celulares por la acción de radicales libres y la oxidación de compuestos fenólicos por la enzima polifenol oxidasa (Ahmad *et al.*, 2013). Se ha reportado también, que explantes con meristemos apicales o axilares son menos propensos a necrosarse (Azofeifa, 2009). En este sentido, la respuesta observada en el presente trabajo puede adjudicarse a que, en los fragmentos de nudos están presentes meristemos axilares, mientras que, los fragmentos de hoja no se encuentran en crecimiento activo. Así mismo, si bien no se ha reportado la composición fitoquímica de las hojas de pascuita, puede especularse que contienen compuestos altamente oxidables. Otra de las posibilidades por las que se observó un mayor necrosamiento en fragmentos de hoja pudiera ser que, durante la desinfección, las células de estos explantes están expuestas directamente a los agentes oxidantes utilizados y a la abrasión. Respecto al uso de antioxidantes se ha descrito al carbón activado y a la polivinilpirrolidona como absorbentes de compuestos fenólicos (Azofeifa, 2009), su eficiencia depende de la dosis, el genotipo y las características del tipo de explante sobre el que se utilicen (Amente & Chimdessa, 2021) en este trabajo, el uso de PVP a 300 mg L^{-1} agregado al medio de cultivo resultó ser más eficiente que 1 g L^{-1} de carbón activado para el control del necrosamiento de fragmentos de verticilos de pascuita *in vitro*.

Fase 2: BA/AIA y tipo de luz en la inducción de callos y tallos adventicios

La formación de callos que se presentó en todos los tratamientos hormonales (Figura 1) es un buen indicador del potencial de reproducción *in vitro* que tiene la pascuita. La mayor velocidad de formación de callos bajo luz roja seguida por la velocidad observada bajo luz azul (Tabla 3) está relacionada con los efectos de la calidad de la luz sobre el balance hormonal interno del propágulo. Una mayor formación de callos en proporción y tamaño en incubación con luz roja frente a otros colores de luz también se ha observado en nochebuena (D'Onofrio & Morini, 2001), anturio (Budiarto, 2010), algodón (Yu *et al.*, 2019), *Withania somnifera* (Adil *et al.*, 2019) y *Silybum marianum* (Younas *et al.*, 2018).

Una posible explicación a los resultados observados considera que el nivel endógeno de AIA correlaciona con la formación y mantenimiento del callo (Centeno *et al.*, 1996), así mismo se ha reportado que varios reguladores del desarrollo de raíces laterales participan en la formación de callos en condiciones *in vitro* (Ikeuchi *et al.*, 2013). La luz roja promueve el incremento de la concentración interna de AIA de manera indirecta (Alallaq *et al.*, 2020), mientras que la luz azul promueve la sobreexpresión de genes relacionados con la síntesis de AIA y la formación de raíces (Gil *et al.*, 2021; Shen *et al.*, 2022), lo que explicaría un incremento interno de esta hormona en los propágulos bajo luz roja o azul en comparación con los establecidos bajo luz blanca y, por tanto, una mayor velocidad en la formación de callos. Esta teoría ha sido apoyada parcialmente por Yu *et al.* (2019) quienes bajo luz roja observaron una mayor formación de callos en algodón, acompañada de un incremento en el contenido interno de AIA y un balance AIA/ZA cercano a 0.5, sin embargo, bajo luz azul dicho balance se redujo considerablemente (aproximadamente 0.35) debido a una reducción en la concentración interna de AIA y no a un incremento en la concentración de zeatina.

Un patrón específico en la formación de tallos en función de la concentración hormonal en el medio, se observó al día 59 (Tabla 5); independientemente de la concentración de BA un incremento en la concentración de AIA redujo el porcentaje de unidades experimentales con tallos formados (Kruskal-Wallis, $P \leq 0.05$). Generalmente es aceptado que las respuestas

observadas *in vitro* están en función del balance hormonal en el medio de cultivo, es así como un balance que tiende hacia las auxinas promueve la formación de raíces, un balance neutro la formación de callos y un balance que tiende hacia las citoquininas promueve la formación de tallos (Ikeuchi *et al.*, 2013). Si bien a los días 72 y 90 el patrón no fue observado, la disminución de la concentración de AIA que favorece un balance hacia la BA explica los resultados observados al día 52.

Los efectos del color de la luz sobre el inicio en la formación de tallos pueden interpretarse por la influencia positiva de la luz roja sobre la acumulación de auxinas (Yu *et al.*, 2019) y de la luz azul sobre la acumulación de citoquininas (Kohler *et al.*, 1980), lo que explica mayor formación de tallos bajo luz azul en diferentes especies (Budiarto, 2010; Cybularz-Urban *et al.*, 2015; Dutta Gupta & Sahoo, 2015; Jeong & Sivanesan, 2018); sin embargo, en el presente trabajo se han encontrado resultados diferentes, ya que bajo luz roja se observó una mayor formación de nuevos tallos (Tabla 6). Una posible explicación es que el inicio de la formación de tallos adventicios fue disparado por la concentración de hormonas exógenas (Tabla 5) al día 59, dejando múltiples meristemas adventicios formados, pero sin desarrollarse lo suficiente para ser considerados como brotes; por efecto de la luz roja se promovió el alargamiento de dichos meristemas adventicios y fueron detectados al día 72.

El color de luz y tratamientos hormonales en combinación, produjeron los efectos observados sobre el número y longitud de tallos (Tabla 7). La formación de tallos adventicios se ha asociado a un balance hormonal que favorece a las citoquininas frente a las auxinas (Ikeuchi *et al.*, 2013), por lo que es común la adición únicamente de citoquininas a los medios de cultivo con la finalidad de promover la formación de tallos adventicios. En este trabajo, los tratamientos con 5 μM de AIA acompañados de 9 0 12 μM de BA favorecieron dicho balance; fue bajo luz blanca y azul donde se pudo detectar que estos tratamientos generaban un mayor número de tallos frente a los demás tratamientos hormonales. Bajo luz roja fue el tratamiento con 9 μM de BA y 11 μM de AIA en el que se obtuvo la media mayor, sin poder adjudicarse en este caso un efecto debido a un balance hormonal hacia las citoquininas adicionadas al medio.

La longitud de los tallos también estuvo en función de la interacción entre el color de luz y el tratamiento hormonal (Tabla 7). Una mayor longitud de tallos *in vitro* bajo luz roja frente a luz azul y blanca se ha reportado en *Ajuga multiflora* (Jeong & Sivanesan, 2018), *Rehmannia glutinosa* (Manivannan *et al.*, 2015), vid (Poudel *et al.*, 2008) y *Oncidium* (Chung *et al.*, 2010), dejando claro el papel de este color de luz sobre el alargamiento de tallos. Los resultados aquí mostrados presentan las medias más altas de longitud de tallos en tratamientos asociados a la luz roja, sin embargo, también bajo luz azul se registraron longitudes de tallos que no fueron diferentes estadísticamente ($P \leq 0.05$) a las observadas bajo luz roja, si bien esto puede resultar contradictorio, los efectos observados se adjudican a la baja intensidad luminosa utilizada en el presente trabajo.

CONCLUSIONES

El uso de fragmentos de nudos de pascuíta como propágulo y polivinilpirrolidona como antioxidante permiten establecer a la pascuíta en condiciones *in vitro* con un mínimo necrosamiento, así mismo, permiten generar callos bajo cualquiera de los tratamientos hormonales y luminosos evaluados. La mejor combinación de BA/AIA para la inducción de tallos fue 9 o 12 μM BA / 5 μM AIA. La luz roja acelera la formación de callos y mejora la obtención de tallos adventicios de pascuíta. Los resultados de la presente investigación representan un primer paso para la generación de un método de reproducción de la especie por cultivo *in vitro* y para la futura exploración de métodos para la generación de nuevas variedades de pascuíta.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma Chapingo por el financiamiento de este estudio.

LITERATURA CITADA

- Adil, M., Haider Abbasi, B., & ul Haq, I. (2019). Red light controlled callus morphogenetic patterns and secondary metabolites production in *Withania somnifera* L. *Biotechnology Reports*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00380>
- Ahmad, I., Hussain, T., Ashraf, I., Maryam, M. N., Rafay, M., & Iqbal Muhammad. (2013). Lethal effect of secondary metabolites on plant tissue culture. American-Eurasian Project is under review View project Local fruit and vegetable drying techniques to reduce malnutrition View project. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 13(4), 539–547. <https://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2013.13.04.1975>
- Alallaq, S., Ranjan, A., Brunoni, F., Novák, O., Lakehal, A., & Bellini, C. (2020). Red Light Controls Adventitious Root Regeneration by Modulating Hormone Homeostasis in *Picea abies* Seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.586140>
- Aljibouri, A. M., Yakoub Zokian, S. A., & Almusawi, A. H. (2014). Response of four medical plants of *Euphorbia* species in callus initiation *in vitro*. *Journal of Biotechnology Research Center*, 8(1), 66–71.
- Amente, G., & Chimdessa, E. (2021). Control of browning in plant tissue culture: A review. *Journal of Scientific Agriculture*, 5, 67–71. <https://doi.org/10.14393/BJ-v34n1a2018-36311>
- Amos Samkumar, R., Premnath, D., & David Paul Raj, R. S. (2019). Strategy for early callus induction and identification of anti-snake venom triterpenoids from plant extracts and suspension culture of *Euphorbia hirta* L. *3 Biotech*, 9(7). <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1790-9>
- Azofeifa, A. (2009). Problemas de oxidación y oscurecimiento de explantes *in vitro*. *Agronomía Mesoamericana*, 20(1), 153–175. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43711514016>
- Budiarto, K. (2010). Spectral quality affects morphogenesis on anthurium plantlet during *in vitro* culture. *Agrivita volume*, 32(3), 234–240.
- Catapan, E., Luís, M., Da Silva, B., Moreno, N., & Viana, A. M. (2002). Micropropagation, callus and root culture of *Phyllanthus urinaria* (Euphorbiaceae). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 70, 301–309.
- Cavallaro, V., Pellegrino, A., Muleo, R., & Forgione, I. (2022). Light and Plant Growth Regulators on *in vitro* Proliferation. *Plants*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/plants11070844>
- Centeno, M. L., Rodriguez, A., Feito, I., Fermindez, B., & Weiler, E. W. (1996). Relationship between endogenous auxin and cytokinin levels and morphogenic responses in *Actinidia deliciosa* tissue cultures. *Plant Cell Reports*, 16, 58–62.
- Chung, J. P., Huang, C. Y., & Dai, T. E. (2010). Spectral effects on embryogenesis and plantlet growth of *Oncidium* “Gower Ramsey”. *Scientia Horticulturae*, 124(4), 511–516. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.01.028>
- Cybularz-Urban, T., Hanus-Fajerska, E., & Bach, A. (2015). Callus induction and organogenesis *in vitro* of *Cattleya* from protocorms-like bodies (PLBs) under different light conditions. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 14(6), 29–38. www.acta.media.pl
- D’Onofrio, C., & Morini, S. (2001). Effect of light quality on *in vitro* production of callus explants of three Poinsettia cultivars. En *Acta Hort* (Vol. 560).
- Daud, N., Faizal, A., & Geelen, D. (2013). Adventitious rooting of *Jatropha curcas* L. is stimulated by phloroglucinol and by red LED light. *In vitro cellular and Developmental Biology - Plant*, 49(2), 183–190. <https://doi.org/10.1007/s11627-012-9486-4>
- Dutta Gupta, S., & Sahoo, T. K. (2015). Light emitting diode (LED)-induced alteration of oxidative events during *in vitro* shoot organogenesis of *Curculigo orchoides* Gaertn. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(11). <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1990-9>
- Duta-Cornescu, G., Constantin, N., Pojoga, D. M., Nicuta, D., & Simon-Gruita, A. (2023). Somaclonal variation—Advantage or disadvantage in micropropagation of the medicinal plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(1), 838. <https://doi.org/10.3390/ijms24010838>
- Gil, C. S., Kwon, S. J., Jeong, H. Y., Lee, C., Lee, O. J., & Eom, S. H. (2021). Blue light upregulates auxin signaling and stimulates root formation in irregular rooting of rosemary cuttings. *Agronomy*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/agronomy11091725>

Recibido:
30/enero/2024

Aceptado:
21/junio/2024

- Ikeuchi, M., Sugimoto, K., & Iwase, A. (2013). Plant callus: Mechanisms of induction and repression. *Plant Cell*, 25(9), 3159–3173. <https://doi.org/10.1105/tpc.113.116053>
- Jeong, B. R., & Sivanesan, I. (2018). Impact of light quality and sucrose on adventitious shoot regeneration and bioactive compound accumulation in *Ajuga multiflora* Bunge. *Scientia Horticulturae*, 236, 222–228. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.056>
- Kohler, K.-H., Dsrfler, M., Gbring, H., & Moritz-Arndt, E. (1980). The Influence of Light on the Cytokinin Content of *Amaranthus* Seedlings. *biologia plantarum (PRAHA)*, 22(2), 128–134.
- Li, C. X., Xu, Z. G., Dong, R. Q., Chang, S. X., Wang, L. Z., Khalil-Ur-Rehman, M., & Tao, J. M. (2017). An RNA-seq analysis of grape plantlets grown *in vitro* reveals different responses to blue, green, red LED light, and white fluorescent light. *Frontiers in Plant Science*, 8(January). <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00078>
- Lima, E. C., Paiva, R., Cravo Nogueira, R., Pereira Soares, F., Bucsam Emrich, E., & Naves Silva, A. Á. (2008). Callus induction in leaf segments of *Croton urucurana* Baill. *Ciênc. agrotec.*, 32(1), 17–22.
- Manivannan, A., Soundararajan, P., Halimah, N., Ko, C. H., & Jeong, B. R. (2015). Blue LED light enhances growth, phytochemical contents, and antioxidant enzyme activities of *Rehmannia glutinosa* cultured *in vitro*. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 56(1), 105–113. <https://doi.org/10.1007/s13580-015-0114-1>
- Martínez-Villegas, Y. M., Andrade-Rodríguez, M., Colinas-León, M. T., Villegas-Torres, Ó. G., Castillo-Gutiérrez, A., & Alia-Tejacal, I. (2015). Culture media inorganic salts effect on pascuíta (*Euphorbia leucocephala* Lotsy) growth. *Rev. Fitotec. Mex*, 38(4), 369–374.
- Mostafa, H. H. A., Wang, H., Song, J., & Li, X. (2020). Effects of genotypes and explants on garlic callus production and endogenous hormones. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61564-4>
- Pawłowska, B., Żupnik, M., Szewczyk-Taranek, B., & Cioć, M. (2018). Impact of LED light sources on morphogenesis and levels of photosynthetic pigments in *Gerbera jamesonii* grown *in vitro*. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 59(1), 115–123. <https://doi.org/10.1007/s13580-018-0012-4>
- Perera, D., & Trader, B. W. (2010). Poinsettia “Prestige Red” (*Euphorbia pulcherrima*) *In Vitro* Propagation. *HortScience*, 45(7), 1126–1128. http://www.ecke.com/Search/Variety_Results.
- Pickens, K. A., Cheng, Z. M., & Trigiano, R. N. (2005). Axillary bud proliferation and organogenesis of *Euphorbia pulcherrima* Winter Rose. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 41(6), 770–774. <https://doi.org/10.1079/IVP2005706>
- Poudel, P. R., Kataoka, I., & Mochioka, R. (2008). Effect of red- and blue-light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 92(2), 147–153. <https://doi.org/10.1007/s11240-007-9317-1>
- Shen, Y., Fan, K., Wang, Y., Wang, H., Ding, S., Song, D., Shen, J., Li, H., Song, Y., Han, X., Qian, W., Ma, Q., & Ding, Z. (2022). Red and Blue Light Affect the Formation of Adventitious Roots of Tea Cuttings (*Camellia sinensis*) by Regulating Hormone Synthesis and Signal Transduction Pathways of Mature Leaves. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.943662>
- Sobańska, K., Jedryszek, P., Kern, C., Basińska-Barczak, A., Pniewski, T., & Long, S. P. (2023). An efficient indirect plant regeneration from shoot apical meristem (SAM) derived embryogenic callus of *Miscanthus × giganteus*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 47, 102576. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102576>
- Younas, M., Drouet, S., Nadeem, M., Giglioli-Guivarc’h, N., Hano, C., & Abbasi, B. H. (2018). Differential accumulation of silymarin induced by exposure of *Silybum marianum* L. callus cultures to several spectres of monochromatic lights. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 184, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.05.018>
- Yu, Y., Qin, W., Li, Y., Zhang, C., Wang, Y., Yang, Z., Ge, X., & Li, F. (2019). Red light promotes cotton embryogenic callus formation by influencing endogenous hormones, polyamines and antioxidative enzyme activities. *Plant Growth Regulation*, 87(2), 187–199. <https://doi.org/10.1007/s10725-018-0461-x>



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

**MOLECULAR INSIGHTS INTO
SOMATIC EMBRYOGENESIS IN
Agave angustifolia:
CHARACTERIZATION OF THE
AaSERK GENE**

**CONOCIMIENTOS MOLECULARES
SOBRE LA EMBRIOGÉNESIS
SOMÁTICA EN *Agave angustifolia*:
CARACTERIZACIÓN DEL GEN
AaSERK**

Reyes-Díaz, Jesús Ignacio y Amaury Martín Arzate-Fernández

MOLECULAR INSIGHTS INTO SOMATIC EMBRYOGENESIS IN *Agave angustifolia*:

CHARACTERIZATION OF THE *AaSERK* GENE

CONOCIMIENTOS MOLECULARES SOBRE LA EMBRIOGÉNESIS SOMÁTICA EN *Agave angustifolia*:

CARACTERIZACIÓN DEL GEN *AaSERK*

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 197-208 México. Julio 2024

DOI: 10.18387/polibotanica.58.14



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0
Atribución-No Comercial ([CC BY-NC 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)).

Molecular insights into somatic embryogenesis in *Agave angustifolia*: characterization of the *AaSERK* gene

Conocimientos moleculares sobre la embriogénesis somática en *Agave angustifolia*: caracterización del gen *AaSERK*

Jesús Ignacio Reyes-Díaz y
Amaury Martín Arzate-
Fernández

MOLECULAR INSIGHTS
INTO SOMATIC
EMBRYOGENESIS IN *Agave*
angustifolia:
CHARACTERIZATION OF
THE *AaSERK* GENE

CONOCIMIENTOS
MOLECULARES SOBRE LA
EMBRIOGÉNESIS
SOMÁTICA EN *Agave*
angustifolia:
CARACTERIZACIÓN DEL
GEN *AaSERK*

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 197-208. Julio 2024

DOI:

10.18387/polibotanica.58.14

Jesús Ignacio Reyes-Díaz <https://orcid.org/0000-0001-9234-6575>

Dirección de Procesos Alimentarios y Química Área Biotecnología.

*Unidad Académica de Capulhuac, Universidad Tecnológica del Valle de Toluca,
Lerma, México*

*Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento,
Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México,
Toluca, Estado de México, México*

Amaury Martín Arzate-Fernández

Corresponding author: amaury1963@yahoo.com.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8603-0099>

*Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Facultad de
Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México,
Toluca, Estado de México, México*

ABSTRACT: The *Agave* genus, with 265 species, including 153 natives to Mexico, is of paramount significance in ethnobotanical, ecological, and economic contexts. However, over-exploitation and uncontrolled harvesting of these plants endanger their survival due to the prevention of sexual reproduction. In response, *in vitro* techniques, such as somatic embryogenesis, have been developed for vegetative propagation and species conservation. Somatic embryogenesis transitions cells to totipotency, driven by specific gene expression, endogenous hormones, and responses to external regulators. This work explores the first molecular insights into somatic embryogenesis in the *Agave* genus through the isolation and characterization of the *AaSERK* gene. Receptor-Like Kinases (RLKs) with Leucine-Rich Repeats (LRRs) have crucial roles in cellular signaling across various aspects of plant development, including embryogenesis. The presence of a Serine-Proline-Proline motif (SPP) distinguishes SERK from other RLKs, and its expression signifies embryogenic competence. The results reveal that *AaSERK* encodes a typical SERK protein with conserved domains, indicating its role in plant development. Phylogenetic analysis suggests that *AaSERK* shares evolutionary ancestry with SERKs of closely related plant species. These findings shed light on somatic embryogenesis in *Agave angustifolia* and may enhance the regeneration and transformation processes for the conservation of these valuable plants. Understanding the genetic control of totipotency and the molecular regulation of somatic embryogenesis is vital for advancing plant biotechnology and plant physiology.

Key words: Somatic embryogenesis; Somatic Embryogenesis Receptor-like Kinase gene; *Agave angustifolia*.

RESUMEN: El género *Agave*, con 265 especies, incluidas 153 nativas de México, es de suma importancia en contextos etnobotánicos, ecológicos y económicos. Sin embargo, la sobreexplotación y la recolección incontrolada de estas plantas ponen en peligro su supervivencia debido a la problemática de su reproducción sexual. En respuesta, se han desarrollado técnicas *in vitro*, como la embriogénesis somática, para la propagación vegetativa y la conservación de especies. La embriogénesis somática hace que las células manifiesten su carácter totipotente, impulsado por la expresión genética específica, hormonas endógenas y respuestas a reguladores externos. Este trabajo explora los primeros conocimientos moleculares sobre la embriogénesis somática en el género *Agave* a través del aislamiento y

caracterización del gen *AaSERK*. Las quinasas similares a receptores (RLK) con repeticiones ricas en leucina (LRR) desempeñan funciones cruciales en la señalización celular en diversos aspectos del desarrollo de las plantas, incluida la embriogénesis. La presencia de un motivo Serina-Prolina-Prolina (SPP) distingue a las *SERK* de otras RLK y su expresión significa la adquisición de la competencia embriogénica. Los resultados revelan que *AaSERK* codifica una proteína *SERK* típica con dominios conservados, lo que sugiere su papel en el desarrollo de las plantas. El análisis filogenético muestra que *AaSERK* comparte ascendencia evolutiva con *SERK* de especies de plantas estrechamente relacionadas. Estos hallazgos arrojan información importante sobre la embriogénesis somática en *Agave angustifolia* y pueden mejorar los procesos de regeneración y transformación para la conservación de esta valiosa planta. Comprender el control genético de la totipotencia y la regulación molecular de la embriogénesis somática es vital para avanzar en la biotecnología y la fisiología de las plantas. **Palabras clave:** Embriogénesis somática; Gen de quinasa similar al receptor de embriogénesis somática; *Agave angustifolia*.

INTRODUCTION

The *Agave* genus, situated within the Agavoideae subfamily (Asparagaceae, Asparagales), comprises a diverse collection of 265 species. Remarkably, 153 of these species are native to Mexico, with 150 of them being exclusive to this region (Vázquez-García *et al.*, 2022). This geographical concentration establishes Mexico as the epicenter of both the origin and diversification of these plants (García-Mendoza & Galván-V., 1995). This genus holds immense significance in ethnobotanical, ecological, and economic contexts, as these plants fulfill various roles such as serving as living fences, sources of food, materials for fibers, construction, medicines, cosmetics, fodder, and the production of alcoholic beverages like bacanora, pulque, tequila, mescal, and others (Bermúdez-Bazán *et al.*, 2021; Vázquez-Delfín *et al.*, 2022).

However, the over-exploitation of specific *Agave* species, coupled with uncontrolled plant extraction, presents a substantial danger to their survival (Aguirre-Dugua & Eguiarte, 2013). This risk is intensified because these plants are harvested before reaching the flowering stage, thereby preventing sexual reproduction (Monja-Mío *et al.*, 2021). In response to this pressing need for a substantial number of individuals from selected genotypes, *in vitro* culture techniques, particularly somatic embryogenesis has been developed as a promising vegetative propagation process, offering an alternative for the conservation of *Agave angustifolia* (Reyes-Díaz *et al.*, 2017). Also, preservation methods such as cryopreservation and encapsulation have been utilized to conserve somatic embryos long-term (Arzate-Fernández *et al.*, 2016).

Somatic embryogenesis (SE) plays a vital role in the mass propagation and genetic transformation of various plant species (Ramírez-Mosqueda, 2022). In this process, the transition to developmental totipotency in cells is initiated by temporarily exposing them to genes responsible for maintaining the meristematic state regulated by endogenous hormone levels like response to exogenous plant growth regulators (PGR) and controlling different stages of plant morphogenesis during SE (Loyola-Vargas & Ochoa-Alejo, 2016). A widely accepted model suggests that the conditions inducing somatic embryogenesis led to the dedifferentiation of somatic plant cells, followed by the acquisition of developmental totipotency. At this totipotent stage, cells can respond to specific developmental signals guiding them toward embryogenesis. Understanding the genetic control of totipotency is pivotal for advancing plant biotechnology and enhancing our knowledge of plant physiology (Schmidt *et al.*, 1997).

Thus, the identification and characterization of genes associated with somatic embryogenesis offer the potential to assess the embryogenic capacity of somatic cells at early developmental stages and provide insights into the molecular regulation of this process (De Oliveira Santos *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2018; Ramasamy *et al.*, 2022).

Receptor-Like Kinases (RLKs) with Leucine-Rich Repeats (LRRs) within the family have pivotal roles in various aspects of cellular signaling in plant development. This includes their involvement in disease resistance, microsporogenesis, vascular tissue differentiation, embryo pattern formation, control of cellular death, and self-incompatibility (Fisher & Turner, 2007; Hu *et al.*, 2005). RLKs function by facilitating the transmission of external signals and information from neighboring cells, thereby triggering specific responses. In case of somatic embryogenesis process, the responses of cultured cells are contingent on the cell type and the composition of the culture medium (Baudino *et al.*, 2001; Ma *et al.*, 2012; Nodine *et al.*, 2007; Ramasamy *et al.*, 2022; D.-Z. Zhao *et al.*, 2002).

The expression of flavin monooxygenase-encoding genes is stimulated during the establishment of cell or tissue polarity and embryo development in the presence of synthetic auxins like 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) in the culture medium (Ramírez-Mosqueda, 2022). These enzymes play a crucial role in auxin biosynthesis, resulting in an increase in endogenous indoleacetic acid (IAA) levels, a key step in meristem formation and, by extension, embryo development (Wójcik *et al.*, 2020). It has been observed that cells originating from provascular cells promote most somatic embryos, with their embryogenic commitment confirmed through the expression of a Receptor-Like Kinase known as Somatic Embryogenesis Receptor-Like Kinase (*SERK*). This gene expression serves as a recognized marker of embryogenic competence (Koehler *et al.*, 2020; Maulidiya *et al.*, 2020; D.-Z. Zhao *et al.*, 2002).

What distinguishes *SERK* from other RLKs is the presence of a Serine-Proline-Proline motif (SPP) situated between five LRRs and the transmembrane (TM) domain (Cueva *et al.*, 2012; De Oliveira Santos *et al.*, 2005; Hecht *et al.*, 2001; Santos *et al.*, 2009).

SERK genes are well-known for their pivotal role in signal transduction during embryogenic cell development, with their expression mainly occurring in the early stages of embryogenesis (Hecht *et al.*, 2001). This expression gradually diminishes as development progresses. In *Daucus carota* and *Arabidopsis thaliana*, for instance, *SERK* genes are only expressed in embryogenic structures, not in non-embryogenic cultures (Hecht *et al.*, 2001; Salaj *et al.*, 2008; Schmidt *et al.*, 1997).

While the role of *SERK* genes in many plant species has been extensively studied, the molecular aspects of somatic embryogenesis in the *Agave* genus remain unexplored, and genes associated with this process have not been yet identified. This study represents the first characterization of a *SERK* gene from *A. angustifolia*, referred to as *AaSERK*. The results of this study may offer insights to enhance the regeneration rate of somatic embryogenesis and improve the genetic transformation process.

MATERIALS AND METHODS

Establishment of embryogenic culture

Aseptic, fully developed zygotic embryos (Figure 1a) were meticulously dissected from seeds of *Agave angustifolia* and served as the initial explants for inducing callus formation, as shown in Figure 1a. The cultures of embryogenic callus (Figure 1b) were initiated on a medium containing one-quarter strength of Murashige and Skoog (MS) nutrients (Murashige & Skoog, 1962). This medium was supplemented with 3.0 mg L⁻¹ of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) and 1.0 mg L⁻¹ of 6-benzyladenine (BA) as plant growth regulators (Reyes-Díaz *et al.*, 2017). The cultures were then incubated under conditions featuring 16 hours of light and 8 hours of darkness, utilizing cool white light at an intensity of 60 μmol m⁻² s⁻¹, at a temperature of 25 ± 2 °C. Remarkably, mature somatic embryos (Figure 1d) were observed after a duration of 120 days from the initiation of the culture.

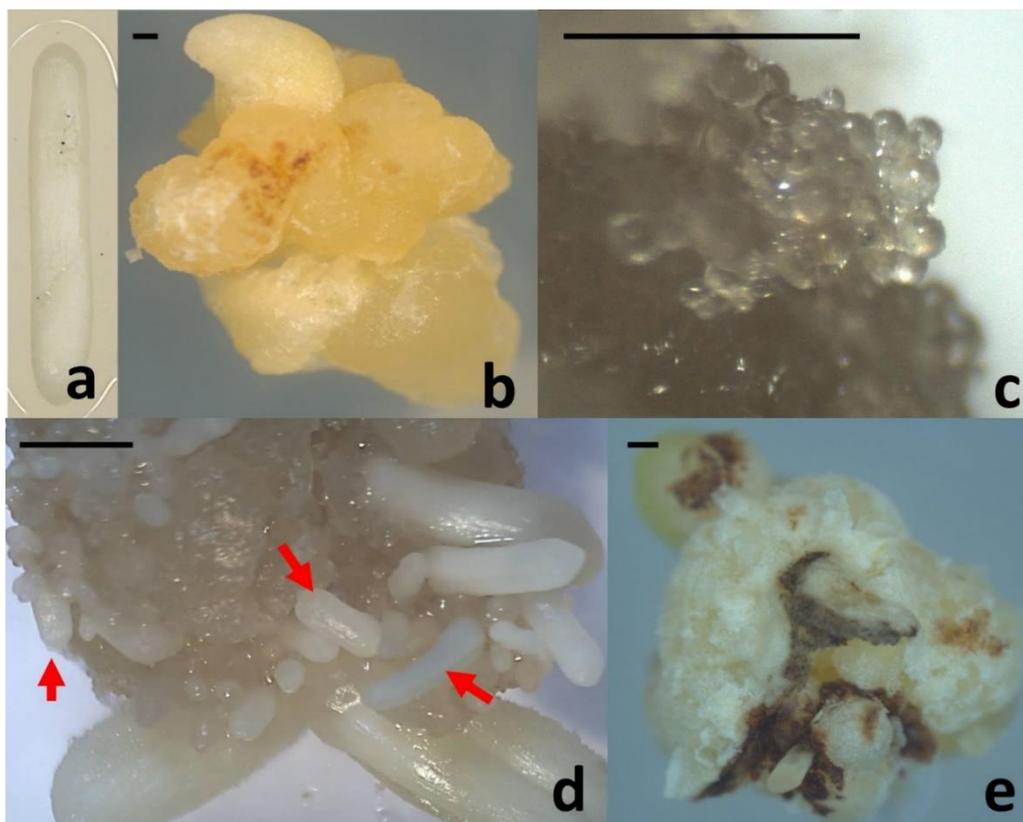


Figure 1. *Agave angustifolia* somatic embryogenesis process: (a) Initial explant. (b) Embryogenic callus. (c) Embryogenic callus with globular somatic embryos (60 days after the induction) used for *SERK* gene isolation. (d) Mature somatic embryos (arrows) (120 days after the induction). (e) Non-embryogenic callus. Bar = 5mm

Figura 1. Proceso de embriogénesis somática de *Agave angustifolia*: (a) Explante inicial. b) Callo embriogénico. c) Callo embriogénico con embriones somáticos globulares (60 días después de la inducción) utilizados para el aislamiento del gen *SERK*. d) Embriones somáticos maduros (flechas) (120 días después de la inducción). e) Callo no embriogénico. Barra = 5 mm.

Cloning and sequencing of *Agave angustifolia* *SERK* (*AaSERK*) gene

Genomic DNA was extracted from 60-day-old embryogenic callus with globular somatic embryos (Figure 1c) and from callus without embryogenic response (Figure 1e) using the modified CTAB method (Aboul-Maaty & Oraby, 2019). The DNA was subsequently dissolved in TE buffer (10 mM Tris-HCl, 1 mM EDTA, pH 7.0). The quality and concentration of the extracted DNA were assessed through agarose gel electrophoresis and bio photometry (Eppendorf AG, Germany), respectively.

To amplify a fragment of *Agave angustifolia* *SERK* (*AaSERK*), degenerate primers were designed based on consensus *SERK* sequences from *Zea mays*, *Oryza sativa*, *Daucus carota*, *Arabidopsis thaliana*, and *Cyrtocilum loxense* stored in the NCBI database (www.ncbi.nlm.nih.gov/). These primers were crafted from conserved regions and possessed the following sequences: forward primer 5'-NTGGTGAGGTGGCGGAGG-3' and reverse primer 5'-TGTHACRTGGGTRTNCTTCTARTCCAT-3'. Polymerase Chain Reaction (PCR) was conducted using these primers. The PCR reaction was prepared with a final volume of 10 μ l, consisting of 10 ng of genomic DNA, 6.3 μ l of Taq DNA polymerase buffer, 5 mM dNTPs, 15 mM MgCl₂, 1 U of MyTaq DNA Polymerase (Bioline, USA), and 0.4 μ M of each forward and reverse primer (Sigma, USA). The thermal amplification parameters for the PCR reaction included an initial denaturation at 95 °C for 5 min, followed by 35 cycles of amplification (95 °C for 30 s, 47.5 °C for 30 s, 72 °C for 2 min), and a final extension step at 72 °C for 10 min. The amplifications were conducted in a thermal cycler (Multigene Optimax, Labnet, USA). Subsequently, the PCR products were subjected to 1% (w/v)

agarose gel electrophoresis and visualized using a gel documentation system (UVP Transilluminator 95-0403-01, UK).

The *AaSERK* fragment, amplified from genomic DNA, underwent purification using the GenElute™ PCR Clean-up Kit (Sigma, USA) following the manufacturer's instructions. The purified fragment was then sequenced twice, once from each direction using the forward and reverse primers, at both the Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) and the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). BLASTn and BLASTx tools were employed to compare the nucleotide and translated sequences, respectively. Sequences exhibiting the most significant homology in both nucleotide and amino acid sequences were selected for multiple sequence alignments using Mega 6.0, then conserved domains were identified.

For the analysis of the relationship between the *AaSERK* protein and known *SERK* protein sequences from six phylogenetically related species (selected based on identity percentage), a consensus and unrooted phylogenetic tree was constructed using the UPGMA method within the Mega program (version 6.06).

RESULTS

In this investigation, a fragment of the *Agave angustifolia* Somatic Embryogenesis Receptor-Like Kinase (*AaSERK*) gene was successfully amplified from DNA obtained from embryogenic calli. It should be noted that its amplification was not possible in non-embryogenic callus (Figure 2).

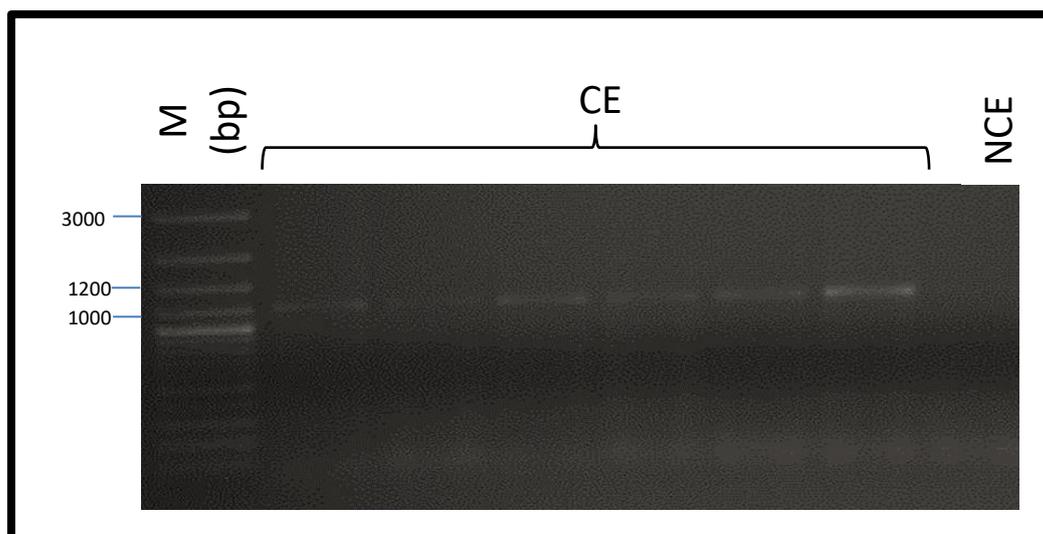


Figure 2. Amplification of *Agave angustifolia* Somatic Embryogenesis Receptor-Like Kinase gene from DNA of embryogenic (CE) and non-embryogenic calli (NCE): molecular weight marker (M), base pairs (bp).

Figura 2. Amplificación del gen Receptor similar a la Quinasa de la Embriogénesis Somática de *Agave angustifolia* a partir de ADN de callos embriogénicos (CE) y no embriogénicos (NCE): marcador de peso molecular (M), pares de bases (pb).

Sequencing of the fragment obtained indicates that *AaSERK* encompassed 968 nucleotides, which encodes a protein of 327 amino acids. This nucleotide sequence has been formally submitted to GenBank under the accession number KX247683.1 (available at <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/1134518460>). Furthermore, the amino acid sequence of *AaSERK* obtained in our study, with the accession number APX18295.1 (accessible at www.ncbi.nlm.nih.gov/protein/1134518461), exhibited a noteworthy degree of identity with other *SERK* proteins, exceeding 80%. The highest similarity was observed with *CISERK* from *Cyrtochilum loxense* (97% similarity, 619 amino acids, CBV98085.1), *DcSERK* from *Dendrobium catenatum* (97% similarity, 633 amino acids, AKN89445.1), *CmSERK* from

Cattleya maxima (89% similarity, 357 amino acids, CCD32850.1), *AcSERK* from *Ananas comosus* (85% similarity, 629 amino acids, AEC46975.1), *CnSERK* from *Cocos nucifera* (82% similarity, 629 amino acids, AAV58833.2), and *PdSERK* from *Phoenix dactylifera* (82% similarity, 621 amino acids, XP_008780820.1).

The confirmation of *AaSERK* identity was corroborated by the presence of characteristic domains commonly observed in *SERK* proteins from other species (as depicted in Figure 3a). Multiple reports suggest that the length of *SERK* proteins typically is considered within the range of 250 to 1650 amino acids. What unites these proteins is the presence of a distinctive domain known as SPP, which is notably absent in other Leucine-Rich Repeat Receptor-Like Kinases (LRR-RLKs) (De Oliveira Santos *et al.*, 2005; Hecht *et al.*, 2001; Koehler *et al.*, 2020; Salaj *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2009; Schmidt *et al.*, 1997). In this research, the SPP domain was successfully identified, which exhibited a high degree of identity in comparison to other *SERK* proteins found in phylogenetically related species to *Agave angustifolia* (as seen in Fig. 3b). Lastly, the transmembrane and kinase domains were found to be highly conserved due to structural constraints imposed by their catalytic requirements (Schwessinger & Rathjen, 2015).

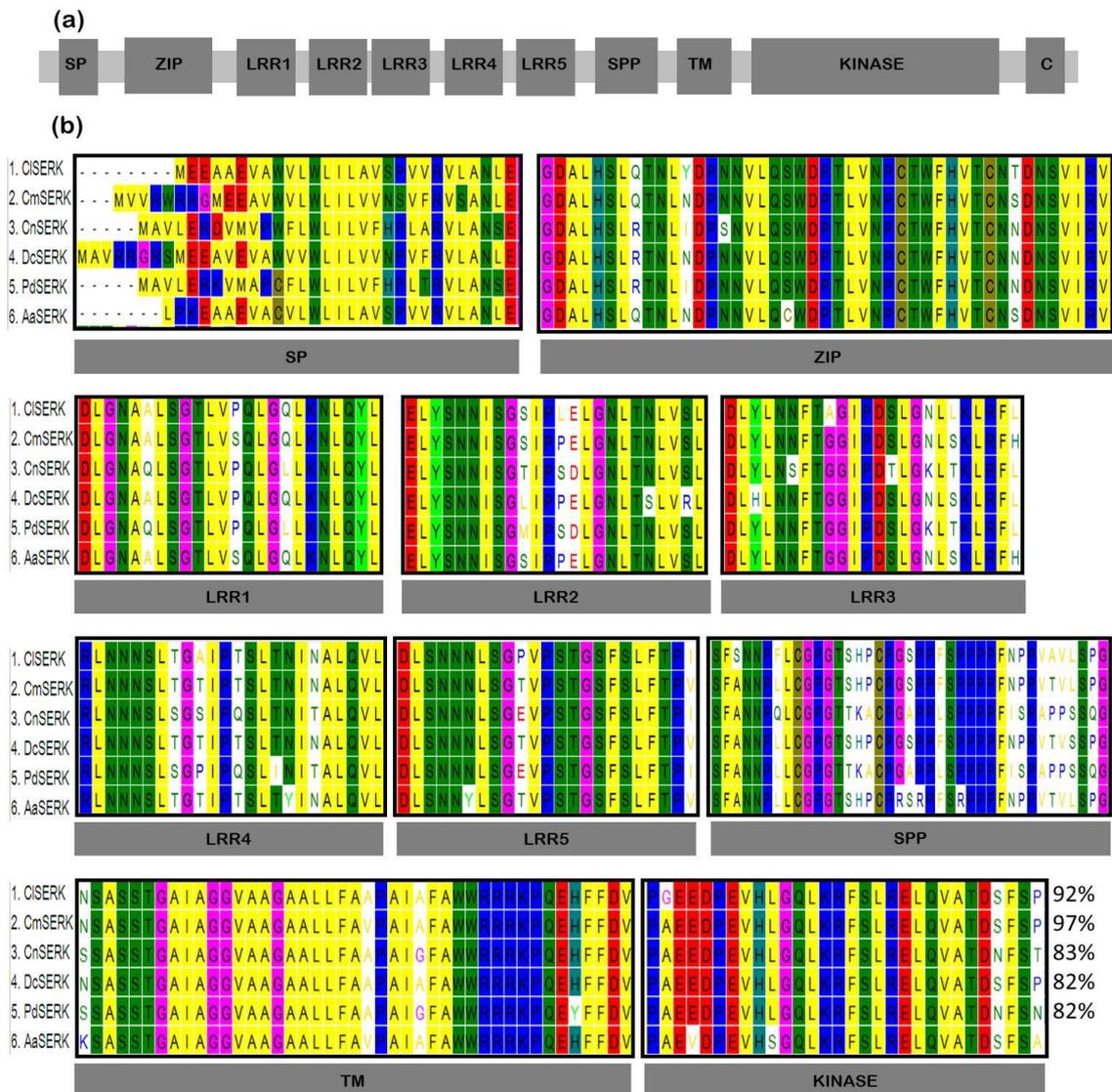


Figure 3. (a). Dibujo esquemático de los dominios típicos en un gen Receptor Similar a la Quinasa de la Embriogénesis Somática (SERK). SP Péptido señal, ZIP cremallera de leucina, LRR1 – LRR5 repeticiones ricas en leucina, SPP motivo serina-prolina-prolina, TM motivo transmembrana, C región C-terminal. (b). Estructura de la proteína SERK identificada de *Agave angustifolia* (AaSERK) y alineación de la secuencia de aminoácidos

predicha que indica el grado de similitud (%) con algunos miembros de las proteínas quinasas de la familia SERK: (1. *Cyrtochilum loxense* SERK, CISERK, 97%; 2. *Cattleya maxima* SERK, CmSERK, 89%; 3. *Cocos nucifera* SERK, CnSERK, 82%; 4. *Dendrobium catenatum* SERK, DcSERK, 97%; 5. *Phoenix dactylifera* SERK, PdSERK, 82%; 6. AaSERRK). Se destacan residuos de aminoácidos idénticos en todas las proteínas enumeradas.

Figura 3. (a). Dibujo esquemático de los dominios típicos en un gen de la Embriogénesis Somática Receptor Similar a la Quinasa (SERK). Péptido señal SP, cremallera de leucina ZIP, repeticiones ricas en leucina LRR1 – LRR5, motivo SPP serina-prolina-prolina, motivo transmembrana TM, región C C-terminal. (b). Estructura de la SERK identificada de *Agave angustifolia* (AaSERRK) y alineación de la secuencia de aminoácidos predicha que indica el grado de similitud (%) con algunos miembros de las proteínas quinasas de la familia SERK: (1. *Cyrtochilum loxense* SERK, CISERK, 97%; 2. *Cattleya maxima* SERK, CmSERK, 89%; 3. *Cocos nucifera* SERK, CnSERK, 82%; 4. *Dendrobium catenatum* SERK, DcSERK, 97%; 5. *Phoenix dactylifera* SERK, PdSERK, 82%; 6. AaSERRK). Se destacan residuos de aminoácidos idénticos en todas las proteínas enumeradas.

Our phylogenetic analysis revealed a clear grouping of *SERK* proteins in accordance with two taxonomic categories. The first cluster included monocot *SERK* proteins (*DcSERK*, *CmSERK*, *CISERK*, *AaSERRK*, *CnSERK* and *PdSERK*). In contrast, the second cluster included dicot *SERK* proteins (*AtSERK*) (as shown in Figure 4). Additionally, we observed the highest similarity of *AaSERRK* with the predicted *DcSERK*, *CmSERK*, and *CISERK*.

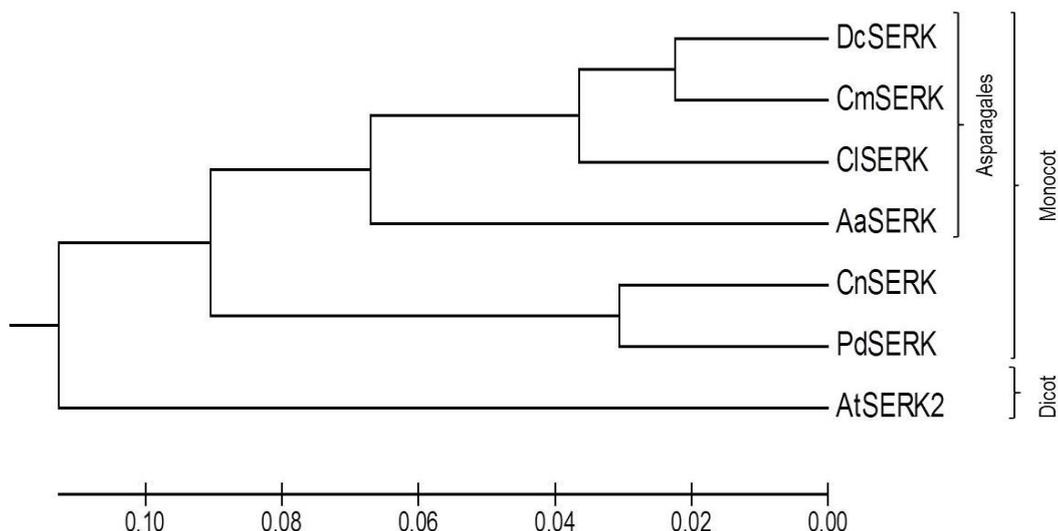


Figure 4. Phylogenetic tree of *AaSERRK* with other reported *SERK* sequences depicting the interrelationship of different *SERK*: *Dendrobium catenatum* *SERK* (*DcSERK*), *Cattleya maxima* *SERK* (*CmSERK*), *Cyrtochilum loxense* *SERK* (*CISERK*), *Agave angustifolia* (*AaSERRK*), *Cocos nucifera* *SERK* (*CnSERK*), *Phoenix dactylifera* *SERK* (*PdSERK*) and *Arabidopsis thaliana* *SERK* (*AtSERK*).

Figura 4. Árbol filogenético de *AaSERRK* con otras secuencias de *SERK* reportadas que representan la interrelación de diferentes *SERK*: *Dendrobium catenatum* *SERK* (*DcSERK*), *Cattleya maxima* *SERK* (*CmSERK*), *Cyrtochilum loxense* *SERK* (*CISERK*), *Agave angustifolia* (*AaSERRK*), *Cocos nucifera* *SERK* (*CnSERK*), *Phoenix dactylifera* *SERK* (*PdSERK*) y *Arabidopsis thaliana* *SERK* (*AtSERK*).

DISCUSSION

Somatic embryogenesis serves as the cornerstone of cellular totipotency in higher plants. In the controlled environment of *in vitro* conditions, a single or a few somatic cells within an explant must possess the competency to receive a developmental signal, whether endogenous or exogenous, that triggers the transformation toward the embryogenic pathway (Mikuła *et al.*, 2022; Von Arnold *et al.*, 2002). In the case of the *Agave* genus, somatic embryogenesis protocols have been established for various species, including *A. angustifolia* (Reyes-Díaz *et al.*, 2017). Likewise, epigenetic mechanisms, such as DNA methylation and histone modifications in the micropropagation of *A. angustifolia* (De-la-Peña *et al.*, 2012; Duarte-

Aké *et al.*, 2016) has been studied, but the absence of reports on the molecular mechanisms such those regulate the somatic embryogenesis process is still unclear.

Understanding the regulation of somatic embryogenesis during tissue and organ culture could significantly enhance the development of more efficient regeneration and transformation protocols. Schmidt *et al.* (1997) reported a correlation between the expression of the *SERK* gene and the potential of cells to exhibit embryogenic characteristics, especially in the presence of 2,4-D, a known promoter of totipotency. The genetic expression, such as key transcription factor, is crucial for triggering and regulating the processes involved in embryo formation from somatic cells (Kikuchi *et al.*, 2006). However, not all the samples express those genes at sufficient levels to initiate and complete the process of somatic embryogenesis (Méndez-Hernández *et al.*, 2019; Schwessinger & Rathjen, 2015), as it was observed in our assay in embryogenic and none embryogenic calli, respectively. From a genetic variability perspective, differences in the expression of these specific genes may be due to the presence of allelic variants, epigenetic modifications, or differences in transcriptional regulation (Pikaard & Mittelsten Scheid, 2014; Sivanesan *et al.*, 2022). Some cells may have the necessary genetic combination to activate these genes and trigger somatic embryo formation, while other cells may lack this combination or be subject to transcriptional repression (Fambrini *et al.*, 2022). Additionally, the physiological mechanisms (endogenous production of acid abscisic) that regulate the cellular ability to form somatic embryos are closely related to the genetic activity (Kikuchi *et al.*, 2006). From this point, cells must be in a receptive physiological state, characterized by a high rate of cell division and plasticity, to respond to the activation of *SERK* genes related to somatic embryogenesis (Meira *et al.*, 2024). Also, external factors such as nutrient availability, the presence of auxins in the culture medium, and environmental signals can also modulate the expression of these genes and thus influence in the cellular ability to initiate the process of somatic embryo formation (Long *et al.*, 2022). *SERK* proteins play a pivotal role in regulating various facets of plant growth and development, encompassing the differentiation of somatic embryos. While the *SERK* gene family has been extensively scrutinized in well-established model plants like arabidopsis, rice, and maize, it remains comparatively less explored in non-model plant species (Baudino *et al.*, 2001; Hecht *et al.*, 2001; Singla *et al.*, 2009). In the present study, a Somatic Embryogenesis Receptor-Like Kinase gene from *Agave angustifolia* (*AaSERK*) present only in embryogenic callus was isolated, characterized, and reported for the first time, similar expression was reported in carrot (Guzzo *et al.*, 1994; Schmidt *et al.*, 1997) and arabidopsis (Salaj *et al.*, 2008). This pattern of *SERK* gene expression in cultured cells indicates its involvement in a signaling pathway responsible for orchestrating developmental modifications in response to specific culture conditions. These alterations include the activation of cell division and the reprogramming of cellular properties (Hu *et al.*, 2005). It is believed that the level of expression of the *SERK* gene plays a fundamental role in determining cell fate, which can influence processes such as organogenesis or in this case somatic embryogenesis (Singla *et al.*, 2009), thus underlining its importance in cell differentiation (Santos *et al.*, 2009), as well as it is regarded as an indicator of cells with the ability to generate somatic embryos (Porrás-Murillo *et al.*, 2018).

This *AaSERK* gene encodes a Leucine-Repeat Receptor protein kinase and exhibits similarities to other *SERK* (Baudino *et al.*, 2001; Cueva *et al.*, 2012), suggesting that it functions as a Leucine-Rich Repeat Receptor-Like Kinase (LRR-RLK). In the model for RLK function, plant RLKs typically exist as monomers until the binding of an extracellular signal molecule induces receptor dimerization (Becraft, 2002). This brings the intracellular kinase domains of individual monomers into proximity, allowing for transphosphorylation, activation of kinase domains, and the regulation of cellular responses (Becraft, 1998; Maulidiya *et al.*, 2020; L. Zhao *et al.*, 2020).

LRR-RLKs are essential in regulating various physiological processes, including embryo pattern formation, microsporogenesis, vascular tissue differentiation, maintenance of meristematic cells, organ morphology, inflorescence structure, brassinosteroid (BR) signaling, and cellular death control (Cueva *et al.*, 2012; De Oliveira Santos *et al.*, 2005; Hecht *et al.*, 2001; Koehler *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2009).

Structural and sequence analyses (as shown in Figure 3b) reveal that *AaSERK* encodes a typical *SERK* protein with conserved roles in plant development, displaying a high degree of sequence and protein domain homology with other *SERK* proteins. The characteristic distribution of *SERK* protein domains, including a signal peptide; a ZIP domain known to play a role in protein oligomerization (Shah *et al.*, 2001); five LRR units that are exposed at the cell membrane, and these are presumed to be responsible for interactions with other signaling molecules, such as brassinosteroid receptors, as well as for the perception of external signals (auto- and transphosphorylation events between respective intracellular kinase domains), and signal transduction during somatic embryogenesis induction (Kobe & Deisenhofer, 1994; Schwessinger & Rathjen, 2015); a Pro-rich domain containing the SPP motif, a transmembrane domain, and a Serine - Threonine protein kinase, is also evident in *AaSERK*.

Phylogenetic analysis (as seen in Figure 4) indicates that *AaSERK* shares a close relationship with *SERK* sequences from other plant species, particularly with monocot *SERK*s belonging to the order Asparagales, such as *DcSERK*, *CmSERK*, and *CiSERK*. This could suggest a common evolutionary origin of *SERK* among these plants.

CONCLUSIONS

It can be inferred that *AaSERK* plays a crucial role in mediating somatic embryogenesis, where cells with embryogenic competence respond to biochemical signals triggered by the presence of auxins in a culture medium and transform into somatic embryos. The expression of *SERK* genes has been shown to be associated with various stages of embryogenesis in other plant species, further supporting this hypothesis.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was funded by the Universidad Autónoma del Estado de México.

REFERENCES

- Aguirre-Dugua, X., & Eguiarte, L. E. (2013). Genetic diversity, conservation, and sustainable use of wild *Agave cupreata* and *Agave potatorum* extracted for mezcal production in Mexico. *Journal of Arid Environments*, 90, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.10.018>
- Arzate-Fernández, A. M., Piña-Escutia, J. L., Norman-Mondragón, T. H., Reyes-Díaz, J. I., Guevara-Suárez, K. L., & Vázquez-García, L. M. (2016). Regeneración de agave mezcalero (*Agave angustifolia* Haw.) a partir de embriones somáticos encapsulados. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(4), 359–366. <https://doi.org/10.35196/rfm.2016.4.359-366>
- Baudino, S., Hansen, S., Brettschneider, R., Hecht, V. F. G., Dresselhaus, T., Lörz, H., Dumas, C., & Rogowsky, P. M. (2001). Molecular characterisation of two novel maize LRR receptor-like kinases, which belong to the *SERK* gene family. *Planta*, 213(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s004250000471>
- Becraft, P. W. (2002). Receptor Kinase Signaling in Plant Development. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 18(1), 163–192. <https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.18.012502.083431>
- Bermúdez-Bazán, M., Castillo-Herrera, G. A., Urias-Silvas, J. E., Escobedo-Reyes, A., & Estarrón-Espinosa, M. (2021). Hunting Bioactive Molecules from the *Agave* Genus: An Update on Extraction and Biological Potential. *Molecules*, 26(22), 6789. <https://doi.org/10.3390/molecules26226789>
- Cueva, A., Concia, L., & Cella, R. (2012). Molecular characterization of a *Cyrtochilum loxense* Somatic Embryogenesis Receptor-like Kinase (*SERK*) gene expressed during somatic embryogenesis. *Plant Cell Reports*, 31(6), 1129–1139. <https://doi.org/10.1007/s00299-012-1236-x>

- De-la-Peña, C., Nic-Can, G., Ojeda, G., Herrera-Herrera, J. L., López-Torres, A., Wrobel, K., & Robert-Díaz, M. L. (2012). KNOX1 is expressed and epigenetically regulated during *in vitro* conditions in *Agave* spp. *BMC Plant Biology*, *12*(1), 203. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-203>
- Duarte-Aké, F., Castillo-Castro, E., Pool, F. B., Espadas, F., Santamaría, J. M., Robert, M. L., & De-la-Peña, C. (2016). Physiological differences and changes in global DNA methylation levels in *Agave angustifolia* Haw. albino variant somaclones during the micropropagation process. *Plant Cell Reports*, *35*(12), 2489–2502. <https://doi.org/10.1007/s00299-016-2049-0>
- Fambrini, M., Usai, G., & Pugliesi, C. (2022). Induction of Somatic Embryogenesis in Plants: Different Players and Focus on WUSCHEL and WUS-RELATED HOMEODOMAIN (WOX) Transcription Factors. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(24), 15950. <https://doi.org/10.3390/ijms232415950>
- Fisher, K., & Turner, S. (2007). PXY, a Receptor-like Kinase Essential for Maintaining Polarity during Plant Vascular-Tissue Development. *Current Biology*, *17*(12), 1061–1066. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.05.049>
- García-Mendoza, A., & Galván-V., R. (1995). Riqueza de las familias Agavaceae y Nolinaceae en México. *Botanical Sciences*, *56*, 7–24. <https://doi.org/10.17129/botsci.1461>
- Hecht, V., Vielle-Calzada, J. P., Hartog, M. V., Schmidt, E. D., Boutilier, K., Grossniklaus, U., & de Vries, S. C. (2001). The *Arabidopsis* Somatic embryogenesis receptor kinase 1 gene is expressed in developing ovules and embryos and enhances embryogenic competence in culture. *Plant Physiology*, *127*(3), 803–816.
- Hu, H., Xiong, L., & Yang, Y. (2005). Rice SERK1 gene positively regulates somatic embryogenesis of cultured cell and host defense response against fungal infection. *Planta*, *222*(1), 107–117. <https://doi.org/10.1007/s00425-005-1534-4>
- Kikuchi, A., Sanuki, N., Higashi, K., Koshihara, T., & Kamada, H. (2006). Abscisic acid and stress treatment are essential for the acquisition of embryogenic competence by carrot somatic cells. *Planta*, *223*(4), 637–645. <https://doi.org/10.1007/s00425-005-0114-y>
- Long, Y., Yang, Y., Pan, G., & Shen, Y. (2022). New Insights Into Tissue Culture Plant-Regeneration Mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 926752. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.926752>
- Loyola-Vargas, V. M., & Ochoa-Alejo, N. (Eds.). (2016). *Somatic Embryogenesis: Fundamental Aspects and Applications*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-33705-0>
- Meira, F. S., Ribeiro, D. G., De Campos, S. S., Falcão, L. L., Gomes, A. C. M. M., De Alencar Dusi, D. M., Marcellino, L. H., Mehta, A., & Scherwinski-Pereira, J. E. (2024). Differential expression of genes potentially related to the callogenesis and *in situ* hybridization of SERK gene in macaw palm (*Acrocomia aculeata* Jacq.) Lodd. *Ex Mart. Protoplasma*, *261*(1), 89–101. <https://doi.org/10.1007/s00709-023-01881-3>
- Méndez-Hernández, H. A., Ledezma-Rodríguez, M., Avilez-Montalvo, R. N., Juárez-Gómez, Y. L., Skeete, A., Avilez-Montalvo, J., De-la-Peña, C., & Loyola-Vargas, V. M. (2019). Signaling Overview of Plant Somatic Embryogenesis. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 77. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00077>
- Mikuła, A., Tomiczak, K., Grzyb, M., & Tomaszewicz, W. (2022). Somatyczna embriogeneza: Od odkrycia przez badania do praktycznego wykorzystania. *Postępy Biochemii*. https://doi.org/10.18388/pb.2021_403
- Pikaard, C. S., & Mittelsten Scheid, O. (2014). Epigenetic Regulation in Plants. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, *6*(12), a019315–a019315. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a019315>
- Ramírez-Mosqueda, M. A. (2022). Overview of Somatic Embryogenesis. *Methods in Molecular Biology (Clifton, N.J.)*, *2527*, 1–8. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2485-2_1
- Schwessinger, B., & Rathjen, J. P. (2015). Changing SERKs and priorities during plant life. *Trends in Plant Science*, *20*(9), 531–533. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.06.006>
- Singla, B., Khurana, J. P., & Khurana, P. (2009). Structural Characterization and Expression Analysis of the SERK/SERL Gene Family in Rice (*Oryza sativa*). *International Journal of Plant Genomics*, *2009*, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2009/539402>

Recibido:
8/noviembre/2023

Aceptado:
20/junio/2024

- Sivanesan, I., Nayeem, S., Venkidasamy, B., Kuppuraj, S. P., Rn, C., & Samynathan, R. (2022). Genetic and epigenetic modes of the regulation of somatic embryogenesis: A review. *Biologia Futura*, 73(3), 259–277. <https://doi.org/10.1007/s42977-022-00126-3>
- Vázquez-Delfin, P., Casas, A., & Vallejo, M. (2022). Adaptation and biocultural conservation of traditional agroforestry systems in the Tehuacán Valley: Access to resources and livelihoods strategies. *Heliyon*, 8(7), e09805. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09805>
- Vázquez-García, J. A., Thiede, J., Etter, J., & Kristen, M. (2022). *Agave rosalesii* (sect. *Inermes*, Asparagaceae), segregated from *Agave ellemeetiana* K. Koch (sect. *Choritepalae*): A new species from the Mixteca Alta of western Oaxaca, Mexico. *Botanical Sciences*, 100(3), 765–778. <https://doi.org/10.17129/botsci.3044>
- Von Arnold, S., Sabala, I., Bozhkov, P., Dyachok, J., & Filonova, L. (2002). Developmental pathways of somatic embryogenesis. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 69(3), 233–249. <https://doi.org/10.1023/A:1015673200621>
- Wójcik, A. M., Wójcikowska, B., & Gaj, M. D. (2020). Current Perspectives on the Auxin-Mediated Genetic Network that Controls the Induction of Somatic Embryogenesis in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), 1333. <https://doi.org/10.3390/ijms21041333>

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE FRUTOS DE *Malpighia glabra* L. EN DOS REGIONES BIOCLIMÁTICAS DEL ESTADO DE YUCATÁN

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF *Malpighia glabra* L. FRUITS IN TWO BIOCLIMATIC REGIONS FROM YUCATÁN STATE

Esquivel-Chi, Monserrat Concepción; Rubén Humberto Andueza-Noh; Esaú Ruíz-Sánchez; Marcela Gamboa-Angulo; Angel Manuel Herrera-Gorocica; Daniel Potter; Emanuel Hernández-Núñez y Gabriel R. Dzib

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE FRUTOS DE *Malpighia glabra* L. EN DOS REGIONES BIOCLIMÁTICAS DEL ESTADO DE YUCATÁN

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF *Malpighia glabra* L. FRUITS IN TWO BIOCLIMATIC REGIONS FROM YUCATÁN STATE



Caracterización morfológica de frutos de *Malpighia glabra* L. en dos regiones bioclimáticas del estado de Yucatán

Morphological characterization of *Malpighia glabra* L. fruits in two bioclimatic regions from Yucatán state

Monserrat Concepción Esquivel Chi; Rubén Humberto Andueza-Noh; Esaú Ruíz-Sánchez; Marcela Gamboa-Angulo; Angel Manuel Herrera-Gorocica; Daniel Potter; Emanuel Hernández-Núñez y Gabriel R. Dzib

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE FRUTOS DE *Malpighia glabra* L. EN DOS REGIONES BIOCLIMÁTICAS DEL ESTADO DE YUCATÁN

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF *Malpighia glabra* L. FRUITS IN TWO BIOCLIMATIC REGIONS FROM YUCATÁN STATE

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 209-223. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.15

Monserrat Concepción Esquivel-Chi

Autor de correspondencia: monserrat.esquivel@itconkal.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2200-4147>

Tecnológico Nacional de México/I.T. Conkal,
Conkal, Yucatán, México

Rubén Humberto Andueza-Noh <http://orcid.org/0000-0001-7776-7937>

Conahcyt-Tecnológico Nacional de México/I.T. Conkal,
Conkal, Yucatán, México

Esaú Ruíz-Sánchez <https://orcid.org/0000-0003-0245-3305>

Tecnológico Nacional de México/I.T. Conkal,
Conkal, Yucatán, México

Marcela Gamboa-Angulo <https://orcid.org/0000-0002-0618-0335>

Centro de Investigación Científica de Yucatán,
Mérida, Yucatán, México

René Garruña <https://orcid.org/0000-0003-2787-0914>

Conahcyt-Tecnológico Nacional de México/I.T. Conkal,
Conkal, Yucatán, México

Angel Manuel Herrera-Gorocica <https://orcid.org/0000-0001-8189-1260>

Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez,
Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas, México

Daniel Potter <https://orcid.org/0000-0002-9855-0355>

Department of Plant Sciences, University of California, Davis, USA

Emanuel Hernández-Núñez <https://orcid.org/0000-0002-7467-7538>

Departamento de Recursos del Mar, CINVESTAV-IPN Unidad Mérida,
Mérida, Yucatán, México

Gabriel Rolando Dzib <https://orcid.org/0009-0000-7508-5860>

Centro de Investigación Científica de Yucatán,
Mérida, Yucatán, México.

RESUMEN: *Malpighia glabra* es una especie frutal silvestre ampliamente distribuida en Yucatán, la cual es desaprovechada debido a la falta de conocimiento sobre sus propiedades. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue caracterizar morfológicamente los frutos de *M. glabra* en estado silvestre de dos regiones bioclimáticas del estado de Yucatán. Para esto, un total de 120 frutos de cuatro poblaciones silvestres de *M. glabra* fueron colectados en el estado de Yucatán. Estos frutos se caracterizaron morfológicamente mediante 11 variables que incluyeron el peso de fruto (g), diámetro polar de fruto (mm), diámetro ecuatorial de fruto (mm), índice de forma de fruto, frutos por axila, sólidos solubles totales (°Brix), peso de semilla (g), diámetro polar de semilla (mm), diámetro ecuatorial de semilla (mm), espesor de semilla (mm) e índice de forma de semilla. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza, y las relaciones morfológicas entre las

poblaciones se evaluaron mediante análisis de componentes principales (ACP), y de conglomerados por el método UPGMA utilizando la distancia de similitud de Gower. Los frutos de *M. glabra* presentaron forma de oblato. En general, se observó diferencia estadística entre las variables morfológicas evaluadas. Los análisis multivariados de ACP y UPGMA permitieron la formación de tres grupos, siendo las variables de peso de fruto, diámetro polar de fruto, diámetro ecuatorial de fruto, sólidos solubles totales y frutos por axila las que contribuyeron más en la diferenciación de los grupos. Los tres primeros componentes principales explicaron 89.42% de la variación total acumulada entre los grupos.

Palabras clave: acerola, recurso fitogenético, región bioclimática, sólidos solubles totales

ABSTRACT: *Malpighia glabra* is a wild fruit species widely distributed in Yucatan, however, it is underutilized due to the lack of knowledge about its properties. Therefore, the objective of this research was to morphologically characterize the fruits of wild *M. glabra* from two bioclimatic regions of the Yucatán state. For this, a total of 120 fruits from four wild populations of *M. glabra* were collected in the Yucatan state. Fruits were morphologically characterized using 11 traits that included fruit weight (g), fruit polar diameter (mm), fruit equatorial diameter (mm), fruit shape index, fruits per axil, total soluble solids (°Brix), seed weight (g), polar seed diameter (mm), equatorial seed diameter (mm), seed thickness (mm) and seed shape index. The data were analyzed by analysis of variance, and morphological relationships between populations were evaluated by principal component analysis (PCA) and cluster analysis by the UPGMA method using Gower's similarity distance. The fruits of *M. glabra* presented an oblate shape. In general, statistical difference was observed between the morphological traits evaluated. Multivariate analysis of PCA and UPGMA allowed the formation of three groups, with the variables of fruit weight, fruit polar diameter, fruit equatorial diameter, total soluble solids and fruits per axil being the ones that contributed the most in the differentiation of groups. The first three principal components explained 89.42% of the cumulative variation between the groups.

Key words: acerola, plant genetic resource, bioclimatic region, total soluble solids.

INTRODUCCIÓN

Malpighia glabra L. es una fruta de color rojo brillante similar a una cereza común, pertenece a la familia Malpighiaceae la cual se distribuye de forma natural en América Central y Sudamérica, y en México se encuentra en el sureste (Anderson, 2013; Torres-Contreras *et al.*, 2022). Presenta sinonimia con *Malpighia puniceifolia* L. y *Malpighia emarginata* DC. (Ito *et al.*, 2014). El nombre común más utilizado para referirse a esta fruta es acerola, pero también se le conoce con diferentes nombres dependiendo del lugar donde se encuentre, por ejemplo, cereza de Barbados o de las Antillas, nance rojo, pico de paloma, cerecita o manzanita. *M. glabra* ha demostrado ser una de las fuentes naturales más ricas de vitamina C de todo el mundo (Tena-Meza *et al.*, 2021), también es rica en carotenoides, antocianinas, fenoles y otros compuestos bioactivos que le han conferido propiedades nutraceuticas, así como actividad biológica como fuente de insecticida o fungicida (Hoang *et al.*, 2022). En los frutos, se ha reportado su actividad probiótica (Menezes *et al.*, 2021), antioxidante (Nascimento *et al.*, 2018) y antigenotóxica (Da Silva Nunes *et al.*, 2013). En las hojas, también se ha reportado como antioxidante (Fekry *et al.*, 2021), hepatoprotectora (El-Hawary *et al.*, 2021), antifúngica (Cáceres *et al.*, 1993), acaricida (Pinto *et al.*, 2018) e insecticida (Esquivel-Chi *et al.*, 2024). Además, hay reportes que indican que tanto el fruto como las hojas tienen potencial para el tratamiento del covid-19 (Macêdo *et al.*, 2022; Pasa *et al.*, 2022).

La especie *M. glabra* se adapta con facilidad a diferentes tipos de suelo, es tolerante a la sequía y es una planta que puede resistir a las condiciones del cambio climático, como son el aumento en la temperatura (Jasmitha & Honnabyraiah, 2021). Actualmente, la preocupación mundial por la seguridad alimentaria y la agricultura sostenible, nos hace prestarle atención a esta fruta como un excelente recurso natural de gran valor nutricional (Okigbo *et al.*, 2021). En México, *M. glabra* es una especie frutal nativa, que se encuentra en estado silvestre (Segura *et al.*, 2018), esta especie se consideró un recurso fitogenético importante para la población maya durante la época prehispánica cuando los pobladores consumían los frutos y

mantenían las plantas de *M. glabra* en sus traspatios (Jiménez-Osornio *et al.*, 2018). Cuenta con amplia distribución en Yucatán y con base en evidencias lingüísticas se cree que se originó en la Península de Yucatán (Chowdhury *et al.*, 2005; Kumar *et al.*, 2017). Sin embargo, en esta región no se cultiva y actualmente es poco consumida debido al desconocimiento de sus propiedades.

Los pocos estudios realizados hasta el momento, con el propósito de describir la diversidad morfológica de *M. glabra* para su fitomejoramiento, han sido desarrollados en variedades cultivadas de Japón (Chowdhury *et al.*, 2005) y Brasil (Brunini *et al.*, 2004; Cavalcante *et al.*, 2007), donde se ha reportado una gran diversidad genética. En México no existen trabajos de diversidad morfológica de *M. glabra* y solo se encuentra un trabajo sobre la caracterización morfológica de *Malpighia mexicana* (Maldonado-Peralta *et al.*, 2016).

Para el caso de poblaciones silvestres de *M. glabra*, aún se desconoce su diversidad morfológica y es necesario desarrollar trabajos de investigación que nos permitan determinar su distribución y variabilidad genética de acuerdo con las condiciones edafoclimáticas donde se desarrolla y así contribuir en la preservación de este recurso fitogenético (Maldonado-Peralta *et al.*, 2016). Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue caracterizar morfológicamente los frutos de *M. glabra* en estado silvestre de dos regiones bioclimáticas del estado de Yucatán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta del material vegetal

La colecta de frutos de *M. glabra* se realizó durante los meses de mayo - agosto del 2022, en dos regiones bioclimáticas del estado de Yucatán. 1) Región cálido subhúmedo con lluvias en verano, y 2) Región cálido subhúmedo intermedio. La ubicación geográfica y las características ambientales de los sitios de colecta de las cuatro poblaciones se muestra en la Tabla 1. En cada región bioclimática se obtuvieron frutos de dos poblaciones de *M. glabra*, y por cada una de las poblaciones se colectaron 50 frutos de 10 árboles, los cuales se homogenizaron y se tomó una muestra al azar de 30 frutos para su evaluación, con un total de 120 frutos evaluados. El número de frutos colectados por población estuvo sujeto a la disponibilidad de los frutos en campo, estos se guardaron y etiquetaron en bolsas de papel y se trasladaron al laboratorio de fisiología vegetal del Tecnológico Nacional de México campus Conkal para su evaluación.

Tabla 1. Ubicación geográfica de cuatro poblaciones de *M. glabra* colectadas en Yucatán.
Table 1. Geographic location of four populations of *M. glabra* collected in Yucatan.

Región bioclimática	Vegetación	Clasificación del suelo	Población	Localidad	Altitud (m)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Coordenadas
Cálido subhúmedo con lluvias en verano	Selva baja caducifolia	Leptosol	1	Mérida	14	26.7	873.3	20.969 N, -89.586 O
		Leptosol	2	Tixcuytún	9	26.2	988.3	21.063 N, -89.563 O
Cálido subhúmedo intermedio	Selva mediana subcaducifolia	Cambisol	3	Yaxcabá	30	26.1	1135.8	20.663 N, -88.812 O
		Cambisol	4	Kancabdzonot	30	25.3	1121	20.511 N, -88.716 O

(Bautista, 2021; Calvo-Irabién *et al.*, 2014; Orellana *et al.*, 1999)

Evaluación de características morfológicas de frutos

Para la caracterización morfológica se evaluaron tres repeticiones de 10 frutos maduros y tres repeticiones de 10 semillas tomados al azar por cada población. Las variables analizadas fueron: peso del fruto y peso unitario de semilla, ambas evaluadas con una balanza analítica (OHAUS, EUA); diámetro polar de fruto y semilla, diámetro ecuatorial de fruto y semilla y el espesor de la semilla, las cuales se midieron con un vernier (Pretul VER-6P). Con los datos del diámetro polar y ecuatorial del fruto y semilla se calculó el índice de forma de fruto y el

índice de forma de semilla, dividiendo el diámetro polar entre el diámetro ecuatorial (Alia-Tejagal *et al.*, 2012). El número de frutos por axila se obtuvo al promediar el total de frutos observados en 30 axilas por planta. Los sólidos solubles totales (°Brix) se evaluaron de la pulpa de 30 frutos por población, colocando una gota de jugo de cada fruto de *M. glabra*, en un refractómetro portátil (CVQ-4012).

Análisis estadístico

Las variables fueron analizadas mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando un diseño completamente al azar. El análisis de los datos se realizó considerando dos niveles. 1) nivel de región bioclimática y 2) nivel de poblaciones. En donde se observaron diferencias significativas se realizó la comparación de medias con la prueba de Tukey, utilizando el software estadístico INFOSTAT ver. 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018). Para evaluar las relaciones morfológicas entre las poblaciones estudiadas, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) y un análisis de conglomerados con el método de agrupamiento UPGMA y la distancia de similitud de Gower, mediante el programa informático PAST ver. 4.11.

RESULTADOS

Diversidad morfológica de frutos de *M. glabra*

A nivel de regiones bioclimáticas, el análisis de varianza detectó diferencias significativas en siete variables con un nivel de significancia de $p \leq 0.01$. Al realizar la comparación de medias (Tabla 2), se observó que el diámetro polar de fruto varió de 13.23 a 14.48 mm, el índice de forma de fruto osciló de 0.82 a 0.88, el número de frutos por axila presentó un intervalo de variación de 2.42 a 2.85 frutos, el contenido de sólidos solubles totales osciló de 5.91 a 12.47 °Brix, el peso de semilla fue de 0.03 a 0.04 g, el espesor de semilla varió entre 5.25 a 5.75 mm y el índice de forma de semilla estuvo entre 1.18 y 1.28. Los frutos de mayor tamaño se colectaron en la región bioclimática cálido subhúmedo intermedio. Los frutos más dulces (mayor contenido de sólidos solubles totales) se presentaron en la región bioclimática cálido subhúmedo con lluvias en verano (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de medias \pm desviación estándar de las variables de fruto de *M. glabra*, evaluadas a nivel de región bioclimática.

Table 2. Comparison of means \pm standard deviation of fruit variables of *M. glabra*, evaluated at the bioclimatic region level.

Variables morfológicas	Regiones bioclimáticas		Promedio general
	Región 1 Cálido subhúmedo con lluvias en verano	Región 2 Cálido subhúmedo intermedio	
Diámetro polar de fruto (mm)	13.23 \pm 0.27a	14.48 \pm 0.16b	13.86 \pm 0.17
Índice de forma de fruto	0.82 \pm 0.01a	0.88 \pm 0.01b	0.85 \pm 0.01
Frutos por axila	2.42 \pm 0.11a	2.85 \pm 0.14b	2.63 \pm 0.09
Sólidos solubles totales (°Brix)	12.47 \pm 0.44b	5.91 \pm 0.12a	9.19 \pm 0.38
Peso unitario de semilla (g)	0.04 \pm 0.00b	0.03 \pm 0.00a	0.04 \pm 0.00
Espesor de semilla (mm)	5.25 \pm 0.11a	5.75 \pm 0.08b	5.50 \pm 0.07
Índice de forma de semilla	1.18 \pm 0.02a	1.28 \pm 0.03b	1.23 \pm 0.02

Diferentes literales en las medias dentro de cada fila indica diferencia estadística significativa; Tukey ($p \leq 0.01$).

A nivel de poblaciones, el análisis de varianza detectó diferencias significativas con un valor de $p \leq 0.01$, en todas las variables evaluadas con excepción del índice de forma de semilla. El peso del fruto varió de 1.65 a 2.17 g, el diámetro polar del fruto osciló de 12.60 a 15.20 mm, el diámetro ecuatorial del fruto presentó un rango de 15.27 a 18.00 mm, el índice de forma

del fruto varió de 0.78 a 0.90 el número de frutos por axila estuvo entre 2.17 y 3.33 el contenido de sólidos solubles totales presentó un rango de variación de 5.50 a 13.86 °Brix, el peso de semilla varió de 0.03 a 0.05 g, el diámetro polar de semilla fue de 7.40 a 9.53 mm, el diámetro ecuatorial de semilla varió de 6.33 a 8.02 mm y el espesor de semilla presentó un rango de variación de 4.83 a 5.90 mm. Los frutos de la población cuatro mostraron el mayor peso, mayor diámetro polar y mayor diámetro ecuatorial. Los frutos con mayor contenido de sólidos solubles totales pertenecen a las poblaciones uno y dos (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación de medias \pm desviación estándar de las variables de fruto de *M. glabra*, evaluadas a nivel de poblaciones.

Table 3. Comparison of means \pm standard deviation of fruit variables of *M. glabra*, evaluated at the population level

Variables morfológicas	Poblaciones			
	1	2	3	4
Peso de fruto (g)	2.10 \pm 0.18bc	1.75 \pm 0.07ab	1.65 \pm 0.05a	2.17 \pm 0.06 c
Diámetro polar de fruto (mm)	13.87 \pm 0.46b	12.60 \pm 0.24a	13.77 \pm 0.21b	15.20 \pm 0.16 c
Diámetro ecuatorial de fruto (mm)	16.23 \pm 0.45a	16.27 \pm 0.25a	15.27 \pm 0.22 a	18.00 \pm 0.24 b
Índice de forma de fruto	0.86 \pm 0.02bc	0.78 \pm 0.02a	0.90 \pm 0.01 c	0.85 \pm 0.01 b
Frutos por axila	2.67 \pm 0.18a	2.17 \pm 0.13a	2.37 \pm 0.20a	3.33 \pm 0.16b
Sólidos solubles totales (°Brix)	13.86 \pm 0.76c	11.08 \pm 0.30b	6.32 \pm 0.17 a	5.50 \pm 0.15 a
Peso unitario de semilla (g)	0.04 \pm 0.00a	0.05 \pm 0.00b	0.04 \pm 0.00 a	0.03 \pm 0.00 a
Diámetro polar de semilla (mm)	7.40 \pm 0.31a	9.53 \pm 0.33b	8.80 \pm 0.28b	9.27 \pm 0.11b
Diámetro ecuatorial de semilla (mm)	6.33 \pm 0.21a	8.02 \pm 0.12c	6.97 \pm 0.12 b	7.27 \pm 0.11b
Espesor de la semilla (mm)	4.83 \pm 0.18a	5.67 \pm 0.09b	5.60 \pm 0.10 b	5.90 \pm 0.13 b

Diferentes literales en las medias dentro de cada fila indica diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey ($p \leq 0.01$).

Relaciones morfológicas de poblaciones de *M. glabra* colectadas en dos regiones bioclimáticas de Yucatán

El resultado del análisis de conglomerados obtenido con el método UPGMA permitió identificar tres grupos morfológicos. El grupo I, lo integraron los individuos de la población uno y se caracterizaron por presentar mayor contenido de sólidos solubles totales y semillas más pequeñas. El grupo II, se formó con los individuos de la población dos y se caracterizaron por presentar individuos con frutos de menor diámetro polar y menor cantidad de frutos por axila. El grupo III, es el grupo más diverso y se subdividió en dos subgrupos: el subgrupo A, formado por individuos de la población tres, este subgrupo se caracterizó por presentar individuos con frutos de menor peso; y el subgrupo B, formado por individuos de la población cuatro con frutos con la menor cantidad de sólidos solubles totales, frutos más grandes y mayor número de frutos por axila (Figura 1).

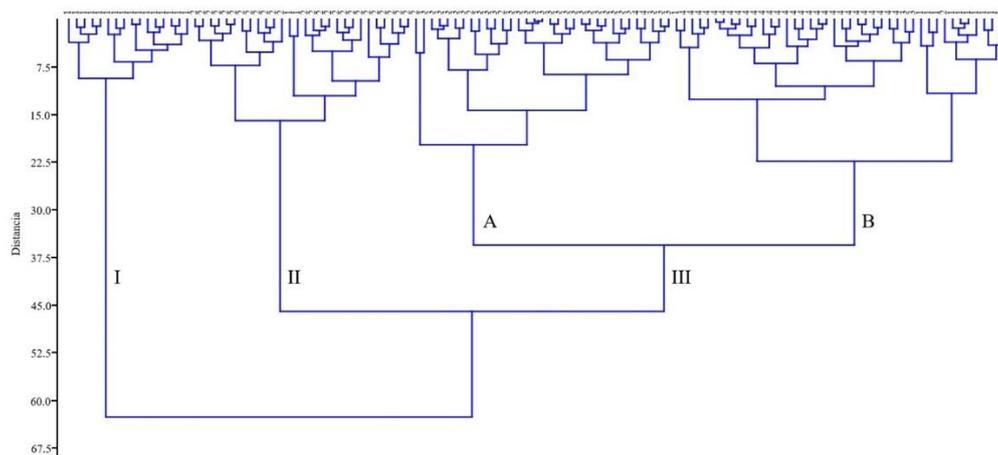


Figura 1. Análisis de conglomerado UPGMA de cuatro poblaciones de *M. glabra* colectadas en dos regiones bioclimáticas del estado de Yucatán.

Figure 1. UPGMA cluster analysis of four populations of *M. glabra* collected in two bioclimatic regions of the state of Yucatan.

El análisis de componentes principales (ACP), determinó que con los tres primeros componentes principales se explica el 89.421% de la variación total observada. El componente principal uno (CP1) explicó el 67.067% de la variación total acumulada. Las variables contenido de sólidos solubles totales (°Brix), peso de semilla y diámetro polar de la semilla, corresponden a las de mayor contribución para el CP1. El componente principal dos (CP2) explicó el 12.982% de la variación total, siendo las variables peso de fruto, diámetro polar de fruto y diámetro ecuatorial del fruto, las que contribuyeron a la variación explicada de este componente. En cuanto al componente principal tres (CP3), explicó el 9.372% de la variación total acumulada, las variables número de frutos por axila, diámetro polar de fruto, diámetro polar de la semilla, diámetro ecuatorial de la semilla y espesor de semilla, fueron las variables de mayor contribución (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de componentes principales de las características de fruto evaluadas en cuatro poblaciones de *M. glabra* de Yucatán.

Table 4. Principal component analysis of fruit characteristics evaluated in four populations of *M. glabra* from Yucatan

Variable	Componente principal		
	1	2	3
Peso de fruto (g)	0.056137	0.17443*	0.0069748
Diámetro polar de fruto (mm)	0.25279	0.52335*	-0.39481
Diámetro ecuatorial de fruto (mm)	0.23651	0.74191*	0.16558
Sólidos solubles totales (°Brix)	-0.90513*	0.36605	0.14852
Índice de forma de fruto	0.003402	-0.0072205	-0.032765
Frutos por axila	0.034855	0.079262	-0.20169*
Peso unitario de semilla (g)	-0.00010268*	0.00096568	0.0021022
Diámetro polar semilla (mm)	0.19808*	0.026592	0.76309*
Diámetro ecuatorial semilla (mm)	0.082591	0.064051	0.35689*
Espesor semilla (mm)	0.10118	0.0059269	0.20287*
Índice de forma de semilla (mm)	0.015334	-0.0085873	0.044295
Valor propio	20.212	3.912	2.824
Variación explicada	67.067 %	12.982 %	9.372 %
Variación acumulada	67.067 %	80.049 %	89.421 %

*Variables con mayor contribución para cada componente principal.

*Variables with the greatest contribution to each principal component.

El diagrama de dispersión de las colectas sobre el plano determinado por los dos primeros componentes principales del ACP (Figura 2) dio soporte a lo observado en el UPGMA, al permitir la formación de tres grupos con 80.049 % de la variación total explicada. El primer grupo (I) se conformó por los individuos que pertenecen a la población uno y se caracterizaron por presentar frutos con mayor contenido de sólidos solubles totales. El grupo II, lo integraron en su mayoría individuos de la población dos y se distinguen por presentar características como, menor cantidad de frutos por axila y semillas más grandes. El grupo III, se integró por individuos de las poblaciones tres y cuatro colectados en la región cálido subhúmedo intermedio, este grupo se dividió en dos subgrupos: el subgrupo III-A, formado por individuos de la población tres, se caracterizó por presentar individuos con frutos de menor peso y el subgrupo III-B, formado por individuos de la población cuatro, caracterizados por presentar frutos con la menor cantidad de sólidos solubles totales, frutos más grandes y mayor número de frutos por axila, dentro de este grupo se pudo observar que 12 individuos pertenecientes a la población uno colectados en la región cálido subhúmedo con lluvias en verano se integraron en este grupo (Figura 2).

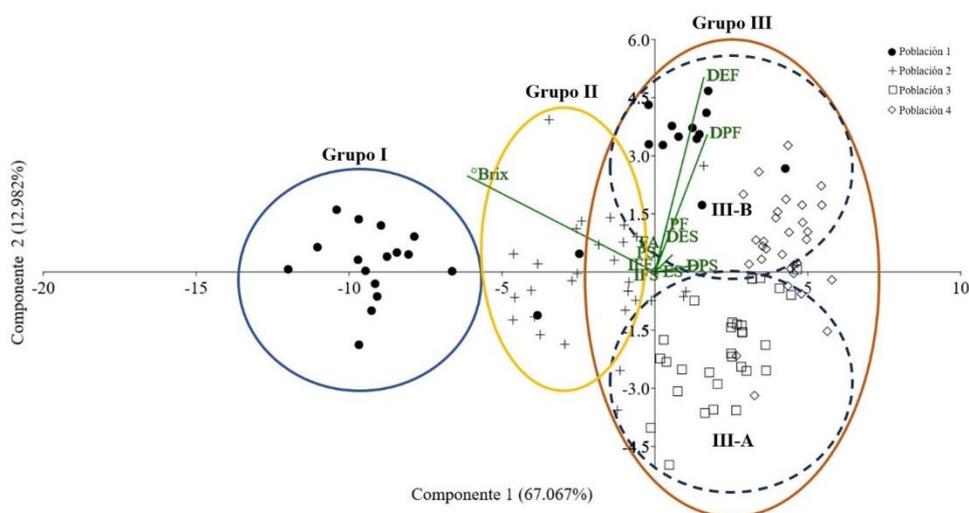


Figura 2. Distribución espacial de cuatro poblaciones de *M. glabra* colectadas en dos regiones bioclimáticas de Yucatán, con base en los dos primeros componentes principales. PF (peso de fruto), DPF (diámetro polar de fruto), DEF (diámetro ecuatorial de fruto), °Brix (sólidos solubles totales), IFF (índice de forma de fruto), FA (frutos por axilas), PS (peso de semilla), DPS (diámetro polar de semillas), DES (diámetro ecuatorial de semilla), ES (espesor semilla) e IFS (índice de forma de semilla).

Figure 2. Spatial distribution of four populations of *M. glabra* collected in two bioclimatic regions of Yucatan, based on the first two principal components. PF (fruit weight), DPF (polar diameter of fruit), DEF (equatorial diameter of fruit), °Brix (total soluble solids), IFF (fruit shape index), FA (fruits per axil), PS (seed weight), DPS (polar diameter of seeds), DES (equatorial diameter of seeds), ES (seed thickness), and IFS (seed shape index).

DISCUSIÓN

Diversidad morfológica de frutos de *M. glabra*

En este estudio se evalúa por primera vez la diversidad morfológica de frutos de *M. glabra* silvestre. Los resultados demuestran que existe variabilidad morfológica en los frutos de *M. glabra*, la cual puede estar siendo influenciada por las condiciones ambientales de cada región bioclimática (Tabla 1) (Avakoudjo *et al.*, 2022; Donhouedé *et al.*, 2023; Gomes *et al.*, 2000). Resultados similares han sido reportados en *Sorbus domestica* L., *Ceratonia siliqua* L. y *Capparis spinosa* L., donde se ha demostrado que la alta variabilidad morfológica (largo, ancho y peso) de los frutos de estas tres especies estuvo influenciada principalmente por el efecto de la temperatura y la precipitación (Abdelhamid *et al.*, 2022; Boublenza *et al.*, 2019; Poljak *et al.*, 2021). Por otro lado, se ha reportado que las plantas silvestres modifican sus estructuras anatómicas y su fisiología para adaptarse al ambiente y aprovechar los recursos disponibles de su entorno (Romero-Román *et al.*, 2021).

Los resultados del análisis a nivel de región bioclimática, muestran que en la región dos se encontraron los frutos más grandes y en mayor cantidad por axila, mientras que en la región uno se encontraron frutos pequeños, pero con la mayor cantidad de sólidos solubles totales. Aleza *et al.* (2018) y Ouédraogo *et al.* (2020) han señalado que el tipo de suelo y la precipitación juegan un papel importante en el desarrollo y producción de frutos, de tal manera que, a mayor precipitación y mayor presencia de materia orgánica en el suelo, las plantas tienden a incrementar el tamaño y número de los mismos por planta. Considerando lo mencionado anteriormente, los resultados pueden ser atribuidos al tipo de suelo y a la influencia de la precipitación de cada región bioclimática, ya que en la región dos se presenta mayor cantidad de materia orgánica en el suelo y mayor precipitación en comparación a la región uno. En estudios similares en *Adansonia digitata* L. y *Vitellaria paradoxa* Gaertn C. F., reportan la influencia del tipo de suelo en el aumento de la producción de frutos, en donde se indica que suelos con mayor cantidad de materia orgánica y minerales fueron más fértiles y permitieron que las plantas sean más productivas (Aleza *et al.*, 2018; Sanchez *et al.*, 2011; Widyati *et al.*, 2022). Resultados similares son reportados en accesiones cultivadas de *M. glabra*, bajo condiciones de precipitación y temperatura similares a las reportadas en este estudio. Adicionalmente, se mencionan que las condiciones climáticas ideales para la producción de *M. glabra* se caracterizan por presentar temperaturas de 26 °C y precipitaciones de 1200 a 1600 mm, similar a las condiciones climáticas presentes en la región dos de este estudio (Moura *et al.*, 2018). Por otro lado, Ouédraogo *et al.* (2020) al realizar estudios de caracterización morfológica de *Balanites aegyptica* observaron mayor producción de frutos en las zonas con mayor precipitación y reportan que el tamaño de los frutos está condicionado por la cantidad de precipitación. Por otra parte, el aumento de la cantidad de sólidos solubles totales en frutos de la región uno pudo atribuirse a la alta temperatura y baja precipitación durante el tiempo de fructificación de *M. glabra*, y no al tipo de suelo de cada sitio como indican Rato *et al.* (2008) y Farinelli *et al.* (2021). Esto coincide con lo reportado en estudios similares, donde se menciona la alta acumulación de sólidos solubles totales en frutas (*Vaccinium corymbosum* L. y *Sambucus nigra* L.) colectadas en climas cálidos y con precipitación escasa antes y después de la maduración del fruto (Cvetković *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2023).

A nivel de poblaciones, también se encuentra amplia variación morfológica entre los frutos de *M. glabra*. El peso de los frutos presentó alta variabilidad entre las poblaciones (Tabla 3), los cuales están por debajo de lo reportado en frutos de *M. glabra* provenientes de plantas cultivadas (Cavalcante *et al.*, 2007; Farinelli *et al.*, 2021). Los diámetros polar y ecuatorial, también presentaron alta variabilidad entre las poblaciones, pero menores al compararlos con los valores reportados por Cavalcante *et al.* (2021) y Magalhães *et al.* (2018) en frutos de *M. glabra* cultivadas. Las diferencias observadas entre los resultados de estos estudios se deben a que las plantas cultivadas suelen tener frutos más grandes en comparación con los obtenidos de las plantas silvestres, ya que las restricciones ambientales limitan su actividad reproductiva, a diferencia de las plantas cultivadas que reciben manejo para aumentar su productividad (Narwojsz *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2022). El peso, el diámetro polar y el diámetro ecuatorial de los frutos son variables importantes de calidad en muchas especies frutales y se utilizan para los programas de fitomejoramiento (Boussaid *et al.*, 2018; Khan *et al.*, 2022).

Con respecto a la forma del fruto, en todas las poblaciones evaluadas presentaron forma de oblato que indica que son más largos que anchos, según la clasificación de Alia-Tejacal *et al.* (2012). Este resultado coincide con lo reportado por Maldonado-Peralta *et al.* (2016) en frutos silvestres de *Malpighia mexicana* y es similar a lo reportado por Magalhães *et al.* (2018) y Lima *et al.* (2014) en frutos de acerola cultivada (índice de forma del fruto: 0.80 y 0.95); pero diferente a lo reportado por Farinelli *et al.* (2021) quienes encontraron frutos más anchos que largos. En cuanto al índice de forma de fruto, algunos autores indican que está variable es un indicador externo de calidad para el mercado comercial, debido a que afecta el atractivo de la fruta y la aceptación del consumidor (Magalhães *et al.*, 2018; Morais *et al.*, 2019; Pathmanaban *et al.*, 2019).

En el presente estudio, las condiciones ambientales en la población cuatro favorecieron al desarrollo de la mayor producción de frutos (Avakoudjo *et al.*, 2022). Goldschmidt (2013) menciona que, en especies silvestres, la fructificación es influenciada por el ambiente, la

vegetación circundante, la disponibilidad de luz, agua, nutrientes minerales y estrés biótico o abiótico. Así mismo, también menciona que el número de frutos es una variable importante para obtener datos de rendimiento en especies frutales, variable evaluada y reportada por primera vez en frutos de *M. glabra*, en este estudio.

A nivel de poblaciones, se observó alta variación en la cantidad de sólidos solubles totales (°Brix) de las poblaciones estudiadas. Los valores de las poblaciones uno y dos fueron mayores a los obtenidos en frutos de plantas de *M. glabra* cultivada (Cavalcante *et al.*, 2021; Farinelli *et al.*, 2021), pero similares a lo reportado en frutos de plantas silvestres de *M. mexicana* (Maldonado-Peralta *et al.*, 2016). Con los niveles de °Brix, obtenidos en este estudio se puede demostrar que los frutos de *M. glabra* de las poblaciones silvestres de Yucatán tienden a ser más dulces que las variedades de *M. glabra* cultivadas evaluadas por Cavalcante *et al.* (2021) y Farinelli *et al.* (2021). La glucosa, la fructosa y pequeñas cantidades de sacarosa son los principales azúcares reportados en esta especie frutal (Prakash & Baskaran, 2018). Sin embargo, la composición de estos compuestos depende de la influencia de varios factores, por ejemplo, el sitio de cultivo, las condiciones ambientales, las prácticas culturales, la etapa de maduración, el procesamiento y el almacenamiento (Mezadri *et al.*, 2006). La cantidad de sólidos solubles totales es un atributo interno que indica la calidad de las frutas, ya que se encuentra directamente relacionado con el sabor, afectando la aceptación de los consumidores y el precio de la fruta (Yang *et al.*, 2022). La determinación de los °Brix en frutos de *M. glabra*, es una variable importante de medir debido a que ayuda al proceso de selección de genotipos con alto contenido de vitamina C (Gomes *et al.*, 2000). En cuanto a las características de la semilla (peso de semilla, diámetro ecuatorial y polar, espesor e índice de forma de semilla), no hubo mucha variación entre las poblaciones estudiadas. Sin embargo, estos valores fueron menores al compararlos con lo reportado por Menezes *et al.* (2019) en semillas de plantas cultivadas de *M. glabra*, y por Maldonado-Peralta *et al.* (2016) en semillas de *M. mexicana* en estado silvestre.

Organización de la diversidad morfológica de frutos de *M. glabra*

Los resultados obtenidos en el análisis de conglomerados y ACP (Fig. 1 y Fig. 2) muestran que la variación morfológica presente en los frutos de *M. glabra*, está organizada en grupos morfológicos diferenciados.

Para el caso del grupo I observado en el UPGMA y ACP, los individuos que lo conformaron pertenecen a la población uno y fueron colectados en la región bioclimática cálida subhúmeda con lluvias en verano. Los frutos de este grupo presentaron mayor contenido de sólidos solubles totales y semillas pequeñas, características que diferenciaron a las poblaciones de este grupo con respecto a las poblaciones que integraron los grupos II y III. Estudios previos reportan que las condiciones ambientales (alta temperatura y baja precipitación) influyen en el aumento de los sólidos solubles totales (Cvetković *et al.*, 2022; Da Silva *et al.*, 2022). También se reporta que la alta temperatura o la baja precipitación del lugar de colecta provocan la disminución del tamaño de las semillas de especies silvestres como una estrategia de adaptación de las plantas a las condiciones adversas (Sama *et al.*, 2022).

Los individuos que formaron el grupo II en ambos análisis (UPGMA y ACP), pertenecen a la población dos y también fueron colectados en la región bioclimática cálida subhúmeda con lluvias en verano. Este grupo se caracterizó por ser el menos productivo, al presentar menor número de frutos por axila en comparación con las otras poblaciones, tal vez como mecanismo de adaptación a las bajas precipitaciones de la zona de colecta (Guizani *et al.*, 2019). Cabe recalcar, que los estudios de rendimiento en frutales silvestres son escasos.

El grupo III se subdividió en dos subgrupos (III-A y III-B), que fueron conformados por los individuos de las poblaciones tres y cuatro, colectados en la región bioclimática cálida subhúmeda intermedia. Ambas poblaciones comparten características ambientales similares, sin embargo, el sitio donde se colectaron los individuos de la población tres (subgrupo III-A) presenta un registro de mayor precipitación anual (1135.8 mm). El subgrupo III-A, se caracterizó por presentar individuos con frutos de menor peso; mientras que el subgrupo III-B se caracterizó por tener individuos con menor cantidad de sólidos solubles totales y mayor producción de frutos. La característica que compartieron ambos subgrupos fue la baja cantidad de sólidos solubles totales, lo cual pudo haber sido por la alta cantidad de

precipitaciones. Léchaudel & Joas (2007) indican que el aumento del número de frutos por planta disminuye el contenido de sólidos solubles totales, lo que concuerda con lo encontrado en el subgrupo III-B. La variación natural en las poblaciones ha apoyado a la comprensión de la variabilidad de las frutas y su respuesta al estrés ambiental (Chandra Naithani *et al.*, 2020). Por lo tanto, las regiones bioclimáticas poseen características particulares que están influenciando la morfología y contenido de sólidos solubles totales de *M. glabra*.

CONCLUSIONES

La diversidad morfológica de los frutos silvestres de *M. glabra* se integró por tres grupos con base en los análisis de ACP y de conglomerados. La región bioclimática uno, presentó frutos con mayor contenido de sólidos solubles totales (°Brix) y a nivel población, las poblaciones uno y dos destacaron por presentar frutos con mayor contenido de sólidos solubles totales (°Brix). En cuanto a la forma de los frutos, la clasificación para las cuatro poblaciones fue de oblato. La diversidad morfológica observada en los frutos de *M. glabra* está influenciada por las condiciones edafoclimáticas de cada uno de los sitios de colecta.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por la beca otorgada a Monserrat Concepción Esquivel Chi para realizar los estudios de posgrado (No. 997980).

LITERATURA CITADA

- Abdelhamid, K., Bouchenafa, N., Mederbal, K., & Dahlia, F. (2022). Assessment of morphological variability of leaves and fruits of three natural populations of wild caper (*Capparis spinosa* L.) in western Algeria. *Biodiversity Journal*, 13(2), 373–380. <https://doi.org/10.31396/biodiv.jour.2022.13.2.373.380>
- Aleza, K., Villamor, G. B., Nyarko, B. K., Wala, K., & Akpagana, K. (2018). Shea (*Vitellaria paradoxa* Gaertn C. F.) fruit yield assessment and management by farm households in the Atacora district of Benin. *PLOS ONE*, 13(1), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190234>
- Alia-Tejacal, I., Astudillo-Maldonado, Y. I., Núñez-Colín, C. A., Valdez-Aguilar, L. A., Bautista-Baños, S., García-Vázquez, E., Ariza-Flores, R., & Rivera-Cabrera, F. (2012). Caracterización de frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) del sur de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35, 21–26.
- Anderson, W. R. (2013). Origins of mexican Malpighiaceae. *Acta Botánica Mexicana*, 104, 107-156.
- Avakoudjo, H. G. G., Mensah, S., Idohou, R., Koné, M. W., & Assogbadjo, A. E. (2022). Effects of climate and protection status on growth and fruit yield of *Strychnos spinosa* Lam., a tropical wild fruit tree in West Africa. *Trees*, 36(3), 1117–1129. <https://doi.org/10.1007/s00468-022-02276-2>
- Bautista, F. (2021). *Los territorios kársticos de la península de Yucatán: caracterización, manejo y riesgos*. (Primera). Asociación Mexicana de Estudios sobre el Karst.
- Boublenza, I., El haitoum, A., Ghezlaoui, S., Mahdad, M., Vasai, F., & Chemat, F. (2019). Algerian carob (*Ceratonia siliqua* L.) populations. Morphological and chemical variability of their fruits and seeds. *Scientia Horticulturae*, 256, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.064>
- Boussaid, M., Taïbi, K., Ait Abderrahim, L., & Ennajah, A. (2018). Genetic diversity of *Ziziphus lotus* natural populations from Algeria based on fruit morphological markers. *Arid Land Research and Management*, 32(2), 184–197. <https://doi.org/10.1080/15324982.2018.1424742>
- Brunini, M. A., Barbosa Macedo, N., Coelho, C. V., Ferraz, G., & Siqueira, D. E. (2004). Caracterização física e química de acerolas provenientes de diferentes regiões de cultivo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(3), 486–489.

- Cáceres, A., Juh-Ez, X., DeI Aguila, J., & Garcíac, S. (1993). Plants used in Guatemala for the treatment of dermatophytic infections. 2. Evaluation of antifungal activity of seven American plants. *Journal of Ethnopharmacology*, *40*, 207–213.
- Calvo-Irabién, L. M., Parra-Tabla, V., Acosta-Arriola, V., Escalante-Erosa, F., Díaz-Vera, L., Dzib, G. R., & Peña-Rodríguez, L. M. (2014). Phytochemical diversity of the essential oils of mexican oregano (*Lippia graveolens* Kunth) populations along an edapho-climatic gradient. *Chemistry and Biodiversity*, *11*(7), 1010–1021. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201300389>
- Cavalcante, E. S., Junior, F. A. C. M., Evangelista, T. Y. L., Pereira, G. A., Souza, F. de F., & Junior, G. B. da S. (2021). Yield and physicochemical characteristics of west Indian cherry genotypes grown in the semi-arid region. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, *8*(12), 421–426. <https://doi.org/10.22161/ijaers.812.44>
- Cavalcante, Í. H. L., Beckmann, M. Z., Martins, A. B. G., & Campos, M. C. C. (2007). Preliminary selection of acerola genotypes in Brazil. *Fruits*, *62*(1), 27–34. <https://doi.org/10.1051/fruits:2006046>
- Chandra Naithani, D., Rawat, J. M. S., Singh, B., Khanduri, V. P., & Riyal, M. K. (2020). Determination of physico-chemical properties of aonla (*Emblica officinalis* Gaerth) fruits among different populations in Garhwal Himalaya. *International Journal of Fruit Science*, *20*(S3), S1579–S1589. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1822264>
- Chowdhury, A., Yonemoto, Y., Kato, H., & Macha, M. (2005). Classification of some acerola (*Malpighia glabra* Linn.) cultivars using morphometric descriptors and RAPD markers. *Japanese Journal of Tropical Agriculture*, *49*(4), 255–263.
- Cvetković, M., Kočić, M., Dabić Zagorac, D., Ćirić, I., Natić, M., Hajder, Đ., Životić, A., & Fotirić Akšić, M. (2022). When is the right moment to pick blueberries? Variation in agronomic and chemical properties of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) cultivars at different harvest times. *Metabolites*, *12*(9), 1–19. <https://doi.org/10.3390/metabo12090798>
- Da Silva, L. R., Figueiredo, A. R., Jacintho Barbosa, M. I. M., De Oliveira, M. M. T., Villa, F., & De Moraes, L. A. S. (2022). Physicochemical characterization and bioactive potential in *Dovyalis hebecarpa* Warb fruits. *Acta Brasiliensis*, *6*(3), 101–105. <https://doi.org/10.22571/2526-4338577>
- Da Silva Nunes, R., Silva Kahl, V. F., Da Silva Sarmento, M., Richter, M. F., Abin-Carriquiry, J. A., Martinez, M. M., De Barros Falcão Ferraz, A., & Da Silva, J. (2013). Genotoxic and antigenotoxic activity of acerola (*Malpighia glabra* L.) extract in relation to the geographic origin. *Phytotherapy Research*, *27*(10), 1495–1501. <https://doi.org/10.1002/ptr.4896>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Gonzalez, L. A., Tablada, E. M., Diaz, M. P., Robledo, C. W., & Balzarini, M. G. (2018). *Infostat* (2018). FCA Universidad Nacional de Córdoba.
- Donhouedé, J. C. F., Marques, I., Salako, K. V., Assogbadjo, A. E., Ribeiro, N., & Ribeiro-Barros, A. I. F. (2023). Genetic and morphological diversity in populations of *Annona senegalensis* Pers. occurring in Western (Benin) and Southern (Mozambique) Africa. *PeerJ*, *11*, 1–26. <https://doi.org/10.7717/PEERJ.15767>
- El-Hawary, S. S., El-Fitiany, R. A., Mousa, O. M., Salama, A. A. A., & El Gedaily, R. A. (2021). Metabolic profiling and in vivo hepatoprotective activity of *Malpighia glabra* L. leaves. *Journal of Food Biochemistry*, *45*(2), 1–15. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13588>
- Esquivel-Chi, M. C., Ruiz-Sánchez, E., Ballina-Gómez, H.S., Martín, J., Reyes, F., Carnevali, G., Tapia-Muñoz, J. L., Gamboa-Angulo, M. (2024) Repellent screening of ethanol extracts from plants of the Yucatan Peninsula against *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) and chemical profile of *Malpighia glabra* L. leaves. *Journal of plant Diseases and Protection*, *131*, 811–821. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00901-5>
- Farinelli, D., Portarena, S., da Silva, D. F., Traini, C., da Silva, G. M., da Silva, E. C., da Veiga, J. F., Pollegioni, P., & Villa, F. (2021). Variability of fruit quality among 103 acerola (*Malpighia emarginata* d. c.) phenotypes from the subtropical region of Brazil. *Agriculture (Switzerland)*, *11*(11), 1–19. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111078>
- Fekry, A., Elsabbagh, W., Abu Bakr, M., El-Ghazaly, M., & Mohamed, A. E.-S. (2021). Antioxidant activity of *Malpighia glabra* L., leaves extract. *Azhar International Journal of Pharmaceutical and Medical Sciences*, *1*(2), 88–93. <https://doi.org/10.21608/aijpm.2021.59935.1042>

- Ferreira, S. S., Silva, P., Silva, A. M., & Nunes, F. M. (2023). Effect of cultivar, maturation stage, and year on sugar and phenolic composition of elderberries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(4), 2023–2036. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12271>
- Goldschmidt, E. E. (2013). The evolution of fruit tree productivity: a review. *Economic Botany*, 67(1), 51–62. <https://doi.org/10.1007/s12231-012-9219-y>
- Gomes, J. E., Perecin, D., Baldo, A., Martins, G., José, E., & Almeida, D. E. (2000). Variabilidade fenotípica em genótipos de acerola. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(11), 2205–2211.
- Guizani, M., Dabbou, S., Maatallah, S., Montevecchi, G., Hajlaoui, H., Rezig, M., Helal, A. N., & Kilani-Jaziri, S. (2019). Physiological responses and fruit quality of four peach cultivars under sustained and cyclic deficit irrigation in center-west of Tunisia. *Agricultural Water Management*, 217, 81–97. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.021>
- Hoang, Q. B., Pham, N. T., Le, T. T., & Duong, T. N. D. (2022). Bioactive compounds and strategy processing for acerola: A review. *Can Tho University Journal of Science*, 14(2), 46–60. <https://doi.org/10.22144/ctu.jen.2022.011>
- Ito, A., Kajiwar, Y., Kanmera, S., Ishihata, K., Harada, K., Ogata, T., Kubo, T., Tominaga, S., & Yamamoto, M. (2014). Identification of Acerola (*Malpighia glabra* L.) Accessions by SRAP Markers. *Tropical Agriculture and Development*, 58(1), 30–32.
- Jasmitha, B. G., & Honnabyraiah. (2021). West Indian cherry: nature's vitamin-C capsule. *AgriCos E-Newsletter*, 2(4), 5–8.
- Jiménez-Osornio, J., Pastrana, D., Molina, A., Ruenes, M. del R., Montañez, P., & Lendecky, Á. (2018). Sustainable agriculture through resurrecting indigenous fruits in Yucatán. In C. Scherrer & S. Verma (Eds.), *Decent Work Deficits in Southern Agriculture: Measurements, Drivers and Strategies* (First, pp. 305–322). Rainer Hampp Verlag.
- Khan, M. R., Khan, M. A., Habib, U., Maqbool, M., Rana, R. M., Awan, S. I., & Duralija, B. (2022). Evaluation of the characteristics of native wild Himalayan fig (*Ficus palmata* Forsk.) from Pakistan as a potential species for sustainable fruit production. *Sustainability (Switzerland)*, 14(1), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su14010468>
- Kumar, S., Bhajipale, N. S., Sanghai, D. B., & Padgilwar, S. S. (2017). Phytochemical and pharmacological overview of acerola cherry: a review. *International Journal of Research in AYUSH and Pharmaceutical Sciences*, 1(1), 2456–9909.
- Léchaudel, M., & Joas, J. (2007). An overview of preharvest factors influencing mango fruit growth, quality and postharvest behaviour. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 287–298. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400004>
- Lima, P. C. C., Souza, B. S., Souza, P. S., Borges, S. da S., & de Assis, M. D. O. (2014). Characterization and evaluation of fruits of west Indian cherry. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(3), 550–555. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-336/13>
- Macêdo, M. do A. de M., Souza, R. T. B., Costa, D. N., Santos, J. O. dos, Reis, R. B. dos, Silva, L. L. da, & Andrade, I. M. de. (2022). Prospecção científica e tecnológica de quercetina: uso de espécies de *Malpighia* L. (acerola) como potencial para o tratamento de COVID-19. *Research, Society and Development*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i1.24715>
- Magalhães, D. S., Rufni, J. C. M., Albuquerque, A. S., Viol, R. E., Fagundes, M. C. P., & De Menezes, T. P. (2018). Genetic diversity among accessions of acerola based on the quality of fruits. *Comunicata Scientiae*, 9(2), 133–141. <https://doi.org/10.14295/CS.v9i2.2961>
- Maldonado-Peralta, M. D. los Á., García De Los Santos, G., García Nava, J., Corona Torres, T., Cetina Alcalá, V., & Ramírez Herrera, C. (2016). Calidad morfológica de frutos y endocarpios del nanche rojo (*Malpighia mexicana*, Malpighiaceae). *Acta Botánica Mexicana*, 117, 37–46.
- Menezes, F. N. D. D., de Melo, F. H. C., Vieira, A. R. S., Almeida, T. C., Lima, M. S., Aquino, J. S., Gomez-Zavaglia, A., Magnani, M., & de Souza, E. L. (2021). Acerola (*Malpighia glabra* L.) and guava (*Psidium guajaba* L.) industrial processing by-products stimulate probiotic lactobacillus and bifidobacterium growth and induce beneficial changes in colonic microbiota. *Journal of Applied Microbiology*, 130(4), 1323–1336. <https://doi.org/10.1111/jam.14824>
- Menezes, T. P., Rufini, J. C. M., Pio, L. A. S., Magalhaes, D. S., & Chain, C. P. (2019). Physical and chemical characterization of fruits and DNA content in genotypes of

- acerola tree. *Brazilian Journal of Agriculture*, 93(3), 336–348. <https://doi.org/10.37856/bja.v93i3.3323>
- Mezadri, T., Fernández-Pachón, M. S., Villaño, D., García-Parrilla, M. del C., & Troncoso, A. M. (2006). El fruto de la acerola: composición, características productivas e importancia económica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 56(2), 101–109.
- Morais, M. C., Mucha, Â., Ferreira, H., Gonçalves, B., Bacelar, E., & Marques, G. (2019). Comparative study of plant growth-promoting bacteria on the physiology, growth and fruit quality of strawberry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(12), 5341–5349. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9773>
- Moura, C. F. H., Ribeiro, L. B., Oliveira, L. de S., de Souza, K. O., de Miranda, M. R. A., da Franca, L. G., & de Souza, P. A. (2018). Acerola—*Malpighia emarginata*. In *Exotic Fruits Reference Guide* (pp. 7–14). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00003-4>
- Narwojsz, A., Tańska, M., Mazur, B., & Borowska, E. J. (2019). Fruit physical features, phenolic compounds profile and inhibition activities of cranberry cultivars (*Vaccinium macrocarpon*) compared to wild-grown cranberry (*Vaccinium oxycoccos*). *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(3), 300–306. <https://doi.org/10.1007/s11130-019-00737-7>
- Nascimento, E. M. M., Rodrigues, F. F. G., Costa, W. D., Teixeira, R. N. P., Boligon, A. A., Sousa, E. O., Rodrigues, F. F. G., Coutinho, H. D. M., & da Costa, J. G. M. (2018). HPLC and *in vitro* evaluation of antioxidant properties of fruit from *Malpighia glabra* (Malpighiaceae) at different stages of maturation. *Food and Chemical Toxicology*, 119, 457–463. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.11.042>
- Okigbo, R. N., Chiamaka Frances, E., Okigbo, R. N., & Anyaegbu, C. F. (2021). Underutilized plants of Africa. *Journal of Biology and Nature*, 13(2), 34–49.
- Orellana, R., Balam, M., Bañuelos, I., García, E., González-Iturbide, J., Herrera, F., & Vidal, J. (1999). *Atlas de procesos territoriales de Yucatán* (R. Orellana, M. Balam, I. Bañuelos, E. García, J. González-Iturbide, F. Herrera, & J. Vidal, Eds.; Primera). UADY.
- Ouédraogo, S., Bondé, L., Ouédraogo, O., Ouédraogo, A., Thiombiano, A., & Boussim, I. J. (2020). To what extent do tree size, climate and land use influence the fruit production of *Balanites aegyptiaca* (L) delile in tropical areas (Burkina Faso)? *International Journal of Fruit Science*, 20(3), 282–299. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1619216>
- Pasa, M. C., Da, L., Oliveira, S., Antunes, E., Lima, S., Klein, É., Fernandes Neto, F., Penedo, H., & Alves Da Silva, S. S. (2022). Medicina tradicional e COVID-19 no Brasil. *Revista Biodiversidade*, 21(1), 1–18.
- Pathmanaban, P., Gnanavel, B. K., & Anandan, S. S. (2019). Recent application of imaging techniques for fruit quality assessment. *Trends in Food Science and Technology*, 94, 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.10.004>
- Pinto, Z. T., Carneiro, J. F., Carriço, C., Caetano, R. L., Ferreira, V. dos S. B., Mendonça, P. M., Berenger, A. L. R., & Figueiredo, M. R. (2018). Acaricidal effects of seven brazilian plant extracts. *Revista Colombiana de Entomologia*, 44(1), 44–47. <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6541>
- Poljak, I., Vahčić, N., Liber, Z., Tumpa, K., Pintar, V., Zegnal, I., Vidaković, A., Valković, B., Kajba, D., & Idžojtić, M. (2021). Morphological and chemical diversity and antioxidant capacity of the service tree (*Sorbus domestica* L.) fruits from two ecogeographical regions. *Plants*, 10(8), 1–21. <https://doi.org/10.3390/plants10081691>
- Prakash, A., & Baskaran, R. (2018). Acerola, an untapped functional superfruit: a review on latest frontiers. *Journal of Food Science and Technology*, 55(9), 3373–3384. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3309-5>
- Rato, A. E., Agulheiro, A. C., Barroso, J. M., & Riquelme, F. (2008). Soil and rootstock influence on fruit quality of plums (*Prunus domestica* L.). *Scientia Horticulturae*, 118(3), 218–222. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.06.013>
- Romero-Román, M. E., Schoebitz, M., Bastías, R. M., Fernández, P. S., García-Viguera, C., & López-Belchi, M. D. (2021). Native species facing climate changes: Response of calafate berries to low temperature and UV radiation. *Foods*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/foods10010196>
- Sama, H., Traoré, D. K., Guenné, S., Hilou, A., & Dicko, M. H. (2022). Effect of pedoclimatic conditions on physicochemical characteristics and agro-industrial potential of

Recibido:
9/octubre/2023

Aceptado:
18/junio/2024

- three native oilseeds fruits from *Burkina Faso*. *BMC Plant Biology*, 22(321), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03713-7>
- Sanchez, A. C., De Smedt, S., Haq, N., & Samson, R. (2011). Comparative study on baobab fruit morphological variation between western and south-eastern Africa: Opportunities for domestication. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58(8), 1143–1156. <https://doi.org/10.1007/s10722-010-9647-4>
- Segura, S., Fresnedo, J., Mathuriau, C., López, J., Andrés, J., & Muratalla, A. (2018). The edible fruit species in Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65(6), 1767–1793. <https://doi.org/10.1007/s10722-018-0652-3>
- Tena Meza, M., Navarro-Cerrillo, R. M., & Brizuela Torres, D. (2021). Distribution of *Malpighia mexicana* in Mexico and its implications for Barranca del Río Santiago. *Journal of Forestry Research*, 32(3), 1095–1103. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01157-z>
- Torres-Contreras, A. M., Garcia-Baeza, A., Vidal-Limon, H. R., Balderas-Renteria, I., Ramírez-Cabrera, M. A., & Ramirez-Estrada, K. (2022). Plant secondary metabolites against skin photodamage: mexican plants, a potential source of UV-radiation protectant molecules. *Plants*, 11(2), 1–25. <https://doi.org/10.3390/plants11020220>
- Widyati, E., Nuroniah, H. S., Tata, H. L., Mindawati, N., Lisnawati, Y., Darwo, Abdulah, L., Lelana, N. E., Mawazin, Octavia, D., Prameswari, D., Rachmat, H. H., Sutiyono, Darwiati, W., Wardani, M., Kalima, T., Yulianti, & van Noordwijk, M. (2022). Soil degradation due to conversion from natural to plantation forests in Indonesia. *Forests* 13(11). <https://doi.org/10.3390/f13111913>
- Yang, X., Zhu, L., Huang, X., Zhang, Q., Li, S., Chen, Q., Wang, Z., & Li, J. (2022). Determination of the soluble solids content in korla fragrant pears based on visible and near-infrared spectroscopy combined with model analysis and variable selection. *Frontiers in Plant Science*, 13(938162), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.938162>
- Zhang, C., Cui, L., & Fang, J. (2022). Genome-wide association study of the candidate genes for grape berry shape-related traits. *BMC Plant Biology*, 22(42), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03434-x>

COMPORTAMIENTO DE TOMATES CRIOLLOS (*Solanum lycopersicum* L.) DEL SURESTE DE MÉXICO AL COMPLEJO *Bemisia tabaci* – BEGOMOVIRUS

BEHAVIOR OF NATIVE TOMATOES (*Solanum lycopersicum* L.) FROM SOUTHEASTERN MEXICO TO *Bemisia tabaci*-BEGOMOVIRUS COMPLEX

Esaú Ruiz-Sánchez; Luis Latournerie-Moreno; Zaci F. Chan-Escalante; Alicia R. Lara-Martín; Ana L. Ruiz Jiménez y Alejandro García-Ramírez

COMPORTAMIENTO DE TOMATES CRIOLLOS (*Solanum lycopersicum* L.) DEL SURESTE DE MÉXICO AL COMPLEJO *Bemisia tabaci* – BEGOMOVIRUS

BEHAVIOR OF NATIVE TOMATOES (*Solanum lycopersicum* L.) FROM SOUTHEASTERN MEXICO TO *Bemisia tabaci* -BEGOMOVIRUS COMPLEX



Comportamiento de tomates criollos (*Solanum lycopersicum* L.) del sureste de México al complejo *Bemisia tabaci* – Begomovirus

Behavior of native tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) from Southeastern Mexico to *Bemisia tabaci*-Begomovirus complex

Esaú Ruiz-Sánchez;
Luis Latournerie-Moreno;
Zaci F Chan-Escalante;
Alicia R. Lara-Martín ;
Ana L Ruiz Jiménez;
y Alejandro García-Ramírez

COMPORTAMIENTO DE
TOMATES CRIOLLOS
(*Solanum lycopersicum* L.)
DEL SURESTE DE MÉXICO
AL COMPLEJO BEMISIA
TABACI – BEGOMOVIRUS

BEHAVIOR OF NATIVE
TOMATOES (*Solanum
lycopersicum* L.) FROM
SOUTHEASTERN MEXICO
TO BEMISIA TABACI-
BEGOMOVIRUS COMPLEX

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 225-235. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.16

Esaú Ruiz-Sánchez <https://orcid.org/0000-0003-0245-3305>
Luis Latournerie-Moreno <https://orcid.org/0000-0002-7684-2111>
Zaci F Chan-Escalante <https://orcid.org/0009-0001-9656-0736>
Alicia R. Lara-Martín <https://orcid.org/0009-0005-8086-5235>
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Conkal,
Conkal, Yucatán, México.

Ana L. Ruiz Jiménez. Autor de correspondencia: aruiz_ji@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-0871-7522>

Alejandro García-Ramírez <https://orcid.org/0000-0002-5719-8412>
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui,
Cd. Obregón, Sonora, México

RESUMEN: La mosquita blanca *Bemisia tabaci* Genn. es una plaga dañina a cultivos hortícolas a nivel mundial. Una de las tácticas sustentables para su manejo es la búsqueda de fuentes de resistencia a esta plaga. Los tomates silvestres son fuente importante de diversidad genética y en ellos se puede encontrar genes de resistencia a diversos factores bióticos, como la incidencia de plagas. El objetivo de este trabajo fue evaluar bajo condiciones de invernadero 15 accesiones de tomates criollos, a la atracción y oviposición de *B. tabaci*. Además, de estimar la incidencia y severidad de begomovirus en campo. La accesión Rosa pa'ak ez2 tuvo menor atracción de adultos (0.7 adultos por cm²) y Socato uptl tuvo menor preferencia de oviposición (0.8 huevos cm²). En campo, las accesiones País ac y Rosa pa'ak ez2 tuvieron significativamente menor presencia de adultos en el follaje. Para incidencia y severidad de síntomas de virosis, Socato uptl tuvo el 76.7% de plantas con síntomas de virosis y una severidad de 2.2 a los 60 días después del trasplante y 2.9 a los 75 días después del trasplante. Los resultados evidenciaron variación en las accesiones de tomate a la atracción de adultos, preferencia de oviposición y susceptibilidad a virosis transmitida por *B. tabaci*.

Palabras clave: Mosquita blanca, plaga, repelencia, oviposición, resistencia.

ABSTRACT: The whitefly *Bemisia tabaci* Genn. is a plant pest highly harmful to horticultural crops worldwide. A sustainable tactic for the management of this pest is the search for plant resistance. Wild tomatoes are a crucial source of genetic diversity and genes for resistance to biotic factors as pest incidence. The objective of this work was to evaluate 15 accessions of creole tomatoes in greenhouse for attraction and oviposition response of *B. tabaci*. In addition, to estimate the incidence and severity of begomovirus in a field trial. The Rosa pa'ak ez2 accession had the lowest number of adults (0.7 per cm²) and Socato uptl had the lowest preference for oviposition (0.8 eggs per cm²). In the field, the País ac and Rosa pa'ak ez2 accessions had significantly fewer adults on the foliage. For the incidence and severity symptoms, Socato uptl had 76.7% of plants with virus symptoms and severity of 2.2 (60 days after transplant) and 2.9 (75 days after transplant), respectively. The results showed variation in the tomato accessions in the attraction of adults, oviposition preference, and susceptibility to viruses transmitted by *B. tabaci*.

Key words: whitefly, pest, repellency, oviposition, resistance.

INTRODUCCIÓN

La mosca blanca, *Bemisia tabaci* Genn. (Hemiptera: Aleyrodidae), es una plaga ampliamente distribuida en regiones tropicales y subtropicales en el mundo, se alimenta de más de 600 especies de plantas pertenecientes a 74 familias botánicas, entre las que se encuentran especies hortícolas, ornamentales, cultivos industriales y plantas silvestres (Belay *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2021). Las cucurbitáceas, solanáceas y leguminosas son susceptibles a *B. tabaci* (Kontsedalov *et al.*, 2009). El daño ocasionado a las plantas es tanto directo, por la succión de savia, como indirecto, debido a la transmisión de virus (Belay *et al.*, 2012; Hernández-Espinal *et al.*, 2018). Varias especies virales del género *Begomovirus*, pueden inducir enfermedades destructivas y ocasionar mermas en el rendimiento del cultivo (Rakha *et al.*, 2017). El complejo *Bemisia tabaci* - begomovirus ocasiona pérdidas de hasta 60% del rendimiento en cultivares susceptibles de tomate (Fiallo-Olivé y Navas-Castillo, 2019; Fortes *et al.*, 2020; Kwak *et al.*, 2022).

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia para consumo humano (Leana-Acevedo *et al.*, 2022). México es considerado como centro de domesticación de esta especie (Peralta y Spooner, 2007), que ha sido mejorada para aumentar su rendimiento. Las poblaciones semicultivadas y silvestres en diferentes regiones de México muestran una amplia diversificación morfológica, calidad del fruto y alto grado de adaptación (García-Martínez *et al.*, 2006; Bai y Lindhout, 2007; Alvarado-Rodríguez y Legaria-Solana, 2022). Lobato *et al.* (2012) señalan que existen variedades tamaño pequeño (tomatillo o cereza), los ojos de venado, los arriñonados, los acostillados, y tipo pimiento, que son aprovechados de manera regional debido a sus características organolépticas sobresalientes (Bonilla-Barrientos *et al.*, 2014; Leana-Acevedo *et al.*, 2022). Los tomates silvestres son fuente importante de diversidad genética, en la cual se pueden encontrar genes de resistencia a factores causantes de estrés biótico y abiótico, así como de atributos agronómicos específicos (Foolad, 2007; Bergougnoux, 2014). Las especies silvestres del género *Solanum* presentan particularidades agronómicas y tolerancia a insectos plaga (Sánchez-Peña *et al.*, 2006; Oriani *et al.*, 2011; Matos-Canul *et al.*, 2018). Estas especies se caracterizan por su robustez, con vellosidades densas, aroma característico y alta densidad de tricomas (Simmons y Gurr, 2005; Millán-Chaidez *et al.*, 2020). La presencia y densidad de tricomas tienen un impacto negativo en la preferencia de oviposición y la supervivencia de adultos de *B. tabaci* (Toscano *et al.*, 2001; Leckie *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2023). Las secreciones producidas por los tricomas juegan un papel importante en la defensa contra la mosca blanca. Se ha determinado que esto se debe a compuestos como, zingibereno, 2-cetona, y 2-undecanona y 2-tridecanona, al igual que los acil-azúcares (Lucini *et al.*, 2015; Dias *et al.*, 2021; de Lima Filho *et al.*, 2022). Por otro lado, Firdaus *et al.*, (2012) mencionan que además del impacto en la preferencia de oviposición (antixenosis), la antibiosis es un factor importante para la protección del tomate criollo contra *B. tabaci*. Sin embargo, en México faltan trabajos que caractericen a los cultivares silvestres para buscar fuentes resistentes a *B. tabaci*. El objetivo de este trabajo fue evaluar la atracción y oviposición de *B. tabaci*, así como la incidencia y severidad de síntomas por *Begomovirus* en 15 accesiones de tomates criollos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colección de genotipos

Se recolectaron semillas de 15 accesiones de tomate criollo *Solanum lycopersicum* L. en los estados de Chiapas, Tabasco y Yucatán (Cuadro 1). Las cuales se obtuvieron en ferias nativas y de productores locales.

Cuadro 1. Recolecta de semillas de tomates criollos (*Solanum lycopersicum* L.) en el sureste de México.

Table 1. Seed collection list of creole tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) southeastern Mexico.

Localidad de procedencia	Nombre local	Denominación de la accesión
Palenque, Chiapas	Rosa pa'ak	Rosa pa'ak eng
Palenque, Chiapas	Bolita	Bolita eng
Palenque, Chiapas	Rosa pa'ak	Rosa pa'ak nca
Palenque, Chiapas	Rosa pa'ak	Rosa pa'ak ez1

Palenque, Chiapas	Rosa pa'ak	Rosa pa'ak ez2
Palenque, Chiapas	Rosa pa'ak	Rosa pa'ak eer
Tecolutilla, Comalcalco, Tabasco	Riñón	Riñón jjc
Patatal, Comalcalco, Tabasco	Bolita	Bolita jvb
Cholul, Yucatán	Flama	Flama cm
Cholul, Yucatán	Riñón	Riñón cm
Cholul, Yucatán	Pera amarillo	Pera amarillo cm
Dzidzantun, Yucatán	Socato	Socato uptl
Conkal, Yucatán	Socato	Socato sgbp
Conkal, Yucatán	Cherry naranja	Cherry naranja cpc
Xoy, Yucatán	País	País ac

Experimento 1. Atracción a adultos y preferencia de oviposición

El experimento se estableció en el área de investigación hortícola del Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, ubicado a 15 km al noreste de Mérida a 21° 4' N y 89° 31' O a una altitud de 10 m.

Las semillas de tomate se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades (45×70 cm), como sustrato se usó turba (Peat Moss, Cosmocel®, México). El sustrato se mantuvo con 60 % de humedad y las plántulas se fertilizaron con 2 g triple 19® México (N:P:K 19:19:19) disuelto en un L⁻¹ de agua de riego.

Las plántulas de 25 días de edad se trasplantaron individualmente en vasos de poliestireno de 500 mL. Una semana posterior al trasplante, se usaron para los bioensayos y se realizaron con la metodología de Pérez-Verdugo *et al.*, (2019). Se colocó una planta de berenjena altamente infestada con *B. tabaci* (50 adultos por hoja), como foco de infestación, y a dos metros de distancia de ésta, se colocaron dos plantas de cada accesión de tomate distribuidas en forma de círculos. A las 48 h de establecido el bioensayo, se procedió a la contabilización de adultos de *B. tabaci* se hizo directamente en el envés de dos hojas de cada planta; las cuales se cortaron para contar la densidad poblacional de huevos, en el microscopio estereoscópico a 40X (Leica Co., Jalisco, México) en el laboratorio. Se determinó la superficie de las hojas muestreadas, en un integrador de área foliar (LI3100, LiCOR, Lincoln, Nebraska, USA). Los resultados se expresaron como de número de huevos y adultos cm⁻² de follaje.

Experimento 2. Densidad poblacional de *B. tabaci* y síntomas de begomovirus

Las plántulas se trasplantaron a los 25 días después de la emergencia. Se plantaron en surcos de 1.40 m y 0.40 m entre plantas. La fertirrigación se llevó a cabo con 200 kg de N, 250 kg de P y 300 kg de K ha⁻¹. El diseño experimental fue en bloques al azar con tres repeticiones, donde cada accesión representó un tratamiento. Cada parcela consistió en tres filas de 4.5 m de longitud con 10 plantas/fila.

Densidad poblacional de *B. tabaci*

La evaluación de densidad poblacional de *B. tabaci* se realizó a los 30, 60 y 90 días después del trasplante (ddt). De cada repetición se tomaron tres plantas del centro; en ellas se contabilizaron ninfas, huevos y adultos de *B. tabaci*. Para el muestreo de adultos se tomó una muestra de tres folíolos del estrato bajo, medio y superior de cada planta seleccionada. Los folíolos observados se cortaron y transportaron al laboratorio para contar y registrar el número de huevos y ninfas en un estereoscopio a 40X.

Síntomas de virosis

La incidencia y severidad de los síntomas de virosis se evaluaron a los 60 y 75 días después del trasplante. Se determinó la incidencia contando el número de plantas con síntomas y se marcó para evitar contar dos veces la misma planta. El porcentaje se calculó con el número de plantas sintomáticas entre el total de plantas muestreadas × 100. Se muestrearon 10 plantas en cada parcela con un total de 30 por accesión. La severidad se evaluó de acuerdo con la escala visual registrada por Caballero *et al.* (2015) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de la escala de grado de daño (severidad) de síntomas de virosis en plantas de tomates criollos (Caballero *et al.*, 2015).

Table 2. Description of the scale of damage degree (severity) of viroses symptoms in creole tomato plants (Caballero *et al.*, 2015).

Severidad	Síntomas
0	Sin síntomas
1	Clorosis parcial muy leve
2	Clorosis severa, pero sin deformación foliar y planta de tamaño normal
3	Clorosis, rizado foliar inicial y ligera reducción del tamaño de planta
4	Clorosis, algunas hojas deformadas y planta de tamaño reducido
5	Clorosis severa, hojas completamente deformadas, reducción severa de tamaño de la planta

Análisis de datos

Se comprobó la normalidad y homocedasticidad de los datos por la prueba de Shapiro-Wilk, luego se realizó análisis de la varianza (ANOVA) y comparación de medias de LSD Fisher (P , 0.05) para las variables densidad poblacional de *B. tabaci* e incidencia de los síntomas.

Para la variable severidad de los síntomas entre tratamientos (accesiones), se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis (P , 0.05) por ser una variable categórica. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el software InfoStat ver. 2017.

RESULTADOS

Atracción de adultos de *B. tabaci* y preferencia de oviposición

La densidad de adultos en el follaje de País ac, Bolita jvb, Flama mc, Socato uptl y Socato sgbp (1.8 a 1.3 adultos cm^{-2}) fue mayor en comparación con Rosa pa'ak ez2 (0.7 adultos cm^{-2}) (Cuadro 3), mostrando diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

Durante la evaluación de preferencia de oviposición, se observó que en las accesiones Bolita Jvb, Riñón jjc, Flama cm y Pera amarillo cm, el número de huevos en follaje fue mayor (3.3 a 3.0 huevos cm^{-2}) en comparación con la accesión Socato uptl (0.8 huevos cm^{-2}) (Cuadro 3), mostrando diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

Cuadro 3. Número promedio (\pm error estándar) de adultos y huevos por cm^{-2} en hojas de tomates criollos en pruebas de invernadero.

Table 3. Mean \pm standard error of number of adults and eggs per cm^{-2} on leaves of creole tomatoes in greenhouse trials.

Accesión	Adultos cm^{-2}	Huevos cm^{-2}
Rosa pa'ak eng	1.1 \pm 0.2abc	1.6 \pm 0.4abc
Bolita eng	1.0 \pm 0.2ab	2.2 \pm 0.7abc
Rosa pa'ak nca	1.0 \pm 0.2ab	2.5 \pm 0.8abc
Rosa pa'ak ez1	1.0 \pm 0.2ab	1.6 \pm 0.3abc
Rosa pa'ak ez2	0.7 \pm 0.2a	2.1 \pm 0.5abc
Rosa pa'ak eer	1.0 \pm 0.2ab	1.9 \pm 0.4abc
Riñón jjc	1.0 \pm 0.2ab	3.1 \pm 0.8bc
Bolita jvb	1.7 \pm 0.3bc	3.3 \pm 1.1c
Socato uptl	1.4 \pm 0.3bc	0.8 \pm 0.3a
Flama cm	1.6 \pm 0.5bc	3.0 \pm 1.2bc
Riñón cm	1.0 \pm 0.2ab	2.2 \pm 0.6abc
Pera amarillo cm	1.0 \pm 0.2ab	3.0 \pm 0.9bc
Socato sgbp	1.3 \pm 0.3bc	1.4 \pm 0.5ab
Cherry naranja cpc	1.1 \pm 0.2bc	1.7 \pm 0.4abc
País ac	1.8 \pm 0.4c	1.6 \pm 0.4abc
CV (%)	98.6	144.2

CV = Coeficiente de variación. Medias con diferentes letras en cada columna difieren significativamente (LSD Fisher, $P < 0.05$).

VC= Variation coefficient. Means with different letter within each column are significantly different (LSD Fisher, $P < 0.05$).

Densidad poblacional de *B. tabaci* y síntomas de begomovirus en tomates criollos

En campo, a los 30 ddt, se observó que las accesiones Bolita eng, Socato uptl, Riñón cm, Socato sgbp, Cherry naranja cpc y Rosa pa'ak ez2 (2.2 a 1.7 adultos cm^{-2}) presentaron una densidad mayor de adultos en el follaje en comparación con País ac, donde se registró 0.2 adultos cm^{-2} en el follaje, siendo esta diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$). A los 60 ddt, Rosa pa'ak eer, Riñón cm y Pera amarillo cm tuvieron mayor densidad de adultos ($P < 0.05$) en comparación con Rosa pa'ak ez2 que tuvo menor número de adultos en el follaje (Cuadro 4). A los 90 ddt, no se observaron diferencias significativas en la cantidad de adultos presentes en el follaje de las diferentes accesiones ($P > 0.05$).

Cuadro 4. Número promedio (\pm error estándar) de adultos y huevos por cm^{-2} de *Bemisia tabaci* en tomates criollos en campo.

Table 4. Mean \pm standard error of number of adults and eggs per cm^{-2} of *Bemisia tabaci* of creole tomatoes in open field.

Accesión	Adultos cm^{-2}		Huevos cm^{-2}	
	30 ddt	60 ddt	30 ddt	60 ddt
Rosa pa'ak eng	1.0 \pm 0.5abc	0.2 \pm 0.2ab	0.2 \pm 0.1bcde	0.0 \pm 0.0a
Bolita eng	2.2 \pm 0.6c	0.5 \pm 0.2ab	0.4 \pm 0.1e	0.2 \pm 0.1ab
Rosa pa'ak nca	0.5 \pm 0.2ab	0.5 \pm 0.2ab	0.3 \pm 0.1de	0.0 \pm 0.0a
Rosa pa'ak ez1	1.0 \pm 0.3abc	0.5 \pm 0.2ab	0.2 \pm 0.1abcde	0.0 \pm 0.0a
Rosa pa'ak ez2	1.7 \pm 0.6bc	0.0 \pm 0.0a	0.1 \pm 0.0abc	0.0 \pm 0.0a
Rosa pa'ak eer	0.8 \pm 0.5abc	0.8 \pm 0.4b	0.1 \pm 0.1abc	0.3 \pm 0.3ab
Riñón jje	1.2 \pm 0.4abc	0.2 \pm 0.2ab	0.1 \pm 0.1abcd	0.0 \pm 0.0a
Bolita jvb	1.0 \pm 0.4abc	0.5 \pm 0.2ab	0.1 \pm 0.0ab	0.0 \pm 0.0a
Socato uptl	2.0 \pm 0.6c	0.5 \pm 0.2ab	0.3 \pm 0.1cde	0.0 \pm 0.0a
Flama cm	0.5 \pm 0.2ab	0.3 \pm 0.2ab	0.1 \pm 0.0ab	0.0 \pm 0.0a
Riñón cm	1.8 \pm 0.5bc	0.8 \pm 0.3b	0.1 \pm 0.0abcd	0.1 \pm 0.0a
Pera amarillo cm	1.3 \pm 0.6abc	0.8 \pm 0.3b	0.1 \pm 0.1abc	0.0 \pm 0.0a
Socato sgbp	1.8 \pm 0.7bc	0.5 \pm 0.2ab	0.1 \pm 0.1ab	0.2 \pm 0.1ab
Cherry naranja cpc	1.8 \pm 0.5bc	0.7 \pm 0.3ab	0.0 \pm 0.0a	0.0 \pm 0.0a
País ac	0.2 \pm 0.2a	0.5 \pm 0.2ab	0.1 \pm 0.0ab	0.3 \pm 0.3b
CV (%)	94.5	123.5	119.79	410.88

ddt = días después del trasplante. CV = Coeficiente de variación. Medias con letras diferentes en cada columna difieren significativamente (LSD Fisher, $P < 0.05$).

dat = days after transplant. VC = Variation coefficient. Means with different letter within each column are significantly different (LSD Fisher, $P < 0.05$).

Durante el análisis de la fluctuación poblacional de huevos, se observó que a los 30 ddt, las accesiones Bolita eng, Socato uptl, Rosa pa'ak nca, Rosa pa'ak ez1 presentaron significativamente mayor densidad de huevos en el follaje ($P < 0.05$) en comparación con Cherry naranja cpc que tuvo una densidad menor. A los 60 ddt, se observó que las accesiones Rosa pa'ak eer y País ac presentaron mayor número de huevos en el follaje ($P < 0.05$) en comparación con las demás accesiones (Cuadro 4). A los 90 ddt no se observó oviposición en el follaje de ninguna de las accesiones de tomate.

En cuanto a la densidad de ninfas, no se observó presencia a los 30 y 60 ddt. Sólo a los 90 ddt se registró muy baja densidad (0.0 a 0.3 ninfas cm^{-2}), por lo que no se realizó análisis estadístico, ni se tomó en cuenta esta variable.

La incidencia media de virosis a los 60 ddt osciló entre el 76.7 y el 100%. Se observó que la accesión Riñón cm y Socato uptl presentaron el porcentaje más bajo de plantas con síntomas, siendo esta diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) en comparación con la

incidencia en Cherry naranja cpc, Rosa pa'ak eng y Riñón jjc (96.7 a 100%). A los 75 ddt no se observó diferencia significativa ($P > 0.05$) en el porcentaje de incidencia de plantas con síntomas de virosis. El rango de incidencia fluctuó entre el 93.3% y el 100%.

Con respecto a la severidad de daño, tanto a los 60 como a los 75 ddt, se determinó que la accesión Socato uptl presentó significativamente ($P < 0.05$) menor grado de severidad (2.2 y 2.9, respectivamente), en comparación con Bolita eng, Flama cm, Rosa pa'ak ez1, Cherry naranja cpc y Rosa pa'ak eng, que mostraron severidad de 3.4 a 4.3 a los 60 ddt. Asimismo, en comparación con Pera amarillo cm, Rosa pa'ak ez1, Flama cm, Rosa pa'ak eng y Cherry naranja cpc, que mostraron mayor grado de severidad a los 75 ddt, con valores de severidad de 4.1 a 4.7 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Incidencia y severidad de plantas con síntomas de virosis en tomates criollos en campo.
Table 5. Mean \pm standard error of incidence and severity of virus symptoms in creole tomatoes in open field.

Accesiones	Incidencia (%)		Severidad	
	60 ddt	75 ddt	60 ddt	75 ddt
Rosa pa'ak eng	100 \pm 0.0b	100 \pm 0a	4.3 \pm 0.1d	4.6 \pm 0.1cd
Bolita eng	93.3 \pm 6.7ab	100 \pm 0a	3.4 \pm 0.8bcd	3.9 \pm 0.5abcd
Rosa pa'ak nca	90.0 \pm 10ab	96.7 \pm 3.3a	3.1 \pm 0.6abcd	3.9 \pm 0.6abcd
Rosa pa'ak ez1	93.3 \pm 6.7ab	96.7 \pm 3.3a	3.8 \pm 0.8bcd	4.5 \pm 0.3cd
Rosa pa'ak ez2	86.7 \pm 6.7ab	96.7 \pm 3.3a	2.8 \pm 0.7abcd	3.3 \pm 0.5ab
Rosa pa'ak eer	86.7 \pm 8.8ab	96.7 \pm 3.3a	3.3 \pm 0.8abcd	3.9 \pm 0.4abcd
Riñón jjc	100.0 \pm 0.0b	100 \pm 0.0a	3.4 \pm 0.9abcd	3.5 \pm 0.8abc
Bolita jvb	86.7 \pm 8.8ab	100 \pm 0.0a	3.5 \pm 0.7abcd	3.8 \pm 0.2abcd
Socato uptl	76.7 \pm 12.0a	96.7 \pm 3.3a	2.2 \pm 0.6a	2.9 \pm 0.5a
Flama cm	93.3 \pm 3.3ab	100 \pm 0.0a	3.6 \pm 0.7abcd	4.5 \pm 0.3cd
Riñón cm	76.7 \pm 14.5a	96.7 \pm 3.3a	2.7 \pm 0.9abcd	3.6 \pm 0.5abc
Pera amarillo cm	90.0 \pm 10ab	96.7 \pm 3.3a	3.0 \pm 1.0abcd	4.1 \pm 0.7bcd
Socato sgbp	86.7 \pm 8.8ab	100 \pm 0.0a	2.3 \pm 0.4ab	3.3 \pm 0.1ab
Cherry naranja cpc	96.7 \pm 3.3b	100 \pm 0.0a	4.2 \pm 0.6cd	4.7 \pm 0.1d
País ac	86.7 \pm 13.3ab	93.3 \pm 6.7a	3.2 \pm 1.0abcd	3.8 \pm 0.7abcd
CV (%)	13.2	4.6	29.6	17.3

ddt = días después del trasplante. CV = Coeficiente de variación. Medias con letras diferentes dentro de cada columna son significativamente diferentes ($P < 0.05$); las primeras dos columnas fueron analizadas con la prueba de LSD Fisher, y la severidad con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. dat = days after transplant. VC = Variation coefficient. Means with different letters within each column are significantly different ($P < 0.05$); first two columns were analyzed using LSD Fisher test, and severity was analyzed using a nonparametric Kruskal-Wallis test.

DISCUSIÓN

En el presente estudio se evaluó la atracción de adultos y preferencia de oviposición de *B. tabaci* en accesiones de tomates criollos bajo condiciones de invernadero, así también en campo se evaluó la densidad poblacional de *B. tabaci* e incidencia y severidad de virosis transmitida por *B. tabaci*. En general, tanto en invernadero como en campo, se observó una menor atracción de adultos y oviposición en al menos dos de las accesiones evaluadas. En otros estudios se han observado datos similares a los obtenidos en el presente trabajo. Por ejemplo, Firdaus *et al.* (2012), al estudiar 26 accesiones de tomate, observaron que la densidad fluctuó entre 0.0 y 2.3 adultos cm^{-2} , mientras que la densidad de huevos varió entre de 0.5 y 65 huevos cm^{-2} . Los promedios más bajos de adultos y huevos de *B. tabaci* fueron de 0.0 y 0.5 cm^{-2} , respectivamente. En el experimento de Fancelli *et al.* (2003) se evaluó la susceptibilidad de diferentes accesiones de tomate a *B. tabaci*, y se obtuvieron densidades de adultos entre 0.0 y 0.9 adultos cm^{-2} , y entre 0.0 y 3.5 huevos cm^{-2} en las accesiones menos susceptibles. Así mismo, Silva *et al.* (2014) y Garzón-Tiznado *et al.* (2020) evaluaron poblaciones criollas y silvestres de tomate, donde consideraron como resistentes aquellas que presentaron bajas poblaciones de adultos y menor densidad de huevos en el follaje. Esto refuerza la idea de que, en poblaciones silvestres o incluso en aquellas que han tenido poca historia de manejo, como los cultivares criollos, se pueden encontrar accesiones con

características de menor susceptibilidad a la plaga. Estas podrían considerarse como posibles cultivares con resistencia, una vez que se hayan evaluado en varios ambientes y épocas para comprobar la consistencia en su comportamiento (Sánchez-Peña *et al.*, 2006).

La baja atracción de adultos y baja preferencia de oviposición de *B. tabaci* se ha asociado a diversos factores morfológicos y bioquímicos de las hojas, incluyendo la morfología y color de las hojas, tipo y densidad de tricomas y presencia de algunos compuestos que tienen un rol en la repelencia de mosquita blanca (Chermenskaya *et al.*, 2009; Hernández-Alvarado *et al.*, 2019; de Lima Filho *et al.*, 2022). Mansaray y Sundufu (2009) encontraron que *B. tabaci* se ve afectada por los tricomas que recubren la superficie de la hoja. En estudios específicos sobre tomates criollos y silvestres, Firdaus *et al.* (2012) y Sánchez-Peña *et al.* (2006) reportaron que la menor susceptibilidad a *B. tabaci* está relacionada con la presencia de tricomas glandulares, que secretan compuestos repelentes de esta plaga. En el presente estudio, no se analizó ninguna característica morfológica o bioquímica de las hojas, por lo que no podría inferirse qué mecanismos estarían operando en las accesiones Rosa pa'ak ez2 y Socato uptl, que tuvieron menor atracción de adultos y menor preferencia de oviposición, respectivamente; o en Rosa pa'ak ez2 y País ac, que mostraron menores poblaciones de adultos en campo. Existen otros mecanismos que influyen en la elección de hospedantes por parte de *B. tabaci*, los cuales incluyen el estado nutricional y la etapa fenológica de la planta (Chu *et al.*, 1995; Andres y Connors 2003). Por ello, es necesario continuar evaluando las poblaciones que mostraron cierto grado de repelencia a la colonización de *B. tabaci* para determinar los mecanismos involucrados en la resistencia y si esta se mantiene en las diferentes etapas de desarrollo de las plantas.

En los resultados de la incidencia y severidad de síntomas asociados a *Begomovirus*, se observó que, por la naturaleza de los síntomas, se podría sugerir la presencia de este género de virus, pero no se realizó diagnóstico molecular para confirmar la presencia de estos fitopatógenos. Sin embargo, la sintomatología observada, coincide con la reportada en la literatura, incluyendo mosaico débil y corrugado en la lámina foliar, seguido de un corrugado generalizado en todas las partes de la planta que evoluciona a deformaciones en hojas y ramas, que finaliza en enanismo y severas deformaciones (Rojas *et al.*, 2000; Anaya-López *et al.*, 2003; Caballero *et al.*, 2015). Es importante resaltar que, en la evaluación en campo, las accesiones Riñon cm y Socato uptl sobresalieron por presentar la menor incidencia de plantas con síntomas (76.7%). Asimismo, se observó menor severidad de la enfermedad en Socato uptl. En este sentido, es fundamental considerar la resistencia tanto al insecto vector como a *Begomovirus* en la búsqueda y selección de resistencia contra *B. tabaci*, con el fin de lograr avances importantes en la resistencia a este complejo fitosanitario (Bieberach *et al.*, 2013; Akhtar *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

En la búsqueda de resistencia a *B. tabaci* se determinó que, de las 15 accesiones de tomate criollo, tanto en invernadero como en campo, la accesión Rosa pa'ak ez2 mostró una menor atracción de adultos, mientras que la accesión Socato uptl presentó una menor preferencia de oviposición. Además, Socato uptl fue una de las accesiones que presentó menor incidencia y severidad de síntomas de virosis en campo.

LITERATURA CITADA

- Akhtar, K. P., Akram, A., Ullah, N., Saleem, M. Y., & Saeed, M. (2019). Evaluation of *Solanum* species for resistance to *Tomato leaf curl New Delhi virus* using chip grafting assay. *Scientia Horticulturae*, 256, 108646. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108646>
- Alvarado-Rodríguez, R. I., Legaria-Solano, J. P. (2022). Phenotypic diversity of wild tomato (*Solanum lycopersicum* L.) populations. *Agro Productividad*, 15, 41–53. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i5.2173>
- Anaya-López, J.L., Torres-Pacheco, I., González-Chavira, M., Garzón-Tiznado, J.A. & Pons-Hernández, J.L. (2003). Resistance to Geminivirus mixed infection in

- Mexican wild peppers. *Horticulture Science*, 38, 251-255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.38.2.251>
- Andres, M. R., & Connors, E. F. (2003). The community-wide and guild-specific effects of pubescence on the folivorous insects of manzanitas *Arctostaphylos* spp. *Ecological Entomology*, 28, 383–396. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.2003.00532.x>
- Bai, Y., & Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future? *Annals of Botany*, 100, 1085-1094. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm150>
- Belay, D.K., Huckaba, R.M., Ramirez, A. M., Rodrigues, J. C. V., & Foster, J. E. (2012). Insecticidal control of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) transmitting Carlavirus on soybeans and detection of the virus in alternate hosts. *Crop Protection*, 35, 53–57. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.12.020>
- Bergougnoux, V. (2014). The history of tomato: from domestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, 32, 170-189. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.11.003>
- Bieberach, F. C., Zanya, A. R., & Rita, G. H. (2013). Genes de resistencia a Begomovirus en germoplasma de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Colectado en panamá. *Ciencia Agropecuaria*, 21, 104 - 118.
- Bonilla-Barrientos, O., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J., Cruz-Izquierdo, S., Reyes-López, D., Hernández-Leal, E., & Hernández-Bautista, A. (2014). Diversidad agronómica y morfológica de tomates arriñonados y tipo pimiento de uso local en Puebla y Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(2), 129–139. <https://doi.org/10.35196/rfm.2014.2.129>
- Caballero, R., Schuster, D. J., Peres, N. A., Mangandi, J., Hasing, T., Trexler, F., Kalb, S., Portillo, H. E., Marc, P. C., & Annan, B. (2015). Effectiveness of cyantraniliprole for managing *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) and interfering with transmission of tomato yellow leaf curl virus on tomato. *Journal of Economic Entomology*, 108, 894-903. <https://doi.org/10.1093/jee/tou034>
- Chermenskaya, T. D., Petrova, M. O., & Savelieva, E. I. (2009). Laboratory and field evaluation of biological active substances of plant origin against greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* Westw (Homoptera: Aleyrodidae). *Archives of Phytopathology Plant Protection*, 42, 864–873. <https://doi.org/10.1080/03235400701494422>
- Chu, C. C., Henneberry, T. J., & Cohen, A. (1995). *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae): host preference and factors affecting oviposition and feeding site preference. *Environmental Entomology*, 24, 354–360. <https://doi.org/10.1093/EE/24.2.354>
- de Lima Filho, R. B., Resende, J. T. V., de Oliveira, J. R. F., Nardi, C., Silva, P. R., Rech, C., Oliveira, L. V. B., Ventura, M. U, Ribeiro Silva, A. L. B. (2022). Relationship between acylsugars and leaf trichomes: mediators of pest resistance in tomato. *Insects* 13, 738. <https://doi.org/10.3390/insects13080738>
- Dias, D. M., Corte, L. E., Resende, J. T. V., Zeffa, D. M., Resende, N. C. V., Zanin, D. S., Lima Filho, R. B. (2021). Acylsugars in tomato varieties confer resistance to the whitefly and reduce the spread of fumagine. *Bragantia* 80, e4421. <https://doi.org/10.1590/16784499.20210022>
- Fancelli, M., Vendramim, J. D., Lourenção, A. L. & Dias, C. T.S. (2003). Atratividade e Preferência Para Oviposição de *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) Biótipo B em Genótipos de Tomateiro. *Neotropical Entomology*, 32, 319-328. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2003000200019>
- Fancelli, M., Vendramim, J.D., Frighetto, R. T.S., & Lourencao, A. L. (2005). Glandular exudate of tomato genotypes and development of *Bemisia tabaci* (Genn.) (Sternorrhyncha: Aleyrodidae) biotype B. *Neotropical Entomology*, 34, 659-665. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-566X2005000400017>
- Fiallo-Olivé, E., and Navas-Castillo, J. (2019). Tomato chlorosis virus, an emergent plant virus still expanding its geographical and host ranges. *Mol. Plant Pathol.* 20, 1307–1320. <https://doi.org/10.1111/mpp.12847>
- Firdaus, S., van Heusden, A.W., Hidayati, N., Supena, E. D. J., Visser, R. G. F., & Vosman, B. (2012). Resistance to *Bemisia tabaci* in tomato wild relatives. *Euphytica*, 187, 31–45. <http://doi.org/10.1007/s10681-012-0704-2>

- Foolad, M. R. (2007). Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International Journal of Plant Genomics*, 52. <http://doi.org/10.1155/2007/64358>
- Fortes, I.M., Fernández-Muñoz, R., Moriones, E. (2020). Host plant resistance to *Bemisia tabaci* to control damage caused in tomato plants by the emerging Crinivirus tomato chlorosis virus. *Frontier Plant Science*, 11, 585510. <http://doi.org/10.3389/fpls.2020.585510>
- García-Martínez, S., Andreani, L., Garcia-Gusano, M., Geuna, F., & Ruiz, J. J. (2006). Evaluation of amplified fragment length polymorphism and simple sequence repeats for tomato germplasm fingerprinting: utility for grouping closely related traditional cultivars. *Genome*, 49, 648-656. <http://doi.org/10.1139/g06-016>
- Garzón-Tiznado J. A., Lugo-Lujan J. M., Hernández-Verdugo S., Medina-López R., Velarde-Félix S., Portillo-Loera J. J., Retes-Manjarrez J. E. (2020). Antixenosis a *Bemisia tabaci*¹ Mediterranean en poblaciones criollas y silvestres de tomate de México. *Southwestern Entomologist*, 45, 501-510. <https://doi.org/10.3958/059.045.0218>
- Hernández-Alvarado, L. A., Ruiz-Sánchez, E., Latournerie-Moreno, L., Garruña-Hernández, R., González-Mendoza, D., & Chan-Cupul, W. (2019). Resistance of *Capsicum annuum* genotypes to *Bemisia tabaci* and influence of plant leaf traits. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42, 251 – 257. <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.3.251-257>
- Hernández-Espinal, L. A., Enríquez-Verdugo, I., Melgoza-Villagómez, C. M., Retes-Manjarrez, J. E., Velarde-Félix, S., Linares-Flores, P. J., & Garzón-Tiznado, J. A. (2018). Análisis filogenético y distribución de begomovirus en el cultivo del chile (*Capsicum annuum* L.) en Sinaloa, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41, 49-157. <https://doi.org/10.35196/RFM.2018.2.149-157>
- Kontsedalov, S., Gottlieb, Y., Ishaaya, I., Nauen, R., Horowitz, R., & Ghanim, M. (2009). Toxicity of spiromesifen to the developmental stages of *Bemisia tabaci* biotype B. *Pest Management Science*, 65, 5–13. <https://doi.org/10.1002/ps.1636>
- Kwak, H. R., Hong, S. B., Byun, H. S., Park, B., Choi, H. S., Myint, S. S., Kyaw, M. M. (2022). Incidence and molecular identification of begomoviruses infecting tomato and pepper in Myanmar. *Plants (Basel)*, 11:1031. <https://doi.org/10.3390/plants11081031>
- Leana-Acevedo, J. L., Juárez-López, P., Palemón-Alberto, F., Sainz-Aispuro, M. J., Alia-Tejacal, I., Avonce-Vergar, N., Damián-Nava, A., Ortega-Acosta, S. A. (2022). Competitividad agronómica de ecotipos nativos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivados en invernadero. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 8, e0081017. <https://doi.org/10.30973/aap/2022.8.0081017>
- Leckie, B. M., D'Ambrosio, D. A., Chappell, T. M., Halitschke, R., De Jong, D. M., Kessler, A., Kennedy, G. G., & Mutschler, M. A. (2016). Differential and Synergistic Functionality of Acylsugars in Suppressing Oviposition by Insect Herbivores. *PLoS ONE*, 11, e0153345. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153345>
- Li, D., Li, H-Y., Zhang, J-R., Wu, Y-J., Zhao, S-X., Liu S-S., Pan, L-L. (2023) Plant resistance against whitefly and its engineering. *Frontier Plant Science*, 14,1232735. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1232735>
- Li, Y., Mbata, G.N., Punnuri, S.; Simmons, A.M., Shapiro-Ilan, D.I. (2021). *Bemisia tabaci* on vegetables in the Southern United States: incidence, impact, and management. *Insects*, 12, 198. <https://doi.org/10.3390/insects12030198>
- Lobato-Ortíz, R., Rodríguez-Guzmán, E., Carrillo-Rodríguez, J. C., Chávez-Servia, J. L., Sánchez-Peña, P., Aguilar-Meléndez, A. (2012). Exploración, colecta y conservación de recursos genéticos de jitomate: avances en la Red de Jitomate. SINAREFI: Texcoco, Estado de México, México. 56p.
- Lucini, T., Faria, M. V., Rohde, C., Resende, J. T. V. & Oliveira, J. R. F. (2015). Acylsugar and the role of trichomes in tomato genotypes resistance to *Tetranychus urticae*. *Arthropod-Plant Interactions*, 9, 45-53. <https://doi.org/10.1007/s11829-014-9347-7>
- Mansaray, A., & Sundufu, A.J. (2009). Oviposition, development and survivorship of the sweetpotato whitefly *Bemisia tabaci* on soybean, *Glycine max*, and the garden bean, *Phaseolus vulgaris*. *Journal of Insect Science*, 9, 107. <https://doi.org/10.1673/031.009.0101>
- Matos Canul, E. E., Gómez Leyva, J. F., Alamilla Magaña, J. C., Sandoval Gio, J. J., Criollo Chan, M. A., Caamal Velázquez J. H. (2018). *Temas de Ciencia y Tecnología*, 22, 63–68.

Recibido:
13/febrero/2024

Aceptado:
20/junio/2024

- Millán-Chaidez, R., Garzón-Tiznada, J.A., Linares-Flores, P.J., Velarde-Félix, S., Lugo-García, G.A. & Retes-Manjarrez, J.E. (2020). Resistance to *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) mediterranean (Q biotype) in landrace and wild tomato populations from Mexico. *Florida Entomologist*, 103, 472-478. <https://doi.org/10.1653/024.103.00409>
- Miller, J. C., & Tanksley, S. D. (1990). RFLP analysis of phylogenetic relationships and genetic variation in the genus *Lycopersicon*. *Theoretical and Applied Genetics*, 80, 437-448. <https://doi.org/10.1007/BF00226743>
- Oriani, M. A. G., Vendramim, J. D., & Vasconcelos, C. J. (2011). Biology of *Bemisia tabaci* (Genn.) B biotype (Hemiptera, Aleyrodidae) on tomato genotypes. *Scientia Agricola*, 68, 37-41. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000100006>
- Peralta, I. E. & Spooner, A. M. (2007). History, origin and early cultivation of tomato (Solanaceae). In: Genetic Improvement of Solanaceous Crops, Vol. 2: Tomato. M. K. Razdan and A. K. Mattoo (eds.). *Science Publishers*. Enfield, New Hampshire, USA. pp.1- 24
- Pérez-Verdugo, O. C., Ruiz-Sánchez, E., Gamboa-Angulo, M., Latournerie-Moreno, L., Fernández-Concha, G. C., Cua-Basulto, M. & Chan-Cupul, W. (2019). Actividad biológica de productos derivados de plantas en mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) y su parasitoide *Encarsia formosa*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22, 575-583.
- Rakha, M., Hanson, P., & Ramasamy, S. (2017). Identification of resistance to *Bemisia tabaci* Genn. in closely related wild relatives of cultivated tomato based on trichome type analysis and choice and no-choice assays. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 64, 247–260. <http://doi.org/10.1007/s10722-015-0347-y>
- Rojas, A., Kvarnheden, A. & Valkonen, J. P. T. (2000). Geminiviruses infecting tomato crops in Nicaragua. *Plant Disease*, 84, 843-846. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.8.843>
- Sánchez-Peña P., Oyama K., Núñez-Farfán J., Fornoni J., Hernández-Verdugo S., Márquez-Guzmán J., Garzón-Tiznado J. A. (2006). Sources of Resistance to Whitefly (*Bemisia* spp.) in Wild Populations of *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* (Dunal) Spooner G.J. Anderson et R.K. Jansen in Northwestern Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53(4): 711–719. <https://doi.org/10.1007/s10722-004-3943-9>
- Silva, K. F.A.S., Michereff-Filho, M., Fonseca, M. E. N., Silva-Filho J. G., Texeira, A. C.A., Moita, A. W., Torres, J. B., Fernández-Muñoz, R. & Boiteux, L. S. (2014). Resistance to *Bemisia tabaci* biotype B of *Solanum pimpinellifolium* is associated with higher densities of type IV glandular trichomes and acylsugar accumulation. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 151, 218–230. <https://doi.org/10.1111/eea.12189>
- Simmons, A. & Gurr, G. (2005). Trichomes of *Lycopersicon* species and their hybrids: effects on pests and natural enemies. *Agricultural and Forest Entomology*, 7, 265–276. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9555.2005.00271.x>
- Toscano, L., Boiça J, A., Maia, J. & Almeida, J. (2001). Tipos de tricomas em genótipos de *Lycopersicon*. *Horticultura Brasileira*, 19(3), 204–206. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362001000300009>

FIBRAS Y DISEÑOS UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE PAPEL AMATE EN SAN PABLITO, PAHUATLÁN, PUEBLA, MÉXICO

FIBERS AND DESIGNS USED IN THE PRODUCTION OF AMATE PAPER IN SAN PABLITO, PAHUATLÁN, PUEBLA, MEXICO

Rebolledo Morales, Adolfo de Jesús y Citlalli López Binnquist

FIBRAS Y DISEÑOS UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE PAPEL AMATE EN
SAN PABLITO, PAHUATLÁN, PUEBLA, MÉXICO

FIBERS AND DESIGNS USED IN THE PRODUCTION OF AMATE PAPER IN SAN
PABLITO, PAHUATLÁN, PUEBLA, MEXICO



Fibras y diseños utilizados en la elaboración de papel amate en San Pablito, Pahuatlán, Puebla, México

Fibers and designs in the elaboration of amate paper in San Pablito, Pahuatlán, Puebla, Mexico

Adolfo de Jesús Rebolledo
Morales y Citlalli López
Binnquist

FIBRAS Y DISEÑOS
UTILIZADOS EN LA
ELABORACIÓN DE PAPEL
AMATE EN SAN PABLITO,
PAHUATLÁN, PUEBLA,
MÉXICO

FIBERS AND DESIGNS
USED IN THE PRODUCTION
OF AMATE PAPER IN SAN
PABLITO, PAHUATLÁN,
PUEBLA, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 237-249. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.17

Adolfo de Jesús Rebolledo-Morales / adolfo411@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0607-3625>
People and Plants International

Citlalli López Binnquist. *Autor de correspondencia:* cilopez@uv.mx
<https://orcid.org/0000-0002-9592-3101>
*Centro de Investigaciones Tropicales Universidad Veracruzana.
Xalapa, Veracruz, México*

RESUMEN: El papel amate, tradicionalmente elaborado con fibras de corteza (floema secundario) de árboles tropicales ha sido producido desde la época prehispánica. A partir de la década de 1960, inició su venta como artesanía. Gran parte de su atractivo lo constituye la base de la materia prima y los diseños logrados por las artesanas y artesanos hñahñú de la comunidad de San Pablito, municipio de Pahuatlán en la Sierra Norte de Puebla. Con base en registros de las especies utilizadas en fuentes bibliográficas, la colecta e identificación de ejemplares y la aplicación de una entrevista semiestructurada, se documentaron las especies vegetales que se han utilizado para su elaboración, los cambios en las técnicas de manufactura empleadas, así como en el desarrollo de diseños. Los resultados indican que para la elaboración de este papel se han empleado 13 especies vegetales, tres se han dejado de utilizar, en tanto el árbol *Trema micrantha* (L.) Blume ha sido el más utilizado desde la década de 1980. En cuanto a las técnicas para ablandar las fibras, la principal diferencia entre la tradicional y la nueva es el uso de sosa cáustica, siendo sobre todo las mujeres quienes conocen y aplican la técnica tradicional. En cuanto a los diseños, la creatividad ha sido una constante, dinamizada principalmente por la imaginación y sentido de emprendimiento de los jóvenes hñahñú. Los resultados muestran los principales cambios para responder a la demanda de esta esta artesanía: cambios en las especies para asegurar la provisión constante materia prima, para mantener un proceso rápido de manufactura y mantener el interés por parte de los compradores.

Palabras clave: artesanías, conocimiento tradicional, etnobotánica, fibras vegetales, materia prima

ABSTRACT: Amatl paper, traditionally made from the bark fibers (secondary phloem) of tropical trees, has been produced since pre-Hispanic times. Since the 1960s, it has been sold as a handicraft. Much of its appeal lies in the raw material and the designs achieved by the Hñahñú artisans of the community of San Pablito, municipality of Pahuatlán in the Sierra Norte de Puebla.

Based on records of the species used in bibliographic sources, the collection and identification of specimens, and the application of a semi-structured interview, the plant species that have been used for its elaboration, the changes in the manufacturing techniques used, as well as in the development of designs, were documented. The results indicate that 13 plant species have been used to make this paper, three have been discontinued, while the tree *Trema micrantha* (L.) Blume has been the most used since the 1980s. As for the techniques for softening the fibers, the main difference between the traditional and the new one is the use of caustic soda, and it is mainly women who know and apply the traditional technique.

As for the designs, creativity has been a constant, driven mainly by the imagination and entrepreneurial spirit of young Hñahñú people. The results show the main changes to respond to the demand for this handicraft: changes in the species to ensure

a constant supply of raw material, to maintain a fast-manufacturing process, and to maintain the interest of buyers.

Key words, traditional knowledge, ethnobotany, plant fibers, raw material

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con los primeros cronistas del siglo XVI, tales como Díaz del Castillo (1968), de Angleria (1944) y Sahagún (1974), se utilizaban las pencas de maguey, así como las fibras de palmas y de corteza de árboles para plasmar las representaciones pictográficas prehispánicas. Se han encontrado evidencias arqueológicas de la utilización de papel amate elaborado con fibras de cortezas por los Mayas del sur de la Península de Yucatán que datan de 300 d.C. (Lenz, 1973). El papel amate se utilizaba para vestimenta, ofrendas, adornos además constituía la base de los manuscritos pictóricos llamados códices, en los cuales se describía y se registraban los conocimientos, calendarios agrícolas, históricos y religiosos (Lenz, 1973).

Al inicio de la Conquista, la elaboración y uso del papel amate fue prohibida (Lenz, 1969; Torres, 1987). A pesar de esto, la producción se mantuvo de forma clandestina y el uso ritual persistió entre algunos grupos indígenas en el centro de México, principalmente los ubicados en zonas montañosas. Uno de estos grupos fueron los hñahñú, asentados en la Sierra Norte de Puebla. Los hñahñú usaban el papel amate para elaborar objetos rituales, principalmente lo utilizaban para recortar figuritas que representaban a las deidades de su cosmovisión (Carrasco Pizana, 1979). Hasta la década de 1950 el papel amate se continuó produciendo con fines rituales pero algunas piezas se empezaron a vender en la Ciudad de México (Gormsen, 1991). A inicios de la década de 1960, dueños de galerías ubicadas en la Ciudad de México, organizaron una exposición de arte popular en la que incluyeron piezas de papel amate decoradas por artesanos nahuas del estado de Guerrero, quienes tradicionalmente decoraban su alfarería con pinturas que representan su entorno. Estas pinturas plasmadas sobre papel amate alcanzaron un estilo pictórico particular, logrando atraer una amplia atención y venta, en México como en otros países (Gormsen, 1991; Amith, 1995).

Derivado del aumento de la demanda de papel amate, las actividades y fases del proceso de su elaboración que originalmente realizaban en su totalidad los artesanos se comenzaron a separar. Campesinos, de comunidades cercanas a San Pablito y posteriormente también de comunidades alejadas, incluso de Hidalgo, empezaron a recolectar y comercializar las fibras de distintas especies vegetales para la producción de papel amate en San Pablito (López Binnqüist, 2003). La tecnología empleada en su producción continuó siendo la misma descrita por Hans Lenz (1969) y Bodil Christensen (1963), primeros investigadores en documentar el proceso de producción en San Pablito. Este proceso consiste en el ablandamiento de las fibras de corteza en agua, posteriormente su separación en tiras largas y delgadas y su distribución en forma de retícula sobre un tablón para ser maceradas con una piedra volcánica hasta conformar los lienzos de papel. El principal cambio identificado en el proceso de producción utilizado en el pasado y en la actualidad se refiere a los insumos utilizados para ablandar la corteza, tradicionalmente se ha utilizado cal y ceniza sin embargo, la demanda de esta artesanía ha impulsado la incorporación de sosa cáustica, su uso significa una reducción en el tiempo de trabajo y un aumento en el volumen de fibras utilizadas para la elaboración de papel amate pero como se ha identificado en otros trabajos en detrimento de la salud y el ambiente (agua, suelo, aire) (Neyra González, 2013).

Los objetivos de este trabajo fueron: 1) Identificar las especies vegetales que se han utilizado para la elaboración del papel amate en San Pablito, municipio de Pahuatlán, Sierra Norte de Puebla, 2) Documentar el conocimiento de las artesanas y artesanos sobre estas especies y, 3) Documentar el conocimiento y uso de artesanas y artesanos sobre las técnicas empleadas para la elaboración del papel amate y sobre los diseños realizados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La comunidad de San Pablito pertenece al municipio de Pahuatlán del Valle, ubicado en la Sierra Norte de Puebla, la cual forma parte de las provincias morfotectónicas de la Sierra Madre Oriental, del Eje Transvolcánico mexicano y de la Llanura Costera del Golfo (Ferrusquía, 1993 en Martínez *et al.*, 2007). El municipio de Pahuatlán del Valle colinda al Norte con Tlacuilotepec y el estado de Hidalgo, al Sur con Naupan y el estado de Hidalgo, al Oeste con Naupan y Tlacuiltepec y al Occidente con el estado de Hidalgo y Honey. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 20° 13' 12" y 20° 21' 98" de latitud Norte, y los meridianos 98° 04' 18" y 98° 12' 12" de longitud Oeste (Figura 1).

El municipio de Pahuatlán del Valle presenta una gran diversidad ambiental y biológica, comprende un intervalo de elevación entre los 100 y 2,300 m s.n.m. y presenta un gradiente climático de cálido a semicálido húmedo en las partes bajas y templado húmedo en las zonas de mayor elevación (Martínez *et al.*, 2007). Los tipos de vegetación que corresponden a este gradiente, de acuerdo con la clasificación de Rzedowski (2006) son bosque tropical perennifolio, bosque mesófilo de montaña, bosques de encino-pino y mezclas de ambos, con amplias zonas de ecocline (zona de integración de diferentes nichos ecológicos) entre los tipos de vegetación contiguos (Martínez *et al.*, 2007). En esta región, la comunidad de San Pablito se asienta sobre una pequeña planicie de las laderas del cerro Ahíla.

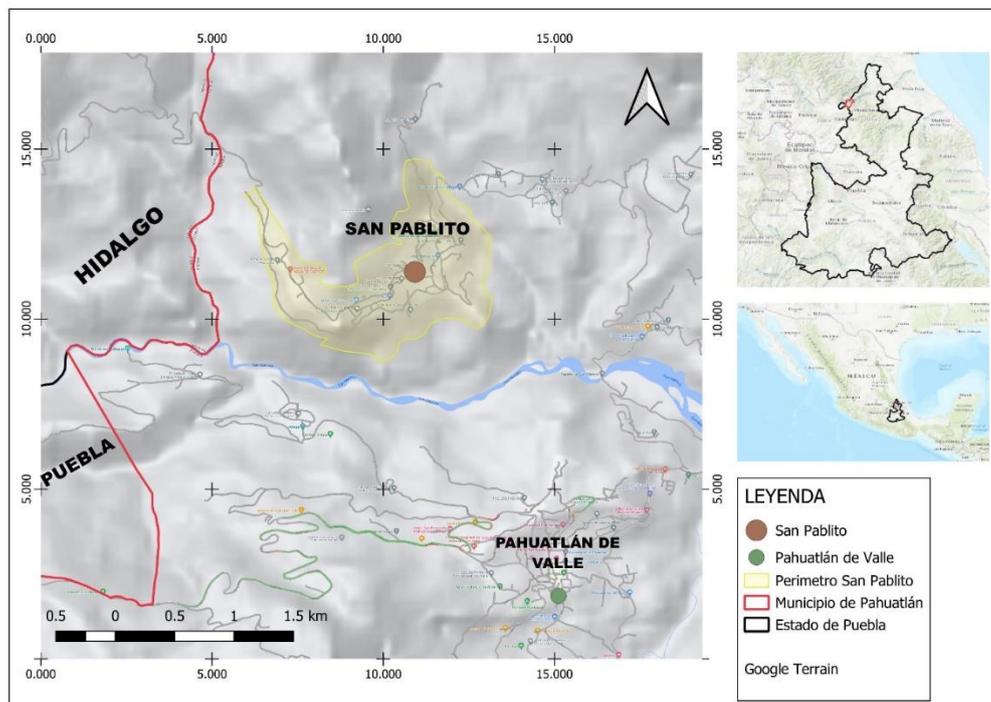


Figura 1. Ubicación de la comunidad de San Pablito en la Sierra Norte de Puebla, estado de Puebla, México.
Figure 1. Location of the community of San Pablito in the Sierra Norte de Puebla, state of Puebla, Mexico.

Los habitantes de la comunidad de San Pablito pertenecen al grupo etnolingüístico Hñahñú (otomí), y habitan esta región desde la época prehispánica. A finales de la década de 1950 se dedicaban a diversas actividades agrícolas, como la siembra del cultivo de maíz, frijol, cacahuate, café y caña de azúcar (Fagetti *et al.*, 2012). Posteriormente, cuando el papel amate empezó a venderse en el mercado de las artesanías durante la década 1960, se convirtió en la fuente de ingreso económico más importante y las actividades agrícolas se fueron abandonando de manera paulatina (Galnier, 1987; Torres, 1987). A inicios de la década de 1990, la base económica de las familias en San Pablito recayó en el trabajo artesanal de papel amate, así como en el trabajo asalariado en Estados Unidos (Rebolledo-Morales, 2012; D'Aubeterre *et al.*, 2013).

Recopilación y análisis de la información

Para conocer las plantas que se han ocupado para la elaboración de papel amate, se retomaron los trabajos etnográficos realizados en la Sierra Norte de Puebla, en donde se documenta las especies utilizadas para la elaboración de papel amate (Christensen, 1942, 1963), así como los trabajos etnobotánicos realizados sobre este tema específicamente en San Pablito, Pahuatlán (Peters *et al.*, 1987; López Binnquist, 2003) y se llevó a cabo la colecta de los ejemplares en campo (Rebolledo-Morales, 2012), utilizando las técnicas de colecta recomendadas por Martin (2005). Los ejemplares fueron depositados en el Herbario del Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana. Para su identificación se utilizó el trabajo de Ibarra-Manríquez *et al.* (2012) sobre los *Ficus* de México, el trabajo de Jiménez-Ramírez *et al.* (2002) sobre los géneros de la familia Euphorbiaceae y el trabajo de Carvajal (2007) sobre los árboles de la familia Moraceae. Los ejemplares recolectados fueron comparados con los recolectados por López Binnquist (2003), depositados en el Herbario XAL del Instituto de Ecología A.C. en donde se realizó la identificación taxonómica. En el caso de los *Ficus* spp., su identificación fue corroborada en el Herbario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Finalmente, se integró el listado presentado en la Tabla 1 con los nombres y autores de las especies validados en Tropicos.org. del Missouri Botanical Garden (<http://www.tropicos.org>; 21.02.2024) y con los nombres en la variante hñahñú de San Pablito. Cabe mencionar que aún no se ha creado un sistema de escritura para esta variante, los nombres se registraron en la manera en la que fueron mencionados durante las entrevistas y posteriormente fueron revisados por el Maestro Antonio Hernández Abraham, hablante del hñahñú de San Pablito.

Para documentar el número de especies conocidas por las artesanas y los artesanos, así como las técnicas empleadas para la elaboración del papel amate y los cambios en los diseños se preparó una entrevista semiestructurada de acuerdo a los métodos propuestos por Alexiades (2003) y Martin (2004). La entrevista constó de tres partes, la primera enfocada en recopilar información general sobre la persona entrevistada (nombre, edad, edad en la que inicio el trabajo de papel amate), la segunda parte enfocada en documentar las plantas conocidas para la manufactura de papel amate y la tercera enfocada en documentar el conocimiento y empleo de las técnicas de elaboración de papel amate y los cambios en los diseños.

Las entrevistas fueron aplicadas de febrero a septiembre de 2009, utilizándose el método de bola de nieve. Se entrevistó a 111 artesanos de San Pablito de un total de 592 registrados en el año 2008 por el Instituto de Artes e Industrias Populares del Estado de Puebla, lo cual representó una muestra del 16%. La mayor parte de los entrevistados fueron mujeres debido a que los hombres realizan otro tipo de actividades e incluso la mayoría trabajan fuera de la comunidad de San Pablito, por lo que la muestra abarca a 100 mujeres y 11 hombres.

La aplicación de las entrevistas e interpretación del hñahñú (variante de San Pablito) al español se realizó en colaboración con tres miembros jóvenes de la comunidad: Miguel Santos Rojas, Iveth Santos de la Puerta y Fausto Santos de la Puerta. Con el propósito de sistematizar la información obtenida en las entrevistas como lo propone Martin (2004) se construyó una base de datos en el programa Microsoft Office Access y la información se agrupó por bloques conforme a las diferentes temáticas tratadas. Sobre el conocimiento de las especies empleadas y las técnicas de elaboración del papel amate se analizó la información con base a porcentajes del total de las artesanas y artesanos entrevistados. En cuanto a la información sobre los cambios en los diseños se lograron identificar tres etapas principales de acuerdo con los estilos y tipos de productos y las fibras utilizadas, estas etapas se describen y documentan visualmente.

RESULTADOS

Especies vegetales empleadas para elaborar papel amate

De acuerdo con los registros que realizó la etnóloga Christensen (1942, 1963) se sabe que en la región de la Sierra Norte de Puebla se utilizaron varias clases de árboles como materia prima para elaborar papel amate, principalmente el árbol amate o amacuáhuatl, de las palabras náhuatl amatl, (papel), y cuahuatl (árbol), el cual pertenece al género de los *Ficus*. Christensen (1942, 1963), apoyada en la clasificación taxonómica que realizó Standley (1923) documentó

el uso de las siguientes especies: *Ficus goldmanii* Standl., *Ficus padifolia* HRK., *Urera baccifera* (L.) Gund.) y *Morus celtidifolia* HBK. Peters *et al.* (1987) documentaron el uso de *Trema micrantha* (L.) Blume en los inicios de la década de 1980. López Binnqüist (2003), registró la introducción de seis nuevas especies: *Ulmus mexicana* (Liebm.) Planch., *Brosimum alicastrum* Sw., *Sapium oligoneuron* K. Schum., *Sapium aucuparium* Jacq., *Urera caracasana* (Jacq.) Gaudich. ex Griseb. y *Myriocarpa cordifolia* Liebm. Rebolledo-Morales (2012) documentó el uso de *Typha dominguensis* Pers. y de otras dos plantas (xalama y jonote de casa) de los cuales no se logró realizar la identificación.

En total, se han logrado identificar taxonómicamente 13 especies, una cuenta con un sinónimo taxonómico (Tabla 1). Todas son leñosas excepto *T. dominguensis*, planta perenne herbácea que crece en cuerpos de agua, como estanques o canales. Al papel derivado de esta especie, las artesanas y artesanos lo denominan papel de tule sin embargo hacia afuera de la comunidad, lo denominan y venden como papel amate.

Tabla 1. Especies vegetales utilizadas como materia prima para la elaboración de papel amate.

Table 1. Plant species used as raw material for the production of amate paper.

Familia, Género y Especie	Nombre en Hñahñú (N) Nombre en Náhuatl (A)	Nombre en español
Euphorbiaceae <i>Sapium</i> <i>Sapium aucuparium</i> Jacq.	Koni pthi (N)	Palo brujo
Euphorbiaceae <i>Sapium</i> <i>Sapium oligoneuron</i> K. Schum. & Pittier	Koni pathi (N)	Palo brujo, chilamate
Moraceae <i>Brosimum</i> <i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	Payu koni, Uini koni (N)	Ojite, ramón, uje
Moraceae <i>Ficus</i> <i>Ficus calyculata</i> Mill.	Xalama (A) Buo popotza (N)	Amate hoja redonda, higuera, matapalo
Moraceae <i>Ficus</i> <i>Ficus cotinifolia</i> Kunth	Xalama (A) Tshax popotza (N)	Amate de hoja gruesa
Moraceae <i>Ficus</i> <i>Ficus goldmanii</i> Standl.	Xalama (A) Popotza xibahua (N)	Amate hoja pahua, amate prieto, salate
Moraceae <i>Ficus</i> <i>Ficus padifolia</i> Kunth aff. <i>Ficus pertusa</i> L.f.	Xalama (A) Tshax moushi (N)	Amate limón blanco, palo blanco, camichin, higuera blanca
Moraceae <i>Morus</i> <i>Morus celtidifolia</i> Kunth	Tzatzkuä (N)	Mora, mora de lo frío, moral, palo moral
Typhaceae <i>Typha</i> <i>Typha dominguensis</i> Pers.		Tule
Ulmaceae <i>Trema</i> <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Koni (N)	Jonote colorado, chaca, capulín, capulín macho
Ulmaceae <i>Ulmus</i> <i>Ulmus mexicana</i> (Liebm.) Planch.	Sxifi-tza (N)	Tortocal, jonote cuerudo, olmo, cuerillo
Urticaceae <i>Urera</i> <i>Urera caracasana</i> (Jacq.) Gaudich. ex Griseb.	Chichicaxtle (A) Ntzanä (N)	Chichicaxtle
Urticaceae <i>Myriocarpa</i> <i>Myriocarpa cordifolia</i> Liebm.	Husnä (N)	Hortiga

Fuentes: Christensen (1942, 1963), Peters *et al.* (1987), López Binnqüist (2003), actualizado por Rebolledo-Morales (2012).

Conocimiento sobre las especies vegetales empleadas para elaborar papel amate

De acuerdo con las entrevistas realizadas en campo sobre las plantas que las artesanas y los artesanos reconocen como útiles para elaborar papel amate, se identificó que del total de especies que se han utilizado para elaborar papel amate (13 especies), lograron reconocer 10. Las especies más conocidas fueron (en porcentajes sobre el total encuestado): *T. micrantha* 39%, *M. celtidifolia* 20%, *F. goldmanii*, *S. oligoneuron* y *F. padifolia* aff. *F. pertusa* 13%. En tanto que *M. cordifolia*, *F. cotinifolia* y *B. alicastrum*, ya no son conocidas (Figura 2).

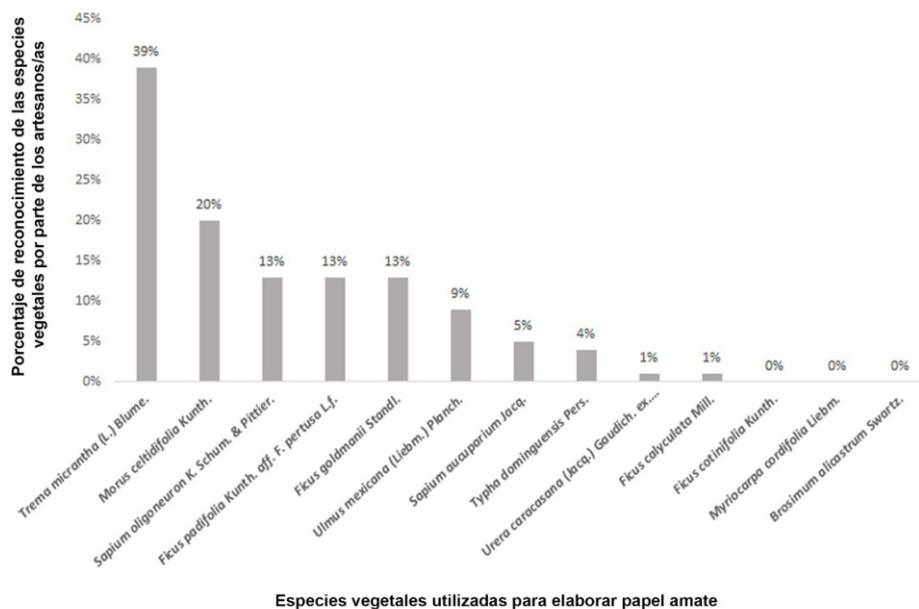


Figura 2 . Conocimiento por parte de las artesanas y los artesanos sobre las especies vegetales empleadas para elaborar papel amate en porcentajes.

Figure 2 . Knowledge on the part of artisans about the plant species used to make amate paper in percentages.

Estos resultados nos indican que algunas de las especies identificadas a finales de la década de 1990 por López Binnqüist (2003, Tabla 6.1), *F. cotinifolia*, *B. alicastrum* y *M. cordifolia*, actualmente no son conocidas por parte de las artesanas y los artesanos. En cuanto a la utilización del árbol jonote colorado o coní (*T. micrantha*), el primer registro sobre el uso de este árbol fue realizado por Peters *et al.* (1987), a finales de la década de 1980. En tanto, el uso de tule (*T. domingensis*) se introdujo aproximadamente en la década de 1990 y su uso se ampliaba rápidamente cuando se llevó a cabo este estudio.

Conocimiento sobre las técnicas empleadas para elaborar papel amate y cambios en los diseños

Se registró que, de las 111 artesanas y artesanos entrevistadas, el 70% conoce la técnica tradicional de hervir la corteza con ceniza y cal, mientras que el 30% respondieron no tener conocimiento sobre este proceso. Del 70% de artesanas y artesanos que respondieron que sí conocían el proceso tradicional de producción, el 67% contestó que si aprendió a ponerlo en práctica, pero no lo emplea, mientras que el 33% si lo emplea. Esto permite observar que, aunque un número significativo de artesanas y artesanos conoce el proceso de manufactura tradicional, no todos lo emplean. También se logró identificar que quienes salvaguardan el conocimiento del proceso de elaboración tradicional y de quienes depende su transmisión son las mujeres. Los pocos hombres a quienes se les entrevisto no lo conocen y confirmaron que las mujeres son quienes mantienen este conocimiento.

En cuanto a los cambios en los diseños de los productos artesanales, se lograron identificar tres principales etapas por los estilos y fibras utilizadas (Figura 3). La primera etapa (1960-1970) consistió en lienzos decorativos lisos de 40×60 cm que eran transportados a Guerrero, en donde los artesanos nahuas los decoran para su venta. La siguiente etapa (1970-1990) se identifica por la exploración en el uso de colorantes para teñir las fibras y la producción de

lienzos decorativos de diferentes tamaños. Al final de esta etapa, algunos artesanos comenzaron a crear cuadros con figuras recortadas que partían de su cosmovisión y cultura lo cual detonó un cambio radical en los diseños. Estas figuras representan los espíritus de las semillas, águilas bicéfalas, animales amorfos, el sol y la luna entre otros elementos de la cosmovisión hñahñú, realizadas con lienzos de fibras de *M. celtidifolia*, conocido por los artesanos como mora y aplicados a los cuadros en color natural o teñidos con anilina para lograr mayor contraste de colores. El papel elaborado con *M. celtidifolia* es muy flexible lo que lo hace maleable a los dobleces y al proceso de corte (López Binnqüist *et al.*, 2012). Los recortes los realizan pocas personas de San Pablito, esta es una habilidad considerada como un don que se hereda de generación en generación. Tradicionalmente los cortadores recortan el papel amate para utilizarlo en curaciones (Torres, 1987), práctica que continúa hasta nuestros días.

En la tercera etapa (1990 a la actualidad), además de utilizar los recortes se empieza a explorar el uso de aplicaciones con textiles y el uso de entramados realizados con fibras. Durante esta etapa, se destaca la integración del tule *T. dominguensis*. Debido a que el papel manufacturado con estas fibras resulta en una superficie de color y textura homogénea a diferencia de los papeles elaborados con fibras de corteza en los que es posible apreciar las tonalidades y contrastes de las fibras, las artesanas y artesanos buscaron formas de hacerlo más atractivo. La integración de las fibras del tule impulsó la realización de nuevos diseños, se realizaron por ejemplo entramados con fibras de tule y posteriormente de cortezas y algunas combinadas con fibras de tule y cortezas. Empezaron a realizarse también trenzas de distintos tamaños y grosores logrando así crear volúmenes, texturas y contrastes diferentes. De esta manera lograron crear cuadros muy vistosos en los que por ejemplo la base del lienzo es de corteza de *M. celtidifolia*, cuyo color es claro, adornado con cenefas trenzadas de fibras de tule de color oscuro y en el centro del cuadro, como elemento principal y colorido adhieren un bordado de Tenango de Doria.

A partir de las entrevistas realizadas durante el trabajo en campo se reconoció que la juventud hñahñú ha tenido un papel central en los cambios de diseños, incorporado incluso nuevos desarrollos tecnológicos y usos, como son las máquinas de sierra eléctrica de corte de papel o la manufactura de cuadros o lámparas de papel amate con sistemas eléctricos para su iluminación, así como la manufactura de sellos con distintos materiales y de diferentes figuras para la decoración con cenefas vistosas.

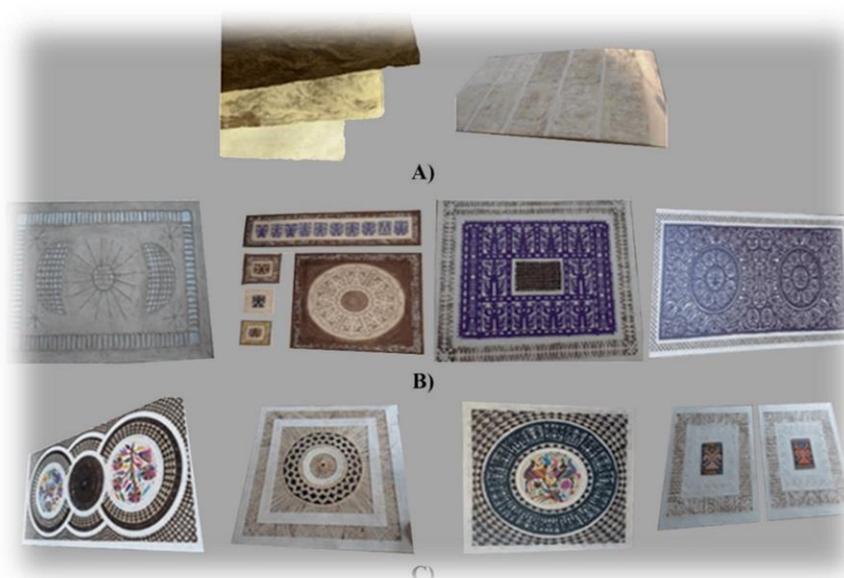


Figura 3. Ejemplos de los diferentes tipos y diseños de papel amate elaborados en las tres etapas identificadas: A) primera etapa: cuadros de papel amate liso de color natural elaborados con fibras de diferentes especies, principalmente de *Ficus* spp., B) segunda etapa: cuadros elaborados con distintas técnicas de calado y recortes, elaborado principalmente con fibras de *T. dominguensis* o de *T. micrantha* para la base y *M. celtidifolia* para las aplicaciones de papel recortado, C) tercera etapa: cuadros elaborados con técnicas de macramé, calado, recortes,

y con las aplicaciones de piezas bordadas con hilo y con chaquira, elaborados principalmente con fibras de *T. micrantha* para la base, *M. celtidifolia* para los recortes y *T. dominguensis* para la decoración tejida.

Figure 3. Examples of the different types and designs of amate paper made in the three stages identified: A) first stage: plain amate paper squares of natural color made with fibers of different species, mainly *Ficus* spp., B) second stage: squares made with different techniques of fretwork and trimming, made mainly with fibers of *T. dominguensis* or *T. micrantha* for the base and *M. celtidifolia* for the applications of cut paper, C) third stage: squares made with macramé techniques, fretwork, cut-outs, and with the applications of pieces embroidered with thread and beads, made mainly with *T. micrantha* fibers for the base, *M. celtidifolia* for the trimmings and *T. dominguensis* for the woven decoration.

DISCUSIÓN

Las interacciones entre los pueblos y su entorno se encuentran condicionadas por diversos factores y procesos sociales, económicos y ambientales (Alexiades, 2003). Entre estos, la mercantilización es uno de los procesos que ha impuesto y en muchos casos significado rupturas en cuanto a la apropiación de los recursos naturales con profundas transformaciones en los sistemas de conocimientos locales y en las poblaciones de los recursos naturales aprovechados (Toledo *et al.*, 2018). El manejo y uso de los recursos naturales no sucede de manera aislada ni permanecen estáticos en el tiempo, en la actualidad más que en ningún otro momento histórico, están siendo modificados o impactados de manera directa e indirecta por diversos factores (Alexiades, 2003, 2009), y esto sucede de manera determinante en el ámbito de las artesanías (Turok, 2006).

El caso del papel amate constituye un ejemplo de los cambios mencionados, uno de los efectos del incremento de la demanda se refleja en las prácticas de recolección y el estado de las especies utilizadas. Cruz *et al.* (2009) reconocen un patrón sobre las respuestas o estrategias que los artesanos realizan cuando la materia prima empieza a agotarse. En un primer momento los recursos son recolectados de sitios distantes, como ha ocurrido con los árboles de *Bursera glabrifolia* cuya madera la utilizan los artesanos de Arrazola and Tilcajete en Oaxaca para elaborar las figuras de madera llamadasalebrijes. Ante el éxito comercial y la necesidad de provisión de un volumen más amplio de madera, los artesanos tuvieron que iniciar su búsqueda y extracción en áreas a más de 100 km de los asentamientos (Peters *et al.*, 2003). En un siguiente momento, de acuerdo al patrón de uso de recursos naturales identificado por Cruz *et al.* (2009), los recursos naturales empleados se sustituyen con materias primas semejantes, tal es el caso de las piezas artesanales de madera en Dzityá en Yucatán en donde tradicionalmente los artesanos utilizaba guayacán, árbol amenazado de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, y cuyas poblaciones empezaron a disminuir, los artesanos optaron por utilizar maderas alternativas como el Chakté, Belsinanche, Chukum y Tzalam (Montejo Murillo, 2016). En un tercer momento, ante la escasez drástica de los recursos naturales, estos se sustituyen por materiales diferentes, pero de fácil acceso o provisión. Como ejemplo, el caso de las canastas y piezas tejidas originalmente con fibras vegetales sobre todo de palma (*Brahea dulcis*) en Guerrero. Ante su escasez las artesanas empezaron a sustituir las fibras naturales por fibras de rafia (Rojas Serrano *et al.*, 2010). Otro caso que nos permite visualizar cómo los artesanos integran nuevos materiales de manera diferenciada corresponde a los ayates, mantas de ixtle tradicionalmente elaboradas por los hñahñú del Valle del Mezquital, ahora sustituidas por bolsas elaboradas con fibras sintéticas, en tanto las fibras de maguey se reservan para elaborar objetos nuevos que tienen una mayor venta como aretes, collares, esponjas para el baño, entre otros (Soto Alarcón y Díaz Vázquez, 2020).

Las etapas arriba identificadas suelen desarrollarse de manera escalonada pero también puede ser cíclica, su duración puede variar, dependiendo la intensidad de recolección, la demanda, y las especies empleadas, sus formas de vida, tiempo de germinación, velocidad del crecimiento (Cruz *et al.*, 2009). En el caso del papel amate, los artesanos han experimentado e integrado cortezas de varios árboles tropicales, como son *S. aucuparium*, *S. oligoneuron*, *B. alicastrum* sin embargo, no son árboles de amplia distribución y crecimiento rápido como lo es *T. micrantha*. La búsqueda se amplió a especies como *U. caracasana* y *M. cordifolia*, de tipo urticante, las cuales solo se utilizaban cuando las artesanas y artesanos no se lograban proveer de ningún otro tipo de corteza (López Binnqüist, 2003). La incorporación de *T.*

micrantha permitió la continuidad de esta artesanía en un periodo que como explica Peters *et al.* (1987), la demanda aumentaba y los árboles de *Ficus* spp. en San Pablito y alrededor se habían agotado. Posteriormente se incorporó *T. dominguensis* que incluso es otro tipo fibra, con esta se complementó el uso de *T. micrantha*. La primera especie es un árbol característico de vegetación secundaria y la segunda es una herbácea perenne.

T. micrantha es un árbol pionero, de amplia distribución y crecimiento rápido, cuya corteza se recolecta de parches de vegetación secundaria y plantaciones de café bajo sombra en donde estos árboles son parte de la cobertura forestal. A diferencia de las otras especies empleadas es la única que se puede recolectar durante todo el año, sus fibras se ablandan con facilidad, y su precio es relativamente más bajo en comparación con la corteza de los árboles de *Ficus* spp. (López Binnqüist, 2003).

T. domingensis es una planta acuática que se recolecta del estado de Hidalgo. El tipo de papel obtenido es distinto al de corteza (coni), por lo cual la mayoría de los artesanos, al interior de su comunidad lo denominan papel de tule, sin embargo, para la venta lo venden como papel amate. En las entrevistas mencionaron que entre las ventajas de utilizar estas fibras son su bajo costo, durabilidad y facilidad de obtener cantidades amplias de este material a lo largo de todo un año.

En cuanto al conocimiento local sobre las técnicas de ablandamiento de las fibras, se identificó una diferencia significativa entre el porcentaje de artesanas y artesanos que conocen la técnica tradicional utilizando cal y ceniza y quienes realmente las ponen en práctica. Siendo las mujeres artesanas quienes principalmente conservan, aplican y salvaguardan el conocimiento y práctica del proceso de elaboración tradicional. Las mujeres como se ha identificado en varios casos mantienen un papel clave en los procesos de producción artesanales. Soto Alarcón y Díaz Vázquez (2020), invitan por ejemplo a comprender el caso de las mujeres artesanas que habitan en la región semidesértica en el Alto Mezquital, Hidalgo, en donde elaboran artesanías de fibra de maguey-duras (ixtle en hñahñu) y de lechuguilla (xithe en hñahñu), las cuales son el sustento de las familias que ahí habitan desde la Colonia. Las autoras mencionan que aunque la elaboración de textiles de ixtle y lechuguilla es una práctica de género anclada en la cultura de mujeres y hombres hñahñú, el conocimiento de la práctica completa es conocido exclusivamente por algunas mujeres de mayor edad. El conocimiento abarca el hilado, bordado, diseño y comercialización realizado exclusivamente por las mujeres, e integra los conocimientos campesinos sobre los tipos de magueyes más aptos para la fibra y el fomento del cuidado de las plantas locales. La transmisión de estas prácticas intersectadas por el género forman parte del conocimiento campesino y los conocimientos culturales y ambientales situados de las mujeres.

En cuanto a la innovación en los diseños, la incorporación de nuevos materiales, decoraciones y técnicas ha posibilitado la exploración y creación de diseños novedosos y, ha permitido la apertura de nuevos canales de comercialización. En San Pablito es sobre todo la juventud dedicada a esta actividad quienes han impulsado la innovación en los diseños, tipos de papeles y usos. En las últimas décadas, los jóvenes han sido los puentes vinculantes entre la comunidad de San Pablito y los consumidores y en general los interesados en esta artesanía. Barbosa Sánchez (2005) analiza cómo las comunidades artesanas en México y América Latina reelaboran sus tradiciones a través de su participación en el mercado. La autora explica que la habilidad de incorporar elementos foráneos y la renovación estética y utilitaria propia son parte de los procesos creativos locales y demuestran la capacidad de adaptación a las distintas circunstancias históricas y culturales. En la producción del papel amate lo anterior ha significado la reafirmación simbólica de la cultura e identidad de las artesanas y los artesanos hñahñú, enmarcada en la relación cultura-naturaleza que Toledo *et al.* (2018) analizan para las comunidades rurales e indígenas de México.

En suma, todo esto refleja los distintos aspectos, económicos, ambientales, culturales que se relacionan con el uso de las fibras de corteza y sus cambios a lo largo del tiempo. Entre estos, el valor económico que ha adquirido el papel amate en la comunidad de San Pablito y, la necesidad de continuar la búsqueda de nuevos nichos de mercado y lograr una producción sustentable; el valor cultural, al mantenerse la tradición de su elaboración para la venta y uso local y al reivindicar por este medio la identidad cultural hñahñú.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, se observa que la demanda alta que desde el inicio de su venta como artesanía ha tenido el papel amate (Torres, 1982; Amith, 1995) ha provocado cambios sobre las especies empleadas, las técnicas de manufactura y los diseños. Entre 1980 y 2000 se incorporaron siete especies, incluso *T. dominguensis* que no es un árbol tropical, dos plantas urticantes y *T. micrantha* que ha sido la de mayor uso en las últimas décadas. Sin embargo, este estudio también refleja que las artesanas y artesanos ya no conocen tres especies. Los conocimientos sobre la técnica tradicional de ablandamiento de las fibras, con cal y cenizas, la conservan e implementan sobre todo las mujeres; la mayoría utiliza sosa cáustica para lograr producir más papel en menos tiempo. La incorporación de distintas fibras ha significado retos, pero también ha impulsado la innovación en cuanto a los diseños y usos de los productos elaborados. Es importante realizar una actualización de este caso para lograr identificar los cambios y la forma en que estas continúan adaptándose a distintas circunstancias, la demanda, la distribución y densidad de las especies, los tiempos de producción, entre otros.

En general, la producción de artesanías en nuestro país es heterogénea, se distingue por la amplia diversidad de productos, formas de organización y de relaciones sociales que se establecen a lo largo de la cadena de producción, desde el suministro de la materia prima hasta la venta final. Sin embargo, un aspecto en común son los bajos precios de las artesanías frente a otros productos decorativos y utilitarios. Se requiere revalorar el trabajo artesanal y reconocer que las artesanías son una expresión de la relación que establecen las comunidades con su entorno.

En este sentido, consideramos que los estudios etnobotánicos y, en general los relacionados con los saberes sobre las especies de flora y fauna utilizados para la elaboración de artesanías deben de contribuir con la valorización de los saberes de las artesanas y los artesanos de México. La perspectiva de largo plazo e integrales, que consideren las dimensiones culturales, sociales, económicas y ambientales son clave para entender los cambios y transformaciones del proceso productivo artesanal. El caso del papel amate en particular, nos permite reconocer las distintas formas en las que se relacionan la adopción de los recursos naturales utilizados como materia prima, su transformación, las técnicas de manufactura y las innovaciones en los diseños.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las familias artesanas de la comunidad de San Pablito, Pahuatlán, Puebla. El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México otorgó la beca No. 27890 al M.C. Adolfo de Jesús Rebolledo Morales para realizar su Maestría en Ecología Tropical en el Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana. Nuestra gratitud al Fondo Nacional para el Fomento de las Artesanías, a la Fundación Overbrook y a la organización People and Plants International, por su apoyo y financiamiento otorgado a los proyectos en los cuales se enmarcó esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Alexiades, M. (2003). Ethnobotany in the Third Millennium: expectations and unresolved issues. *Delpinoa*(45), 15-28
- Alexiades, M. (2009). The Cultural and Economic Globalisation of Traditional Environmental Knowledge Systems. En S. Heckler (Ed.), *Landscape, Process and Power: Re-evaluating traditional environmental knowledge*. Estados Unidos: Berghahn. <https://www.berghahnbooks.com/title/HecklerLandscape>
- Amith, J. D. (1995). *La tradición del amate. Innovación y protesta en el arte mexicano. The amate tradition. Innovation and Dissent in Mexican Art*. (1 ed.). Estados Unidos - México Mexican Fine Arts Center Museum, La Casa de las Imágenes

- Arroyo Arriaga, O. (1993). El Papel de amate. *Artesanías de América*, 41(42), 268-285. doi: 0257-1625
- Barbosa Sánchez, A. (2005). Artesanías indígenas mexicanas: funciones económicas y culturales. *Cuadernos Americanos*, 191-211. https://rilzea.cialc.unam.mx/jspui/bitstream/CIALC-UNAM/A_CA555/2/CA113_191_211.pdf
- Carrasco Pizana, P. (1979). *Los Otomíes. Cultura e historia prehispánica de los pueblos mesoamericanos de habla otomiana* (edición facsimilar de la de 1950 ed.). México: Instituto de Historia - Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Antropología e Historia. https://historicas.unam.mx/publicaciones/publicadigital/libros/015/otomies_cultura.html
- Carvajal, S. (2007). Familia Moracea. Fascículo 147. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. México: Instituto de Ecología A.C., Conabio, Centro Regional del Bajío, Conacyt, Conabio. <https://libros.inecol.mx/index.php/FB/catalog/view/2007.147/127/740>
- Christensen, B. (1942). Notas sobre la fabricación del papel indígena y su empleo para “brujerías” en la Sierra Norte de Puebla, México. *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos, Sociedad Mexicana de Antropología*, 6(1-2), 109-124
- Christensen, B. (1963). Bark paper and witchcraft in Indian México. *Economic Botany* (17), 360-367. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02860145>
- Cruz Murueta, M., López Binnqüist, C., & Neyra González, L. (2009) (Eds.). *Artesanías y medio ambiente*. México: CONABIO, Fondo Nacional para el Fomento de las Artesanías FONART. <https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/ArtesaniayMedioAmb.pdf>
- D'Aubeterre Buznego, M. E., Rivermar Pérez, M. L., & Fagetti, A. (2013). Producción de papel amate y migración a estados unidos: los otomíes de San Pablito Pahuatlán, Puebla, México. *Iberoamerica*, 15(1), 271-312. https://www.lakis.or.kr/upload/userFile/2015/4/30/09-Maria_Eugenia_DAubeterre_Buznego_Produccion_de_papel_amate_y_migracion_a_estados_unidos3.pdf
- Díaz del Castillo, B. (1968). *Historia verdadera de la Conquista de la Nueva España*. Madrid: Espasa Calpe
- Fagetti, A., Rivermar, M., & D'Aubeterre, M. E. (2012). Migración transnacional y medicina tradicional. Otomíes de San Pablito, Pahuatlán, Puebla en Carolina del Norte. *Anales de Antropología*, 46, 203-224. doi.org/10.22201/ia.24486221e.2012.0.30947
- Galinier, J. (1987). *Pueblos de la Sierra madre: Etnografía de la comunidad otomí*. Vol. Colección Clásicos de la Antropología 17. México: Instituto Nacional Indigenista INI, Centro Francés de Estudios Mexicanos y Centroamericanos CEMCA. <https://doi.org/10.4000/books.cemca.2707>
- Gormsen, E. (1991). Artesanía, turismo e identidad regional en México. *Trace*, 20, 29-40.
- Ibarra-Manríquez, G., Cornejo-Tenorio, G., González-Castañeda, N., Piedra-Malagón, E. M., & Luna, A. (2012). El género *Ficus* (Moraceae) en México. *Botanical Sciences*, 90(4), 389-452. <https://doi.org/10.17129/botsci.472>
- Jiménez Ramírez, J., Martínez Gordillo, M., Cruz Durán, R., Juárez Arriaga, E., García, R., Cervantes, A., & Mejía Hernández, R. (2002). Los géneros de la familia Euphorbiaceae en México. *Anales del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*, 72(3), 155-281. <https://www.revistas.unam.mx/index.php/bot/article/view/1947>
- Lenz, H. (1969). El papel y sus supersticiones. *Artes de México. Mitos, Ritos y Hechicerías*, 16(124), 84-92.
- Lenz, H. (1973). *El papel indígena mexicano*. México: Secretaría de Educación Pública.
- López Binnqüist, C., Quintanar-Isaias, A., & Vander Meeren, M. (2012). Mexican bark paper: Evidence of history of tree species used and their fiber characteristics. *Economic Botany* (66), 138-148. <https://doi.org/10.2307/41494197>
- López Binnqüist, C. (2003). *The endurance of Mexican Amate Paper: Exploring Additional Dimensions to the Sustainable Development Concept*. Países Bajos: Twente University. https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/279526376/thesis_Lo
- Martin, G. (2004). *Ethnobotany: a methods manual. People and Plants, Conservation Series*. Reino Unido: Earthscan Publications. <https://doi.org/10.4324/9781849775854>
- Martínez, M., Evangelista, V., Basurto, F., Mendoza, M., & Cruz Rivas, A. (2007). Flora útil de los cafetales en la Sierra Nortes de Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, (78), 15-40. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2007.001.457>

Recibido:
20/julio/2023

Aceptado:
21/junio/2024

- Mártir de Anglería, P. (1944). *Décadas del Nuevo Mundo*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Bajel.
- Montejo Murillo, S. (2016). Análisis de la sustentabilidad en la actividad artesanal de madera de Dzityá. 21° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México. Mérida, Yucatán, México. Obtenido de <http://ru.iiec.unam.mx/3232/1/074-Montejo.pdf>
- Neyra González, L. J. (2013). *Análisis y perspectivas de la marca colectiva "Artesanía de papel amate P'ete-I San Pablito Pahuatlán": hacia una producción sustentable*. Tesis de Maestría. México: Universidad Iberoamericana Puebla. https://www.uv.mx/personal/cilopez/files/2010/09/Tesis-LucilaNeyra_2013.pdf
- Peters, C. M., Rosenthal, J., & Urbina, T. (1987). Otomi bark paper in Mexico Commercialization of a pre-hispanic technology. *Economic Botany* (41), 423–432. <https://doi.org/10.1007/BF02859061>
- Peters, C. M., Purata, S. E., Chibnik, M., Brosi, B. J., López, A. M., & Ambrosio, M. (2003). The life and times of *Bursera glabrifolia* (HBK) Engl. in Mexico: A parable for ethnobotany. *Economic Botany*, 57(4), 431-441. [https://doi.org/10.1663/00130001\(2003\)057\[0431:NBRLGF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/00130001(2003)057[0431:NBRLGF]2.0.CO;2)
- Ramos Maza, T. (2004). Artesanas y artesanías: indígenas y mestizas de Chiapas construyendo Espacios de cambio. *Liminar. Estudios sociales y humanísticos*, 2(1), 50-71. <https://liminar.cesmecha.mx/index.php/r1/article/view/143/127>
- Rebolledo-Morales, A. (2012). *Estado actual del conocimiento tradicional sobre los recursos Biológicos empleados en la producción de papel amate en la comunidad de San Pablito, Pahuatlán, Puebla*. Tesis de Maestría. México: Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana. <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/46383>
- Rojas Serrano, C., Martínez Corona, B., Ocampo Fletes, I., & Cruz Rodríguez, J. A. (2010). Artesanas mixtecas, estrategias de reproducción y cambio. *La ventana. Revista de estudios de género*, 4(31), 101-138. <https://doi.org/10.32870/lv.v4i31.950>
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (1ra. Edición digital ed.). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf
- Sahagún, F. (1974). *Primeros Memoriales*. Colección Científica Histórica 16. México: Secretaría de Educación Pública, Instituto Nacional de Antropología e Historia
- Soto Alarcón, M. & Díaz Vázquez, R. (2020). El trabajo de mujeres artesanas en el México rural y el enfoque de las economías comunitarias. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Sociales y Humanísticas*, 9(18), 110-129. <https://doi.org/10.23913/ricsh.v9i18.215>
- Standley, P. C. (1923). *Trees and shrubs of Mexico (Oxalidaceae-Turneraceae)*. Contributions from the United States National Herbarium (Vol. 23). Estados Unidos: Smithsonian Institution, United States National Museum. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.15726>
- Toledo, V. M., Barrera-Bassols, N., & Alarcón-Cháires, P. (2018). *Etnoecología Mesoamericana. Antología de publicaciones 1980-2018*. México: Red Temática sobre Patrimonio Biocultural, Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.researchgate.net/profile/Narciso-BarreraBassols/publication/327050859_ETNOECOLOGIA_MESOAMERICANA_MESOAMERICAN_ETHNOECOLOGY/links/5b74fecba6fdcc87df803f62/ETNOECOLOGY-MESOAMERICANA-MESOAMERICAN-ETHNOECOLOGY.pdf
- Torres, B. (1982). El papel del amate, historia y significado. En *El Universo del Amate*. (págs. 13-29) México: Museo Nacional de Culturas Populares, Cultura SEP
- Turok, M. (2006). *Medio ambiente y producción artesanal: contexto y experiencias*. Veracruz: Consejo Veracruzano de Arte Popular COVAP. <https://www.revistas.unam.mx/index.php/bot/article/view/1947ularCOVAP>
- Voigtlander, K., Echegoyen, A. & Bar-tholomew, E. (Compiladoras). (2007). *Diccionario yuhú. Otomí de la Sierra Madre Oriental, estados de Hidalgo, Puebla, Veracruz*. Versión preliminar. México: Instituto Lingüístico de Verano. https://www.sil.org/system/files/repadata/12/97/23/129723167092586397405977212363100736000/otm_Diccionario_bilingue.pdf

ESPECIES VEGETALES CONOCIDAS COMO CAMORREAL EN SAN PEDRO EL ALTO, OAXACA, MÉXICO

PLANT SPECIES KNOWN AS CAMORREAL IN SAN PEDRO EL ALTO, OAXACA, MEXICO

Pérez-Luis, Josefa Itzel; Gisela Virginia Campos-Ángeles; Valentín José Reyes-Hernández; Gerardo Rodríguez-Ortiz; Mireya Burgos-Hernández y José Raymundo Enríquez del Valle

ESPECIES VEGETALES CONOCIDAS COMO CAMORREAL EN SAN PEDRO EL ALTO, OAXACA, MÉXICO

PLANT SPECIES KNOWN AS CAMORREAL IN SAN PEDRO EL ALTO, OAXACA, MEXICO



Especies vegetales conocidas como camorreal en San Pedro El Alto, Oaxaca, México

Plant species known as camorreal in San Pedro El Alto, Oaxaca, Mexico

Josefa Itzel Pérez-Luis <https://orcid.org/0000-0002-1386-1809>

Tesista del Programa de Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas

Gisela Virginia Campos-Ángeles

Autor de correspondencia: gisela.ca@voaxaca.tecnm.mx

<http://orcid.org/0000-0003-2258-7124>

TecNM/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). División de Estudios de Posgrado e Investigación. Xoxocotlán, Oaxaca, México

Valentín José Reyes-Hernández <http://orcid.org/0000-0002-1804-412X>

Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo.

Texcoco, Estado de México, México

Gerardo Rodríguez-Ortiz <http://orcid.org/0000-0003-0963-8046>

TecNM/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). División de Estudios de Posgrado e Investigación. Xoxocotlán, Oaxaca, México

Mireya Burgos-Hernández <http://orcid.org/0000-0003-3036-297X>

Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo

Texcoco Estado de México, México

José Raymundo Enríquez del Valle <http://orcid.org/0000-0002-7700-3790>

TecNM/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). División de Estudios de Posgrado e Investigación. Xoxocotlán, Oaxaca, México

Josefa Itzel Pérez-Luis,
Gisela Virginia Campos-Ángeles,
Valentín José Reyes-Hernández,
Gerardo Rodríguez-Ortiz,
Mireya Burgos-Hernández y
José Raymundo Enríquez del
Valle

ESPECIES VEGETALES
CONOCIDAS COMO
CAMORREAL EN SAN
PEDRO EL ALTO, OAXACA

PLANT SPECIES KNOWN
AS CAMORREAL IN SAN
PEDRO EL ALTO, OAXACA

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58 251-264. Julio 2024

DOI:

10.18387/polibotanica.58.18

RESUMEN: San Pedro El Alto es una comunidad que pertenece a la etnia zapoteca que cuenta con una gran riqueza biológica, en donde sus pobladores poseen bastos conocimientos etnobotánicos y etnomedicinales. Por lo que el objetivo del estudio fue establecer la identidad y la naturaleza de los usos dados a las diferentes plantas conocidas localmente como camorreal. Se localizaron los sitios de crecimiento y el tipo de vegetación en donde se encuentran de forma natural. Se realizaron colectas botánicas de las especies a las que los pobladores llaman camorreal de forma indistinta, que se identificaron en el Herbario-Hortorio CHAPA del Colegio de Postgraduados, México. Además, se realizaron entrevistas semiestructuradas a 62 personas de la comunidad, para documentar la forma en que son aprovechadas y los criterios que usan para diferenciarlas. Como resultado se estableció la identidad botánica de cinco especies de camorreal: *Asclepias circinalis* (Decne.) Woodson, *Asclepias melantha* Decne, *Iostephane trilobata* Hemsl, *Lobelia hartwegii* Benth. ex A.DC y *Psacalium paucicapitatum* (B.L.Rob. & Greenm.) H.Rob. & Brettell, todas asociadas a la vegetación pino-encino; todas con uso medicinal, de ellas, *Lobelia hartwegii* Benth. ex A.DC es la especie más importante con uso local para los pobladores de la comunidad.

Palabras clave: Identidad botánica, plantas medicinales, conocimiento tradicional, valor de uso.

ABSTRACT: San Pedro El Alto is a community that belongs to the Zapotec ethnic group and has a great biological richness; its inhabitants have knowledge about the use of medicinal plants. The aim was establishing the identity and nature of the uses given to the different plants known locally as camorreal. The growth sites and the type of vegetation where they are found naturally were located. Botanical collections

were made of the species that the villagers call camorreal indistinctly, which were identified in the CHAPA Herbarium-Hortory of the Colegio de Postgraduados, Mexico. In addition, semi-structured interviews were conducted with 62 people from the community to document the way in which they are used and the criteria they use to differentiate them. As a result, the botanical identity of five species of camorreal was established: *Asclepias circinalis* (Decne.) Woodson, *Asclepias melantha* Decne, *Iostephane trilobata* Hemsl, *Lobelia hartwegii* Benth. ex A.DC and *Psacalium paucicapitatum* (B.L.Rob. & Greenm.) H.Rob. & Brettell, all associated with the pine-oak vegetation; all with medicinal use, of which *Lobelia hartwegii* Benth. ex A.DC is the most important species with local use for the inhabitants of the community.

Key words: Botanical identity, medicinal plants, traditional knowledge, use value.

INTRODUCCIÓN

La biodiversidad favorece el sustento y desempeña un papel importante en el bienestar de la población mundial (Sen & Samanta, 2014). Desde la antigüedad, los humanos han utilizado plantas medicinales para tratar padecimientos (Sharma & Sarkar, 2013), en México existe una amplia historia del desarrollo de la etnomedicina, lo que se demuestra en el Códice de la Cruz-Badiano donde se ilustran y explican algunos métodos de curación, (INAH, 2023). Así los saberes locales se han convertido en un sólido conocimiento tradicional sobre el uso de diferentes especies vegetales a partir del conocimiento empírico que se hereda de generación en generación. Lo anterior significa un valor intangible para las comunidades que les permite satisfacer sus necesidades de salud aprovechando sus recursos nativos (Atriano & Benito, 2021).

Según la OMS, (2023) de los 194 países que existen en el mundo el 87.62% (170) hacen uso de la medicina tradicional como primera línea de atención a la salud para el bienestar de la población. También ha reportado que el 90 % de la población mundial ha utilizado alguna vez las plantas medicinales (OMS, 2013). En México la Secretaría de Salud señala que el 90% de la población ha hecho uso de la medicina tradicional (SADER, 2022). En el país se distribuyen aproximadamente 30 000, especies de plantas vasculares, de éstas 23 314 se consideran nativas y 11 578 de ellas son endémicas (Villaseñor, 2016). De las cuales 4 500 tienen atributos medicinales (Muñetón Pérez, 2009; SEMARNAT, 2021). 3 000 están registradas de manera formal en el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2023) de las que, 1 302 se encuentran en Oaxaca (Cruz Pérez *et al.*, 2021).

En México la importancia del uso de plantas medicinales radica en la riqueza del conocimiento que conservan las etnias (etnomedicina), el estado de Oaxaca está habitado por 19 etnias y todas ellas hacen uso de las plantas medicinales (Cruz Pérez *et al.*, 2021), la importancia de su uso está en proveer alternativas de subsistencia en salud y economía, por ello es relevante generar documentos científicos donde se plasmen los conocimientos empíricos tradicionales para su conservación (Martínez-López *et al.*, 2021).

La identificación taxonómica de las plantas medicinales garantiza que la especie que se utiliza sea la correcta, para evitar confusiones. Al utilizar los nombres científicos se establece una clara comunicación entre médicos, herbolarios e investigadores (Maldonado *et al.*, 2020). La localidad de San Pedro El Alto, se encuentra en la zona montañosa que divide a la Sierra Sur de los Valles Centrales del estado de Oaxaca, sus habitantes pertenecen a la etnia zapoteca. Como muchas otras comunidades indígenas ésta, posee conocimientos ancestrales del uso de su flora, en especial de las plantas medicinales que se encuentran en su territorio. Un caso especial son diferentes especies a las que los pobladores les llaman camorreal de forma indistinta, pero que identifican perfectamente por sus diferencias morfológicas y sus usos, las características comunes son su alto grado de efectividad para tratar diferentes padecimientos y que de todas ellas se utiliza la raíz, es probable que a eso se deba el nombre común. Por lo que el objetivo del estudio fue establecer la identidad y la naturaleza de las plantas conocidas localmente como camorreal; así como los usos etnomedicinales, que le dan dentro de la comunidad. Debido a que la medicina tradicional es parte del patrimonio

biocultural y un factor de identidad de los pueblos; de su acervo de información, de recursos y prácticas para su desarrollo y bienestar (Alonso-Castro *et al.*, 2017).

MATERIALES Y MÉTODOS

Comunidad de estudio

El estudio se realizó durante el periodo de lluvias (julio y agosto del año 2022) en áreas bajo manejo forestal de la comunidad de San Pedro El Alto, Zimatlán de Álvarez, Oaxaca. En las coordenadas 16° 34' 58" a 16° 49' 58" de latitud y 97° 00' 36" a 97° 13' 20" de longitud. En donde la precipitación media anual es de 1 500 mm, con una temperatura media anual de 18°C, el clima que predomina es templado subhúmedo con lluvias en verano C (w) (i) (García, 2004), y una altitud que va de 1 900 a 2 800 m.

En la localidad de San Pedro El Alto se encuentran cinco tipos de vegetación, bosques de pino, bosques de encino, bosques de pino-encino, bosques de encino-pino y selva baja caducifolia (SmartWood, 2006), en cada una de ellas se encuentran diferentes asociaciones vegetales, en las que se pueden localizar los géneros: *Pinus* (*Pinus patula*, *Pinus pringleii*, *Pinus montezumae*, *Pinus teocote* y *Pinus douglasiana*) y *Quercus* (*Quercus crassifolia*, *Quercus magnoliifolia*, *Quercus rugosa*), en ellas, se concentran las plantas conocidas como camorreal, en las que se identificaron cinco especies: *Asclepias circinalis* (Decne.) Woodson, *Asclepias melantha* Decne, *Iostephane trilobata* Hemsl, *Lobelia hartwegii* Benth. ex A. DC y *Psacalium paucicapitatum* (B.L.Rob. & Greenm.) H.Rob. & Brettell.

Obtención de información etnobotánica

Por otra parte, se realizaron 62 entrevistas semiestructuradas, utilizando la técnica de “bola de nieve” (Goodman, 1961), la cual inició con informantes clave de la tercera edad ya que por su experiencia son quienes poseen mayor conocimiento del uso medicinal de las plantas. Los informantes de mayor edad tenían 80 años, mientras que los menores 18. En total se entrevistó a 33 mujeres y 29 hombres. La información recabada permitió establecer los nombres locales de las especies; la parte, la forma, la frecuencia y los usos específicos de cada una de ellas en caso de existir. Además de los lugares en donde pueden ser colectadas.

Colecta del material vegetal

Una vez que se identificaron los lugares donde se localizan las especies, se establecieron seis sitios circulares de 15 m², y se registró información como lo es exposición, altitud, textura y uso actual del suelo, donde en un solo sitio se encontró asociación de dos especies de camorreal, y en los demás solo existía la presencia de una especie. se acudió a ellos entre los meses de agosto a octubre. Hasta localizarlos y coleccionar individuos completos cuidando que presentaran flores de cada especie se herborizaron tres ejemplares que fueron procesados y depositados en el Herbario-Hortorio CHAPA del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Para su identificación se utilizaron las claves taxonómicas; Flora Fanerogámica del Valle de México (Rzedowski & Rzedowski, 2005), Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Juárez-Jaimes & Lozada, 2003; Reyes-Martínez & Medina-Lemos R, 2021) y la Flora de Veracruz (Senterre & Castillo-Campos, 2009).

Análisis de datos

Con la información obtenida se estimó el Índice de Valor cultural (IC), propuesto por (González-Insuasti & Caballero, 2007) y modificada por (Blancas *et al.*, 2013), lo cual permite determinar el valor cultural de cada especie. El índice de valor de uso (IVUs) (Phillips, 1996), y por último el Uso Significativo Tramit (UST) metodología propuesta por (Germosén-Robineau, 1995).

RESULTADOS

Botánica y ecología

Asclepias circinalis (Decne.) Woodson: Es una hierba, que pertenece a la familia Apocynaceae, cuenta con un tallo glabro, de 10 a 15 cm de altura, con hojas opuestas y lineares, las láminas son de 5 a 9 cm de largo y 0.3 a 0.5 mm de ancho, la inflorescencia se presenta en forma de umbela con flores moradas, muestra látex color blanco y raíz tuberosa. En la Figura 1 se puede apreciar a esta especie en estado joven en su habitat natural. Su floración es de julio a agosto. Se localizó en un rango de altitud que va de 2 200 a 2 800 m en lugares donde el suelo está protegido de una capa densa de ocoxal. Crece en los bosques de coníferas y encinos, bosque tropical caducifolio, y en matorral xerófilo. Se asocia con *Pinus montezumae* y *Pinus ayacahuite*. En México solamente se cuentan con 27 registros, y se encuentra en la categoría de riesgo de preocupación menor (Juárez-Jaimes *et al.*, 2022). Esta especie se distribuye de manera natural en los estados de Guerrero, Michoacán, Puebla y Oaxaca.



Figura 1. Individuo en estado joven de *Asclepias circinalis* (Decne.) Woodson.

Figure 1. Young individual of *Asclepias circinalis* (Decne.) Woodson.

Esta especie, cuenta con solo una sinonimia reportada en el listado de Plants of the World Online (*Acerates circinalis* Decne), En la comunidad de estudio se conoce como camorreal aunque no existen reportes formales de su uso y nombres locales, en el Herbario Nacional de México (MEXU) se cuenta con una colección de 22 ejemplares, de las cuales 17 han sido colectados en el estado de Oaxaca. Las condiciones de los municipios donde se ha colectado son similares a las de San Pedro El Alto. Es importante recalcar que en la colección del MEXU se encuentra un ejemplar que fue colectado en la comunidad de estudio. Aunque la mayoría de las colectas de esta especie han sido en bosques de pino y encino, llama la atención que existe un registro en zonas áridas, específicamente en municipio de Tehuacán. Esta planta aún no cuenta con algún otro registro de tipo medicinal.

Asclepias melantha Decne: es una hierba anual, que pertenece a la familia Apocynaceae, con tallos pubescentes y erectos que pueden llegar a medir de 60 a 100 cm, hojas opuestas, pecioladas; peciolo de 0.5 a 1.5 cm de largo tiene ápices agudos, base obtusa. Inflorescencia en forma de umbela, con flores color marrón, cáliz lobulado, capuchones de 1 cm de largo, lineares y lanceolados, raíz tuberosa. En la Figura 2 se puede apreciar a esta especie en estado maduro con presencia de flores en su habitat natural. Su floración es en el mes de julio. Se encuentra a una altitud de 2 300 a 2 700 m. Esta especie solo cuenta con reportes de distribución en el estado de Oaxaca, crece en bosques de coníferas y encinos, bosques

mesófilos de montaña. En México cuenta con solo 17 registros, todos en el estado de Oaxaca, la categoría de riesgo en la que se encuentra es de preocupación menor (Juárez-Jaimes *et al.*, 2022).

La especie referida, cuenta con dos sinonimias reportadas en el listado de Plants of the World Online (*Asclepias laxiflora* (Benth) Decne y *Otaria laxiflora* Benth), en la comunidad de estudio se le conoce como camorreal de conejo, no existen reportes formales de sus usos y nombres locales, fue localizada por su sinonimia (*Asclepias laxiflora*), con registros de distribución en la Región Sierra Sur y Sierra Norte del estado, donde los tipos de vegetación son muy similares. Es importante señalar que el (MEXU) cuenta con un ejemplar que fue colectado en la comunidad de estudio en el año 2000, aunque esta especie no cuenta con reportes previos con fines medicinales.



Figura 2. *Asclepias melantha* Decne en estado de floración.
Figure 2. *Asclepias melantha* Decne in flowering stage.

Iostephane trilobata Hemsl: es una hierba perenne, pertenece a la familia Asteraceae, presenta tallos anuales, hojas alternas, arrosietadas, lanceoladas a ovadas, láminas de 5 a 15 cm de largo y de 3 a 6 cm de ancho. Inflorescencia en forma de cabezuelas, pedúnculos de 10 a 25 cm, corola amarilla, raíz tuberosa. En la Figura 3 se puede apreciar a esta especie en estado maduro con presencia de flores en su habitat natural, su floración es de julio a noviembre, crece en los bosques de pino-encino y selvas bajas caducifolias, en altitudes de 1 800 a 2 500 m, está planta es reportada como nativa de México, y su distribución va del centro al sureste y suroeste del país, la categoría de riesgo es de preocupación menor.

De acuerdo con (Martínez, 2018) es endémica de México, se distribuye de forma abundante en los estados de Chiapas, México, Michoacán y Oaxaca, en el estado se localiza en la Sierra Norte, Sierra Sur, Mixteca, y Valles centrales, es importante mencionar que ha sido colectada y asociada a la vegetación de bosques de pino y encino, y bosques mesófilos de montaña. Para identificarla han sido usadas tres sinonimias (*Echinacea chrysantha* Sch.Bip, *Gymnolomia scaposa* Brandegees, *Rudbeckia chrysantha* Klatt), en la comunidad de estudio se le conoce como “camote manzo”, mientras que en la comunidad de San Pablo Cuatro Venados del mismo estado la nombran “camote de quebradura” (Martínez-López *et al.*, 2021), en donde de forma reciente fue también fue reportado su uso medicinal.



Figura 3. *Iostephane trilobata* Hemsl en etapa de floración.

Figure 3. *Iostephane trilobata* Hemsl at flowering stage.

Lobelia hartwegii Benth. ex A.DC: es una hierba anual, pertenece a la familia Campanulaceae presenta tallos de 30 a 70 cm de alto, con tallos delgados, erectos y pubescentes. Hojas con láminas de 3 a 7 cm de largo, 1 a 2 cm de ancho, ápice agudo, margen aserrado, inflorescencias en racimos, pedúnculos de 10 a 20 cm de largo, pedicelos de 3 a 5 mm de largo, cáliz con lóbulos lineares, colora de color morado, tubo de 10 mm de largo, presenta un lóbulo de labio superior, ovario ínfero. En la Figura 4 se puede apreciar a esta especie en estado maduro con presencia de flores en su habitat natural su floración es en el mes de octubre. Se encuentra en altitudes de 1 500 a 2 500 m, es importante resaltar que se localiza en taludes, está planta se reporta como nativa de México, y su distribución va del centro al sureste y suroeste del país, su categoría de riesgo es de preocupación menor.

En la comunidad de estudio se le conoce como camorreal de venado. Ésta, cuenta con una sola sinonimia *Dortmanna hartwegii* (Benth. ex A.DC.) Kuntze. No existen reportes formales de sus usos y nombres locales, a pesar de su amplia distribución en los estados de Nayarit, Jalisco y Oaxaca, esta planta tiene como característica importante que crece en los taludes, en Oaxaca se ha reportado en la región Sierra Sur y Mixteca, es importante mencionar que antes de este estudio no se ha reportado su uso medicinal.



Figura 4. *Lobelia hartwegii* Benth. ex A.DC, lado izquierdo en estado joven, a lado derecho en floración.
Figure 4. *Lobelia hartwegii* Benth. ex A.DC, left side when young, to right side when flowering.

Psacalium paucicapitatum (B.L.Rob. & Greenm.) H.Rob. & Brettell: se trata de una hierba perenne que habita en los bosques de pino y encino, su floración y fructificación se presenta de junio a noviembre, y crece en altitudes que van de los 1800 a 2800 m. Los tallos se presentan anuales, erectos y estriados. Las hojas están en una disposición arrosetada de 3 a 7, peltadas, los peciolo son de 6 a 20 cm de largo, sus láminas son de 15 a 25 cm de largo y de 8-18 cm de ancho, envés lanoso, además de presentar inflorescencia en forma de cabezuelas. En la Figura 5 se puede apreciar a esta especie en estado maduro con presencia de flores en su habiada natural.

Está hierba, que pertenece a la familia Asteraceae, es endémica de Oaxaca. Ha sido colectada antes de este estudio en la región de la Mixteca (MEXU), en donde algunas de sus partes boscosas características que comparten con los bosques de San Pedro El Alto donde fue localizada. En la comunidad de estudio se le conoce como camorreal de cebolla, esta planta ha sido reportada con algún uso medicinal en tres comunidades en donde a su vez, le dan un nombre común diferente, de ahí la importancia de determinar su identidad botánica. En Ayoquezco de Aldama se conoce como camorreal blanco (Arrazola-Guendulay *et al.*, 2018); en San Pablo Cuatro Venados como “tamorreal blanco” (G. Martínez-López *et al.*, 2021); mientras que, en Ixtlán de Juárez se le llama camote de venado; mientras que en la comunidad de estudio es conocido como camorreal de cebolla o por la forma redonda de la raíz.



Figura 5. *Psacalium paucicapitatum* (B.L.Rob. & Greenm.) H.Rob. & Brettell en estado adulto, presenta floración.
Figure 5. *Psacalium paucicapitatum* (B.L.Rob. & Greenm.) H.Rob. & Brettell in adult stage, showing flowering.

Usos medicinales locales

La documentación de los usos locales es importante ya que una especie puede tener varios, las personas de la comunidad tienen diferentes criterios para ir a colectar las plantas de camorreal, una de las principales es la forma de la hoja, esto define que planta van a colectar porque como se muestra en las figuras anteriores las hojas tienen diferente tipo en su morfología.

Asclepias circinalis (Decne.) Woodson: esta planta es utilizada para acelerar la cicatrización de las heridas, para prevenir las infecciones y para disminuir el dolor, de acuerdo con las entrevistas las personas señalaron que la raíz de la planta solo se come cruda (masticado) o en té (se pone a hervir 500 ml de agua y se le coloca la mitad de la raíz ya que es de tamaño grande aproximadamente de 10 a 15 cm).

Asclepias melantha Decne: esta especie es utilizada para los malestares del estómago y para acelerar la cicatrización de las heridas, la parte que se utiliza es solo la raíz, se consume masticado y en té (se pone a hervir 500 ml de agua y se le coloca solo la cuarta parte de la raíz ya que es de tamaño grande aproximadamente de 10 a 15 cm).

Iostephane trilobata Hemsl: esta especie es usada para disminuir el dolor por fractura de huesos por su acción analgésica y para acelerar el proceso de recuperación, los usuarios refieren que ayuda a “pegar” los huesos. Las personas de la comunidad mencionan que se realiza una maceración con grasa de res, se inicia calentando el cebo de res y se le coloca solo la raíz triturada, se empieza a mezclar hasta que llegue a una consistencia cremosa, deja enfriar un poco y se coloca en la parte donde se encuentra la fractura, y se venda.

Lobelia hartwegii Benth. ex A.DC: es la especie con mayor demanda local ya que de acuerdo con las entrevistas es la especie más citada en su uso y por lo que conlleva a ser la más extraída de su medio silvestre, es utilizada para acelerar la cicatrización de las heridas evitar que se infecten y para disminuir la inflamación. La parte que se utiliza es la raíz. Es la única especie que se comercializa en la localidad de estudio, se venden de 10 a 15 plantas, a un precio aproximado de \$ 50.00 a \$ 60.00 (cincuenta pesos 00/100 MXN a sesenta pesos 00/100 MXN)

Psacalium paucicapitatum (B.L.Rob. & Greenm.) H.Rob. & Brettell: esta especie se utiliza para aliviar dolores por fractura, control de cáncer, control de diabetes, dolor de estómago, cerrar heridas rápidamente y aliviar malestares de la gripe, la parte de la planta que se utiliza

es la raíz dependiendo del malestar los pobladores utilizan diferentes formas de preparación (decocción, pulverización, o solo masticado).

Cuadro 1. Uso de las plantas de camorreal en San Pedro El Alto.

Table 1. Use of camorreal plants in San Pedro El Alto.

Nombre científico	Familia	Nombre local	Usos	Forma de uso
<i>Asclepias circinalis</i> (Decne.) Woodson	Apocynaceae	camorreal	Analgésico Antiséptico Antiinflamatorio Cicatrizante	Té Crudo (comer masticado)
<i>Asclepias melantha</i> Decne	Apocynaceae	Camorreal de conejo	Cicatrizante Purgante	Té Crudo (comer masticado)
<i>Iostephane trilobata</i> Hemsl	Asteraceae	Camorreal de Camote manzo	Pegar huesos	Maceración con grasa de res
<i>Lobelia hartwegii</i> Benth. ex A.DC	Campanulaceae	Camorreal de venado	Analgésico Antiséptico Antiinflamatorio Cicatrizante	Té Crudo (comer masticado)
<i>Psacalium paucicapitatum</i> (B.L.Rob. & Greenm.) H.Rob. & Brettell	Asteraceae	Camorreal de cebolla	Analgésico Antiséptico Antiinflamatorio Cicatrizante Control de glucosa Antigripal	Té Crudo (comer masticado)

Cuadro 2. Especies de camorreal con diferentes índices de valor.

Table 2. Camorreal species with different value indexes.

Especie	Edad útil	Abundancia	UST	IVUs	IC
<i>Asclepias circinalis</i> (Decne.) Woodson	2	3	41.94	0.42	0.52
<i>Asclepias melantha</i> Decne	3	3	11.29	0.11	0.14
<i>Iostephane trilobata</i> Hemsl	3	4	30.65	0.31	0.38
<i>Lobelia hartwegii</i> Benth. ex A.DC	3	3	100.00	1.00	1.24
<i>Psacalium paucicapitatum</i> (B.L.Rob. & Greenm.) H.Rob. & Brettell	2	4	82.26	0.82	1.02

Edad útil: 1= tierna 2= madura, 3= ambos, Abundancia: 1= rara, 2= escasa, 3= abundante, 4= muy abundante. Useful age: 1= tender 2= mature, 3= both, Abundance: 1= rare, 2= scarce, 3= abundant, 4= very abundant.

En el cuadro 2 se muestran los diferentes índices de valor de importancia para las cinco especies de camorreal, El Uso Significativo Tramit nos muestra que la especie *Lobelia hartwegii* Benth. ex A.D y *Psacalium paucicapitatum* (B.L.Rob. & Greenm.) H.Rob. & Brettell, tienen los valores más altos, ya que fueron las especies con mayor frecuencia de uso. El Índice de valor de uso, destaca la especie *Iostephane trilobata* Hemsl, con un valor de 1.00, esto estuvo determinado por el número de mención de las personas entrevistadas.

En el Índice de valor cultural se encuentra la especie *Lobelia hartwegii* Benth. ex A.DC, con un valor de 1.24, esto a ser una especie muy utilizada por los pobladores de la comunidad.

La especie más abundante es *Iostephane trilobata* Hemsl, su disponibilidad es accesibles, y sus colonias que forman son muy abundantes, todas las especies camorreal son silvestres por ello las personas se ven en la necesidad de salir a buscarlas al bosque.

DISCUSIÓN

Es importante señalar que el conocimiento en el uso de plantas medicinales es muy amplio ya que curan diversas enfermedades y se obtienen buenos resultados, de acuerdo con Lara Reimers *et al.*, (2018) menciona que las hierbas son la primera alternativa más confiable y a menos costo y lo más importante sin efectos colaterales. En el caso de San Pedro El Alto, el conocimiento se conserva de generación en generación y cabe mencionar que las cinco especies denominadas como camorreal se usan de forma cotidiana, por lo que dicho conocimiento es de dominio público y es parte importante de sus usos y costumbres comunitarias, por lo que constituye su acervo etnomedicinal.

La especie con mayor uso es *Lobelia hartwegii* Benth. ex A.DC, en los diferentes índices calculados se demuestra la importancia de esta especie en la comunidad, el 100% de los entrevistados hacen mención al utilizar esta planta, ya que se mencionaban que es la planta más efectiva para aliviar o sanar sus malestares. Los resultados también nos mostraron que el valor de uso de la especie *Asclepias melantha* Decne, se encuentra en los valores más bajo, lo cual ponen el riesgo el conocimiento local.

De todas las especies citadas la parte de la planta que se utiliza es la raíz, a diferencia de la mayoría de estudios etnobotánicos donde se demuestra que la parte más utilizada son las hojas, flores y tallos (Castillo-Hernández & Flores-Olvera, 2017), de igual manera Martínez-López *et al.*, (2022) en su investigación menciona que la estructura de la planta con mayores usos son las hojas (individuales o en ramas). Manzanero-Medina *et al.*, (2009) reporta el uso local de siete especies donde la parte que se utiliza es la raíz, sin embargo, existe evidencia de estudios fitoquímicos de raíces medicinales.

Para el género *Asclepias* en México de acuerdo a Fernández *et al.*, 2008, reporta que 14 especies tiene uso medicinal, los principales usos que le dan son: purgante, dermatológico, analgésico y afecciones respiratorias, en su investigación cita a la especie *A. hypoleuca* (A. Gray) Woodson, que su nombre actual es *Asclepias melantha* Decne.

En el género *Psacalium*, se reportan diversas especies como medicinales, para la especie *Psacalium paucicapitatum* (B.L.Rob. & Greenm.) H.Rob. & Brettell, se reportan tan solo dos investigaciones donde señalan el uso medicinal de la especie antes mencionada, sin embargo (Jasso de Rodríguez *et al.*, 2017), realizaron una investigación donde comprueban que especie tiene actividad antibacteriana, y lo recomiendan que puede ser una alternativa para un nuevo fármaco antibacteriano. (Jiménez-Estrada *et al.*, 2021), menciona que la especie *Psacalium decompositum*, que tiene efectos hipoglucemiantes, antiinflamatorios y antioxidantes (Juárez-Vázquez *et al.*, 2013), señala que la especie *Psacalium peltatum*, tiene actividad inmunoestimuladoras lo que significa que puede ser el tratamiento a enfermedades infecciosas.

El género *Iostephane*, tiene diversos reportes con uso medicinal, en especial la especie *Iostephane heterophylla*, lo cual Navarrete-Carriola *et al.*, (2024) señala que tiene actividad antimicrobiana y citotóxica.

CONCLUSIONES

En la comunidad de San Pedro El Alto se identificaron cinco especies a las que comúnmente se le llama camorreal en forma indistinta, *Asclepias circinalis* (Decne.) Woodson, *Asclepias melantha* Decne, *Iostephane trilobata* Hemsl, *Lobelia hartwegii* Benth. ex A.DC y *Psacalium paucicapitatum* (B.L.Rob. & Greenm.) H.Rob. & Brettell. Todas ellas, se desarrollan en zonas con vegetación de pino-encino. Es la primera vez que las especies *Asclepias circinalis* (Decne.) Woodson, *Asclepias melantha* Decne y *Lobelia hartwegii* Benth. ex A.DC, son reportadas como plantas medicinales y se consideran como parte importante del acervo etnomedicinal de la comunidad. La identificación taxonómica de las especies es de suma importancia ya que evita confusiones y en el caso particular de las plantas medicinales puede evitar graves accidentes.

AGRADECIMIENTOS

A la comunidad de San Pedro El Alto por permitir realizar la investigación y a la Dirección técnica Forestal, por el acompañamiento a las salidas de campo. Al M. C. Ricardo Vega por el apoyo en la identificación botánica.

LITERATURA CITADA

- Alonso-Castro, A. J., Zapata-Morales, J. R., Ruiz-Padilla, A. J., Solorio-Alvarado, C. R., Rangel-Velázquez, J. E., Cruz-Jiménez, G., Orozco-Castellanos, L. M., Domínguez, F., Maldonado-Miranda, J. J., Carranza-Álvarez, C., Castillo-Pérez, L. J., Solano, E., Isiordia-Espinoza, M. A., del Carmen Juárez-Vázquez, M., Argueta-Fuertes, M. A., González-Sánchez, I., & Ortiz-Andrade, R. (2017). Use of medicinal plants by health professionals in Mexico. *Journal of Ethnopharmacology*, 198, 81–86. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.12.038>
- Arrazola-Guendulay, A. A., Hernández-Santiago, E., & Rodríguez-Ortiz, G. (2018). Conocimiento tradicional de plantas silvestres en una comunidad de Valles Centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 5(1), 55–78.
- Atriano, B. R. A., & Benito, C. B. (2021). Medicina tradicional mexicana, cultura y tradición, un paso hacia la Etnofarmacología. *Intercyt. Interculturalidad, Ciencia y Tecnología*, 1–18. <https://www.eumed.net/es/revistas/intercyt/intercyt-enero-2021/medicina-tradicional-mexicana>
- Blancas, J., Casas, A., Pérez-Salicrup, D., Caballero, J., & Vega, E. (2013). Ecological and socio-cultural factors influencing plant management in Náhuatl communities of the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/1746-4269-9-39>
- Castillo-Hernández, L. A., & Flores-Olvera, H. (2017). Floristic composition of the cloud forest of the Bicentenario Reserve, Zongolica, Veracruz, México. *Botanical Sciences*, 95(3), 1–25. <https://doi.org/10.17129/botsci.1223>
- Cruz Pérez, A. L., Barrera Ramos, J., Bernal Ramírez L. A., Bravo Avilez, D., & Rendón Aguilar, B. (2021). Actualized inventory of medicinal plants used in traditional medicine in Oaxaca, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s13002-020-00431-y>
- Fernández, B. A. M., Juárez, J. V., & Cortés, Z. L. (2008). Usos de las especies del género *Asclepias* L. (Apocynaceae, Asclepiadoideae), información del Herbario Nacional de México, MEXU. *Polibotánica*, 25, 155–171.
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen* (Vol. 6).
- Germosén-Robineau, L. (1995). *Hacia una farmacopea caribeña: Vol. Tramil 7*.
- González-Insuasti, M. S., & Caballero, J. (2007). Managing plant resources: How intensive can it be? *Human Ecology*, 35(3), 303–314. <https://doi.org/10.1007/s10745-006-9063-8>
- Goodman, L. A. (1961). Snowball Sampling. *The Annals of Mathematical Statistics*, 31(1), 148–170.
- INAH. (2023, June 6). *Códice Badiano*. <https://www.mEDIATECA.INAH.GOB.MX/REPOSITORIO/ISLANDORA/OBJECT/CODICE%3A851#page/1/mode/2up>
- Jasso de Rodríguez, D., García-Hernández, L. C., Rocha-Guzmán, N. E., Moreno-Jiménez, M. R., Rodríguez-García, R., Díaz-Jiménez, M. L. V., Sáenz-Galindo, A., Villarreal-Quintanilla, J. A., Peña-Ramos, F. M., Flores-López, M. L., & Carrillo-Lomelí, D. A. (2017). *Psacalium paucicapitatum* has in vitro antibacterial activity. *Industrial Crops and Products*, 107, 489–498. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.025>
- Jiménez-Estrada, M., Huerta-Reyes, M., Tavera-Hernández, R., Alvarado-Sansininea, J. J., & Alvarez, A. B. (2021). Contributions from Mexican flora for the treatment of diabetes mellitus: Molecules of *Psacalium decompositum* (A. Gray) H. Rob & Brettell. *Molecules*, 26(10). <https://doi.org/10.3390/molecules26102892>
- Juárez-Jaimes, V., & Lozada, L. (2003). *Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán: Asclepiadaceae Fascículo 37*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología.

- Juárez-Jaimes, V., Rodríguez-Morales, L. O., Paniagua-Ibáñez, M., Hernández-Barón, G. M., & Fishbein, M. (2022). Diversity and distribution of the genus *Asclepias* (Apocynaceae: Asclepiadoideae) in México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 93. <https://doi.org/10.22201/IB.20078706E.2022.93.3958>
- Juárez-Vázquez, M. del C., Alonso-Castro, A. J., Rojano-Vilchis, N., Jiménez-Estrada, M., & García-Carrancá, A. (2013). Maturin acetate from *Psacalium peltatum* (Kunth) Cass. (Asteraceae) induces immunostimulatory effects *in vitro* and *in vivo*. *Toxicology in Vitro*, 27(3), 1001–1006. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2013.01.021>
- Lara Reimers, E. A., Cusimamani, E. F., Lara Rodríguez, E. A., del Valle, J. M. Z., Polesny, Z., & Pawera, L. (2018). An ethnobotanical study of medicinal plants used in Zacatecas state, Mexico. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 87(2). <https://doi.org/10.5586/asbp.3581>
- Maldonado, C., Paniagua-Zambrana, N., Bussmann, R. W., Zenteno-Ruiz, F. S., & Fuentes, A. (2020). La importancia de las plantas medicinales, su taxonomía y la búsqueda de la cura a la enfermedad que causa el coronavirus (COVID-19). *Ecología En Bolivia*, 55(1), 1–5.
- Manzanero-Medina, G. I., Flores-Martínez, A., Sandoval- Zapotitla, E., & Bye-Boettler, R. (2009). Etnobotánica de siete raíces medicinales en el mercado de Sonora de la Ciudad de México. *Polibotánica*, 27, 191–228.
- Martínez-López, G., Guízar Nolazco, E., Villanueva Morales, A., & Palacios-Rangel, M. I. (2021). Usos locales y tradición: estudio etnobotánico de plantas útiles en San Pablo Cuatro Venados (Valles Centrales, Oaxaca). *Polibotánica*, 0(52). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.52.13>
- Martínez-López, J., Molina-Luna, N. G., Rangel-Landa, S., Aquino-Vázquez, C., & Acosta-Ramos, A. (2022). Valor cultural de los recursos forestales no maderables en comunidades zapotecas de la Sierra Juárez de Oaxaca. *Polibotánica*, 53, 239–259. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.53.16>
- Muñetón Pérez, P. (2009). Plantas medicinales: un complemento vital para la salud de los mexicanos. Entrevista con el Dr. Erick Estrada Lugo. *Revista Digital Universitaria*, 10(9). <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num9/art58/int58.htm>
- Navarrete-Carriola, D. V., Paz-González, A. D., Vázquez-Jiménez, L. K., De Luna-Santillana, E., Cruz-Hernández, M. A., Bandyopadhyay, D., & Rivera, G. (2024). Comparative Analysis of a Secondary Metabolite Profile from Roots and Leaves of *Iostephane heterophylla* by UPLC-MS and GC-MS. *ACS Omega*, 9(5), 5429–5439. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c06800>
- OMS. (2013). *Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2014-2023*. Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2023). *Medicina tradicional*. Organización Mundial de La Salud. <https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/traditional-medicine>
- Phillips, O. L. (1996). *Some quantitative methods for analyzing ethnobotanical knowledge*. <https://www.researchgate.net/publication/313165109>
- Reyes-Martínez, N. P., & Medina-Lemos R. (2021). Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán: Campanulaceae. *UNAM*, 1, 1–45. <https://doi.org/10.22201/ib.9786073052641e.2021>
- Rzedowski, C. G., & Rzedowski, J. (2005). *Flora Fanerogámica del Valle de México* (Vol. 2).
- SADER. (2022). *México, segundo lugar mundial en registro de plantas medicinales*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-segundo-lugar-mundial-en-registro-de-plantas-medicinales?idiom=es>
- SEMARNAT. (2021). *Plantas medicinales de México*. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/plantas-medicinales-de-mexico?idiom=es>
- Sen, T., & Samanta, S. K. (2014). Medicinal plants, human health and biodiversity: A broad review. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 147, 59–110. https://doi.org/10.1007/10_2014_273
- Senterre, B., & Castillo-Campos, G. (2009). *Flora de Veracruz: Campanulaceae Fascículo 149*.
- Sharma, V., & Sarkar, I. N. (2013). Leveraging biodiversity knowledge for potential phyto-therapeutic applications. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 20(4), 668–679. <https://doi.org/10.1136/amiajnl-2012-001445>

Recibido:
15/febrero/2024

Aceptado:
20/junio/2024

SmartWood. (2006). *Resumen Público de Certificación de la Comunidad San Pedro El Alto*.
<https://www.rainforest-alliance.org/forestry/>

Villaseñor, J. L. (2016). Catálogo de las plantas vasculares nativas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 559–902.
<https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>

DIVERSIDAD DE AGAVES UTILIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE JARABE DE AGUAMIEL EN EL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO

DIVERSITY OF AGAVES USED TO PRODUCE AGUAMIEL SYRUP IN THE STATE OF HIDALGO, MÉXICO

Figueredo-Urbina, Carmen Julia; Oscar Arce-Cervantes y Araceli Castañeda-Ovando
DIVERSIDAD DE AGAVES UTILIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE JARABE DE
AGUAMIEL EN EL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO
DIVERSITY OF AGAVES USED TO PRODUCE AGUAMIEL SYRUP IN THE STATE OF
HIDALGO, MÉXICO



Diversidad de agaves utilizados para la producción de jarabe de aguamiel en el estado de Hidalgo, México

Diversity of agaves used to produce aguamiel syrup in the state of Hidalgo, México

Carmen Julia Figueredo-Urbina;
Oscar Arce-Cervantes
y Araceli Castañeda-Ovando

DIVERSIDAD DE AGAVES
UTILIZADOS PARA LA
PRODUCCIÓN DE JARABE
DE AGUAMIEL EN EL
ESTADO DE HIDALGO,
MÉXICO

DIVERSITY OF AGAVES
USED TO PRODUCE
AGUAMIEL SYRUP IN THE
STATE OF HIDALGO,
MÉXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 265-290. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.19

Carmen Julia Figueredo-Urbina: *Autor de correspondencia:* figueredocj@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0906-8821>

Investigadora por México CONAHCYT, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México

Oscar Arce-Cervantes

<https://orcid.org/0000-0002-3388-2973>

Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México

Araceli Castañeda-Ovando

<https://orcid.org/0000-0003-0759-3198>

Área Académica de Química, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México

RESUMEN: Los agaves son plantas de importancia biocultural para los mexicanos, con una larga historia de interacción con los humanos, además de ser consideradas plantas clave de los ambientes en donde crecen. Actualmente, muchos de sus usos antiguos siguen vigentes, reportándose más de 100 diferentes usos, que se agrupan en 22 categorías, donde las bebidas destiladas son *económicamente* importantes, existiendo otros usos que cobran auge, como es el jarabe de aguamiel. El objetivo de este estudio fue describir los sistemas productivos de los agaves empleados para la extracción de savia o aguamiel para la producción de jarabe de aguamiel, caracterizar de las variedades tradicionales de agaves manejados en el estado de Hidalgo. El estudio se realizó en cinco municipios del estado de Hidalgo, se consideró un total 12 localidades. En cada uno de los sitios de muestreo se realizaron visitas de prospección y se seleccionaron ocho sistemas productivos, en los cuales se realizó la evaluación etnobotánica con recorridos temáticos, entrevistas abiertas y semiestructuradas. Además, se caracterizaron morfológicamente las variedades tradicionales de agaves y se realizaron análisis genéticos con el uso de 10 microsatélites de núcleo. Los sistemas productivos que se registraron fueron los *metepantles*, los *Ñu'ta*, las *magueyer*as y *magueyes en cerca viva* o *linderos* que limitan espacios productivos. En estos sistemas productivos se mantienen 28 variedades tradicionales de agaves pulqueros, pertenecientes a cuatro especies de agaves. Se encontró que los sistemas productivos de *metepantle* en La Gaspapeña (Singuilucan, Hidalgo), Jardín de Mayahuel (La Raya de Singuilucan) y los sistemas de producción *Ñu'ta* del Cardonal fueron los más agrobiodiversos (11, 8 y 9 variedades tradicionales de agaves pulqueros respectivamente). Estas regiones se diferencian por las variedades preferidas, el *Manso* en la zona de la Altiplanicie Pulquera y *Xamini* el Valle del Mezquital. La diversidad genética osciló entre 0.020 a 0.200, estos valores están en el intervalo de lo reportado para otras variedades en el estado de Hidalgo y México. Se concluye que la agrobiodiversidad de los agaves usados en esta actividad, junto con la diversidad que se encuentra en los espacios productivos y los conocimientos de manejadores, hacen de la producción de jarabe de aguamiel en el estado de Hidalgo una actividad que mantiene elevada diversidad biológica y cultural.

Palabras clave: agrobiodiversidad de agaves, aguamiel, savia, morfometría, diversidad genética.

ABSTRACT: Agaves are plants of biocultural importance to Mexicans with a long history of interaction with humans, in addition to being considered key plants in the environments where they grow. Many of their historic uses continue to be relevant, with more than 100 different uses reported, grouped into 22 categories, among which the production of alcoholic beverages is *economically* important and other uses are on the rise, such as the production of agave syrup. The objective of this study was to describe the production systems of the agaves used for the extraction of sap for the production of agave syrup and to characterize the traditional varieties of agaves that are managed in the state of Hidalgo. The study was performed in five municipalities in the state of Hidalgo, considering a total of 12 localities. At each of the sampling sites, we performed pilot visits and selected eight production systems in which to perform ethnobotanical evaluations through thematic tours and open and semi-structured interviews. In addition, we morphologically characterized the traditional agave varieties and performed genetic analyses using 10 nuclear microsatellites. The production systems recorded were *metepantles*, *Ñu'ta*, *magueyeras* and *magueyes en cerca viva* or *linderos* that delimit production spaces. In these productive systems, 28 traditional varieties of pulque agaves were kept, belonging to four agave species. We found that the *metepantle* production systems in La Gaspareña (Singuilucan, Hidalgo) and Jardín Mayahuel (La Raya de Singuilucan) and the *Ñu'ta* production systems of Cardonal were the most agrobiodiverse (11, 8 and 9 traditional varieties of pulque agaves, respectively). These regions differ in their preferred varieties, with *Manso* preferred in the zone of the Altiplanicie Pulquera region and *Xamini* preferred in the Mezquital Valley. The genetic diversity ranged from 0.020 to 0.200; these values are within the range reported for other varieties in Hidalgo and Mexico. We concluded that the agrobiodiversity of the agaves used for this activity, together with the diversity in the productive spaces and knowledge of managers make the production of agave syrup in the state of Hidalgo an activity that maintains high biological and cultural diversity.

Key words: agave agrobiodiversity, *aguamiel*, sap, morphometry, genetic diversity

INTRODUCCIÓN

Los agaves, o magueyes como también son conocidos, pertenecen a la familia Asparagaceae (Bremer *et al.*, 2009; Chase *et al.*, 2016), son plantas rosetófilas con metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC) y suculentas. Estas características les ha permitido habitar diferentes tipos de ambiente. En la actualidad, se distribuyen naturalmente en el continente americano, aunque es posible encontrar agaves en otros continentes, cultivados y también naturalizados. Los agaves crecen en ambientes diversos y a diferentes altitudes. El centro de origen de este grupo de plantas son las zonas semiáridas de México, donde se han reconocidos cerca de 200 especies, además es el lugar de mayor riqueza de especies y de endemismos (García-Mendoza *et al.*, 2019). Uno de los hechos más fascinante de este grupo de plantas, es la continua interacción que ha tenido el ser humano desde hace unos 9,000 años, y se ha evidenciado a través de los restos arqueológicos e históricos (Callen, 1967; MacNeish, 1967; Smith, 1967). En los últimos años se han documentado cerca de 100 usos diferentes para los agaves, mismos que se agrupan en 22 categorías (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2017; Trejo *et al.*, 2022). Se cuenta con registro arqueológico del uso de los agaves como alimento, la base de las hojas y el cormo central o tallo de los agaves se cocía y se consumía, se ha encontrado tejido de estas partes de la planta que fueron masticados para extraer sus jugos y escupidos en algunas cuevas en Oaxaca, Tamaulipas y Puebla. Estos restos cuentan con marcas de dentadura humana y tienen una antigüedad de 6,000 años (Vela *et al.*, 2014). Asimismo, se ha evidenciado a través de coprolitos la existencia de polen y tejido de agaves, la cual sugiere su consumo hace unos 7,000 años, principalmente en zonas áridas de México (Callen, 1967). Existe también evidencia que da cuenta del uso de la savia de algunos agaves para la obtención de una bebida fresca, conocida como *aguamiel*, la cual se fermenta y se obtiene el *pulque*, bebida de importancia biocultural con registro de consumo desde hace unos 2,000 años a la fecha (Álvarez Palma *et al.*, 1998; Goncalves de Lima, 1986). Otro de los usos de la savia de

los agaves es para realizar un tipo de arrope, jarabe o concentrado de aguamiel, el cual se menciona también en los registros históricos escritos acerca de los usos de los agaves (Sahagún, 1999).

La savia se obtiene de realizar una oquedad en el centro de la planta de los magueyes maduros, la cual se conoce con el nombre de “cajete” (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020). Para una extracción óptima se realizan múltiples prácticas como el capado, añejamiento y picado del maguey (Buccio Peña *et al.*, 2022), además de contar con un amplio conocimiento ecológico tradicional para manejar los agaves y realizar las artes pulqueras, estas labores se mantienen por generaciones a través de la tradición oral. Una vez abierto el cajete diariamente se extrae la savia de los magueyes, el cual es un líquido de color ámbar a cristalino, con una concentración de sólidos disueltos que va de 8 a 17 °Brix (Escalante *et al.*, 2016; Álvarez Ríos, 2019). La savia colectada se lleva a cocción de manera artesanal, obteniendo así el concentrado de aguamiel, jarabe de aguamiel o miel de maguey, y que no debe confundirse con el jarabe de agave, el cual se obtiene de *Agave tequilana*, a través de procedimientos diferentes, principalmente industriales. Con esta técnica de concentración de un líquido por evaporación, se obtiene un producto que permite aprovechar y conservar la savia de los agaves, además de obtener un producto para la comercialización en los mercados locales y nacionales, siendo que también ha tenido aceptación en el público internacional.

Recientemente se ha reportado cerca de 40 especies de agaves que se utilizan en México para extraer la savia o aguamiel y producir el pulque (Álvarez-Ríos *et al.*, 2022), de las cuales en el estado de Hidalgo se han documentado cinco especies (Figueredo-Urbina *et al.*, 2021). Los productores de maguey identifican diferencias en los agaves pulqueros, rasgos distintivos que dan cuenta de otros niveles de diversidad como son las variedades tradicionales de agaves pulqueros y que forman parte de la agrobiodiversidad de los sistemas de producción de esta región. Estas variedades tradicionales de agaves pulqueros, además de lucir diferentes a nivel morfológico, la gente percibe también diferencias en características del aguamiel y de los productos obtenidos a partir de estos, como son el pulque y el jarabe de aguamiel.

Esta diversidad en la morfología y otros rasgos de los agaves pulqueros son resultado del manejo, el cual son el conjunto de acciones o intervenciones, las prácticas que se aplican a las plantas y las funciones del sistema, las adecuaciones de los espacios en donde se encuentran o donde se mantienen estas plantas. Tiene la particularidad de ser intencional o deliberado y es motivado principalmente por la incertidumbre de la disponibilidad del recurso y conlleva a procesos evolutivos de selección artificial continuos como la domesticación. Los agaves pulqueros se mantienen en diversos sistemas, que se han denominado sistemas de manejo (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020), otros autores y dependiendo del enfoque o la disciplina, los denominan sistemas agrícolas, sistemas productivos o agroecosistemas, con algunas variaciones, pero que en sí definen un socioecosistema o sistema socioecológico en donde el elemento principal son los agaves. Los sistemas productivos de agave pulquero o sistemas de manejo, es un concepto amplio que incluye el espacio geográfico definido, donde el agave es el elemento central, y además de los componentes bióticos, abióticos, socioeconómico, los procesos y el flujo de energía que allí se dan, destacan los siguiente elementos: 1) las variedades tradicionales de agave pulquero, 2) el cúmulo de conocimientos y prácticas asociadas a la propagación, mantenimiento y aprovechamiento de los agaves, 3) las herramientas y espacios requeridos para llevar a cabo las actividades y 4) las personas encargadas del funcionamiento del sistema, como son los productores, las personas con el conocimiento específico para realizar las artes pulqueras como los tlachiqueros, capadores, mayordomo, entre otros (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020). Los agaves son manejados de diversas formas y podemos encontrar varias categorías de manejo, existe un manejo *in situ*, con plantas aprovechadas de los ambientes naturales, otro tipo de manejo es *ex situ*, donde hay tolerancia de variedades silvestres existente en esos espacios y además hay prácticas de trasplante y cultivo de variedades en sistemas productivos tradicionales como huertas, terrazas o metepantles y milpa (Figueredo-Urbina *et al.*, 2021; Torres-García *et al.*, 2019)

Los sistemas productivos son los principales medios de provisión de recursos, por lo tanto, la estructura, dinámica y evolución, resultan fundamentales para procesos clave como la seguridad alimentaria de la población y la conservación de la biodiversidad. Desde hace miles de años los agaves se mantienen en sistemas productivos tradicionales antiguos como las terrazas y los metepantles, de los cuales existe evidencia arqueológica e histórica que datan de más de 2,000 años (González Jácome, 2016). Entre los siglos 19 y 20, el cultivo de maguey pulquero tuvo un auge, pues diversos acontecimientos del momento permitieron establecer grandes plantaciones, como por ejemplo espacios que hoy son conocidas como las haciendas pulqueras (González Jácome, 2016; Ramírez Rodríguez, 2018). Posteriormente, estos sistemas productivos se vieron amenazados, algunos desaparecieron y otros se combinaron con cultivos comerciales como el trigo y la cebada (González Jácome 2016). En la actualidad es posible encontrar un gradiente de manejo de los agaves y con ello diversos sistemas de manejo: magueyerías extensivas, magueyerías remanentes, metepantles, magueyes en lindero, manejo de magueyes silvestres (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020), en donde se mantienen vigentes diversas prácticas de manejo y ocurre la domesticación, procesos que han tenido consecuencias en términos de la diversidad de los agaves. Se ha documentado una elevada agrobiodiversidad, hasta 62 variantes de agaves pulqueros registradas en el Altiplano Meridional de la región centro-norte de México (Mora-López *et al.*, 2011) con evidentes consecuencias del manejo, plantas de rosetas más grandes y una disminución de los mecanismos de defensa (dientes laterales y espinas terminales). Asimismo, los niveles de variabilidad genética han sido estudiados, indicando que no presenta una disminución tan drástica como el caso de otros agaves intensamente manejados como *A. tequilana* var. *azul* (Figueredo-Urbina *et al.*, 2021; Trejo *et al.*, 2018)

El estado de Hidalgo es importante en el centro de México, de acuerdo con las estadísticas del SIAP (2022), ocupa el primer lugar en cultivo de agave pulquero con 4,814.7 hectáreas, además en el 2022 produjo 107,052.08 miles de litros de pulque. En la región los agaves se mantienen en sistemas productivos tradicionales que albergan elevada agrobiodiversidad y que son clave en la economía de muchas familias (Vega-García *et al.*, 2023). Los agaves son especies multipropósito (Torres-García *et al.* 2019), en el estado se usan principalmente para producir pulque, pero en los últimos años la producción de derivados como el jarabe de aguamiel, representa una alternativa para el aprovechamiento de la savia de los agaves en la región. A diferencia del pulque, el cual se ha trabajado en lograr y optimizar el almacenamiento por largo tiempo con las mismas propiedades, la savia concentrada resulta una estrategia ideal de almacenamiento, además de obtener un alimento con propiedades nutricionales importantes. A pesar de la importancia de este derivado para la economía campesina y rural, las investigaciones que documenten la diversidad de agaves pulqueros en el estado son escasas, y estas son fundamentales para entender el estado actual de los agaves, además de identificar amenazas a este valioso recurso.

En este sentido, el propósito de esta investigación fue describir los sistemas productivos y las variedades tradicionales de agaves pulqueros que son empleadas en la extracción de savia o aguamiel para la producción del jarabe de aguamiel, así como caracterizar etnobotánica, morfológica y genéticamente estas variedades.

MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo entre el 2022 al 2023 en 12 localidades de los municipios de Zempoala, Cardonal, San Agustín Tlaxiaca, Epazoyucan y Singuilucan en el estado de Hidalgo, México. La elección de estos municipios se debió a que figuran en las estadísticas del SIAP como los principales en cuanto hectáreas cultivadas de maguey pulquero, productores de pulque y por la trayectoria de vinculación entre el grupo de trabajo académico y los productores de las regiones bioculturales: Altiplanicie pulquera, Comarca minera y el Valle de Mezquital, desde hace más de cinco años. La metodología de investigación consistió en protocolos ya establecido de las disciplinas etnobotánica, ecología y genética de poblaciones. Se realizaron visitas de prospección

a cada una de las localidades, se convocó a reuniones con las autoridades y/o los grupos de trabajo, y se indagó acerca de la producción de jarabe de aguamiel en estas localidades. Del total de los lugares visitados sólo fue posible realizar los estudios de los Sistemas Productivos de Agaves Pulqueros en los municipios de: Singuilucan (Rancho La Gaspareña y Tinacal Los Tuzos), Zempoala (El Ranchito y el Llano) en la Altiplanicie pulquera, y en el Cardonal (Sistemas productivos 1, 2, 3 [El Mezquite] y 4) del Valle del Mezquital.

Evaluación etnobotánica

Se hicieron recorridos para identificar diferentes variedades tradicionales de agaves pulqueros que se emplean para la extracción de savia. Al inicio se realizaron entrevistas abiertas sobre los tipos de agaves pulqueros, posteriormente se realizaron entrevistas semiestructuradas (Bernard Russell, 2017) a los manejadores de los Sistemas Productivos de Agave Pulquero para conocer y precisar las características distintivas de cada variedad, su nombre común, tamaño de la planta en relación con otras, el tamaño de las hojas, de los dientes laterales y la espina terminal y aspectos organolépticos del aguamiel y de la producción de jarabe de aguamiel. Se tomaron fotografías y se realizó su identificación taxonómica (Gentry, 1982; Thiede, 2020).

Análisis morfológico

En cada Sistema Productivo de Agaves Pulqueros de las localidades seleccionados para los análisis morfológicos y genéticos, se escogieron plantas que estuvieran próximas a estar listas para extraer su savia, esto siguiendo los criterios e indicaciones de las personas que reconocen estas características como son el o la tlachiquera y los productores. En cada una de las plantas seleccionadas se midieron las siguientes características: Altura de la roseta, diámetro de la roseta, número de hojas, largo de la hoja, ancho medio de la hoja y número total de dientes laterales, características morfológicas vegetativas que han sido empleadas para evaluar la diversidad morfológica en agaves pulqueros (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020; Figueredo-Urbina *et al.*, 2017, 2021). Estas características son fundamentales para corroborar los rasgos distintivos que identifican los productores en cada una de las variedades tradicionales de agaves pulqueros.

Análisis genético

Colecta de las muestras, almacenamiento y extracción de ADN

Se colectó tejido de hojas jóvenes de los agaves, se limpiaron con agua destilada y alcohol al 70%, luego se procedió a deshidratarlas en gel de sílice. Posteriormente, se almacenaron en bolsas de plástico con algunas esferas de sílice gel hasta la extracción del ADN. El ADN total se extrajo utilizando el protocolo de extracción CTAB, ampliamente usado para plantas con modificaciones a los protocolos de (Doyle y Doyle (1987)). Luego de la extracción se midieron las concentraciones de ADN obtenidas en espectrofotómetro y se realizaron geles de agarosa al 0.8-1% para corroborar la calidad del ADN genómico total. Las muestras se almacenaron a -20°C hasta su uso.

Amplificación cruzada de microsatélites de núcleo

Se emplearon 16 loci de microsatélites de núcleo (Byers *et al.*, 2014; Lindsay *et al.*, 2012) para realizar las amplificaciones cruzadas en las especies y variedades de agave. Para cada reacción en cadena de la polimerasa (PCRs) se usó de 10 a 50 ng/μL de ADN genómico (2 μL), 0.5 μL de dH₂O y 5.7 μL de *Master Stock* (2.3 μL de Buffer para PCR, 1.6 μL de MgCl₂ a 2 mM, 0.3 μL de dNTP's a 200 μM), 0.6 μL del *primer forward*, 0.6 μL del *primer reverse* entre 10 a 25 μM, además de 0.3 μL (1U) de *Taq* DNA polimerasa para un total de 8.2 μL por tubo de reacción. La amplificación se llevó a cabo en termociclador *Thermo Scientific* ajustando la temperatura de alineamiento y el número de ciclos de acuerdo con lo indicado por los autores de los microsatélites. Los productos de PCR se visualizaron en geles de acrilamida al 1.5%, una vez obtenidos los genotipos se procedió al cálculo de la Heterocigosidad Observada (Ho) como parámetro de diversidad genética en el complemento de Excel Genalex (Peakall & Smouse, 2012) de acuerdo con la Ecuación 1.

$$H_o = \text{Heterocigosidad observada} = \frac{\text{Número de Heterocigotos}}{\text{Número total de individuos}} \quad (1)$$

Este parámetro de diversidad genética de las variedades tradicionales de los agaves pulqueros permitirá conocer el *pool* de genes con el cual cuentan, cuales son vulnerables y comparar con otros agaves pulqueros en México.

RESULTADOS

Sistemas productivos de agave pulquero

Se entrevistó a un total a 18 personas en las 12 localidades que se visitaron (Figura 1). Los principales Sistemas Productivos de Agave Pulquero fueron los *Metepantles* en la zona de la Altiplanicie pulquera, en lengua Hñahñu en el Valle del Mezquital, ambas son líneas de magueyes intercalados con espacios denominados “melgas” destinadas al cultivo de temporal de maíz, frijol, calabaza, también cebada, avena y trigo, con algunos árboles frutales y para sombra, además de vegetación natural. El sistema metepantle ya fue documentado en esta región, en donde se ha registrado que hay un manejo intensivo, debido a las prácticas que aplican a sus cultivos y los volúmenes de producción (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020, Vega-García *et al.*, 2023). La principal diferencia entre el metepantle y el *Ñu'ta*, fue el tamaño de la melga, en el Valle del Mezquital las melgas son de un ancho que supera los seis metros de los metepantles, hasta 15 metros, los cual ha permitido el uso de maquinaria.

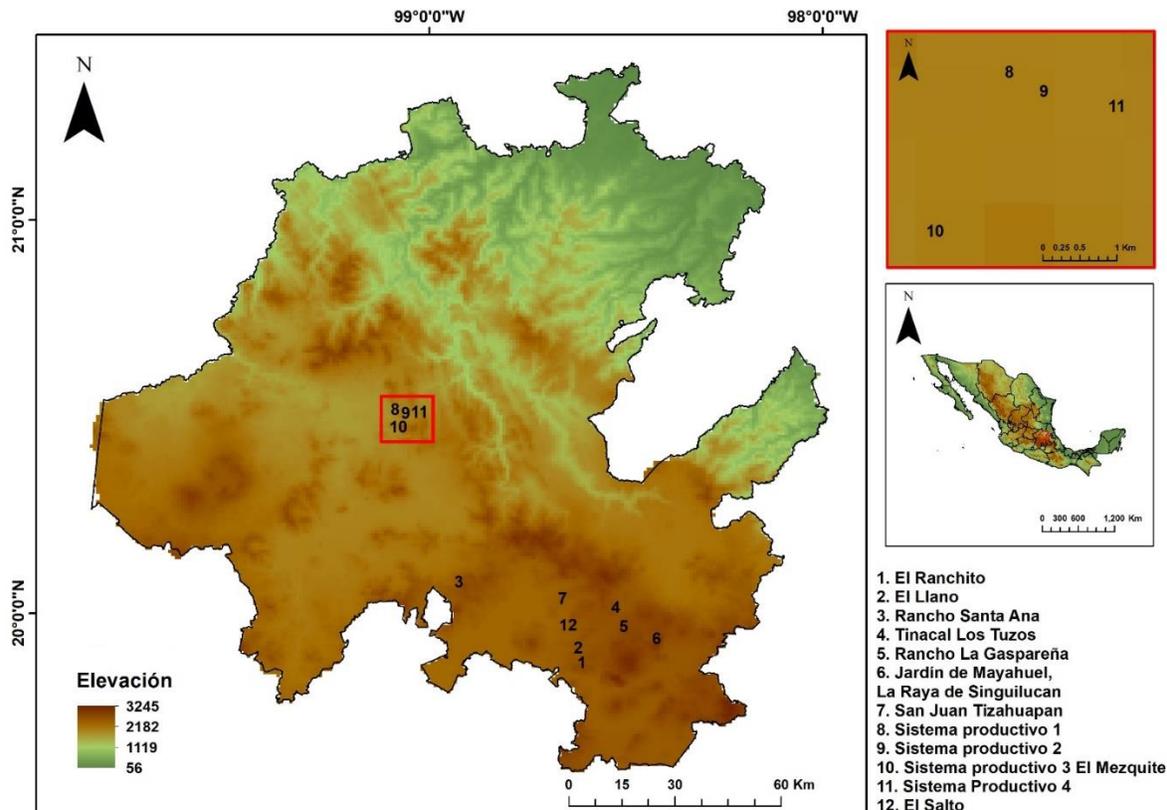


Figura 1. Ubicación de las 12 localidades visitas para este estudio en los municipios de Cardonal, Epazoyucan, Singuilucan, San Agustín Tlaxiaca y Zempoala en el estado de Hidalgo (Realizado por: Rafael Canales Pérez).

Figure 1. Location of the 12 localities visited for this study in the municipalities of Cardonal, Epazoyucan, Singuilucan, San Agustín Tlaxiaca and Zempoala in the state of Hidalgo (Created by: Rafael Canales Pérez)

En algunas localidades, los espacios productivos son denominados *Magueyeras*, donde predomina el cultivo de los magueyes pulqueros, en estos espacios se ha removido la vegetación natural, no se cuida la disposición de las plantas de acuerdo con las prácticas tradicionales de los metepantles (González Jácome 2016), en otros lugares se emplean los agaves como *cerca viva* o *linderos* para delimitar espacios extensivos de cultivo (Figura 2, Tabla 1).

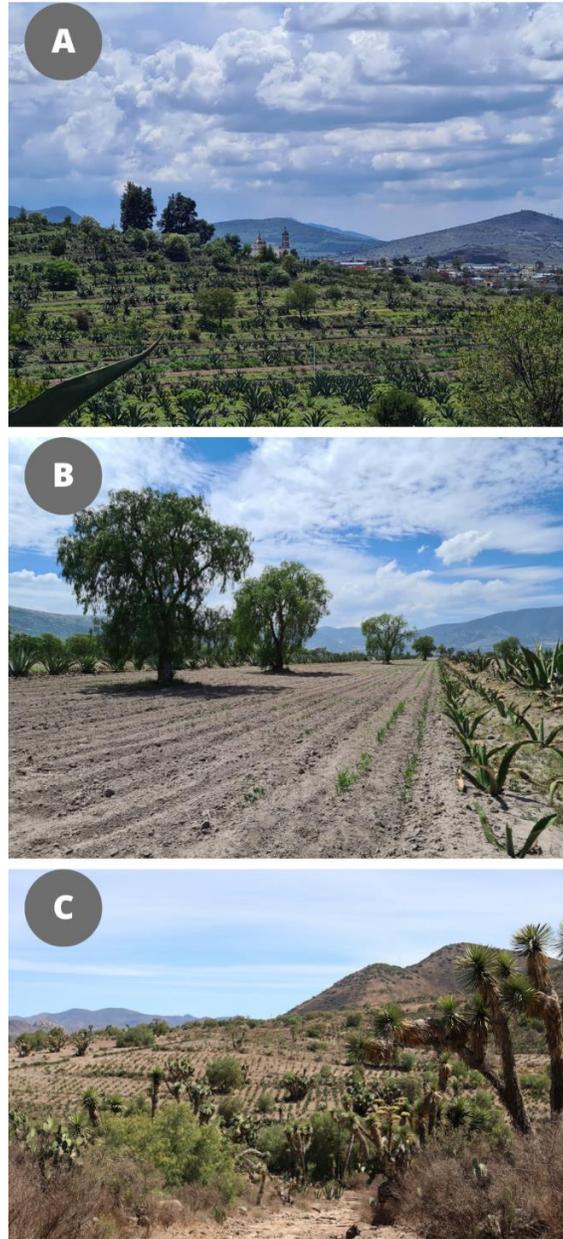


Figura 2. Sistemas productivos registrados en las localidades de estudio en el estado de Hidalgo. A) Metepantle en el municipio de Singuilucan, se aprecian las líneas de los agaves dispuestos en contra pendientes siguiendo curvas de nivel, dejando un espacio de melga de cuatro a seis metros, también se observan árboles nativos como tepozanes (*Buddleja cordata*) Tejocotes (*Crataegus mexicana*) y capulines (*Prunus serotina*), B) Ñu'tá en el municipio del Cardonal, líneas de magueyes combinado con árboles como el pirul (*Schinus mole*) tunas (*Opuntia* spp.) y espacios de cultivo de aproximadamente 10 metros de ancho y C) Magueyeras en el municipio de Epazoyucan, son monocultivos de alta densidad de plantas dispuestos en el espacio sin considerar la pendiente, además hubo remoción de la vegetación natural.

Figure 2. Production systems recorded in the study localities in the state of Hidalgo. A) *Metepantle* in Singuilucan municipality, where lines of agaves are arranged parallel to elevational contour lines, leaving a 4–6 m gap between lines. Native trees are also present, including tepozanes (*Buddleja cordata*), tejocotes (*Crataegus mexicana*), and capulines (*Prunus serotina*), B) *Ñu'tá* in Cardonal municipality, where lines of maguey are combined with lines of trees such as pirul (*Schinus mole*), prickly pears (*Opuntia* spp.) and spaces for cultivation approximately 10 m wide, and C) *Magueyerás* in Epazoyucan municipality are monocultures with a high density of plants arranged in the space without considering the slope and natural vegetation has been removed.

Los sistemas productivos varían en su extensión, desde menos de una ha hasta más de 10 ha. En Singuilucan, los agaves son usados principalmente para producir pulque o para la extracción de penca para la venta a los “barbacoyeros” (personas que se dedican a la preparación y venta de barbacoa), sólo en las localidades del Cardonal el uso principal es para la producción de jarabe de aguamiel. El manejo de los agaves en su mayoría es *ex situ*. Se cultivan o propagan a través de los hijuelos o mecuates, las plantas pueden tomar entre 15 a 20 años en estar listas para extraerse su aguamiel, momento en el cual se limita la reproducción sexual de la planta. En la localidad de Rancho La Gaspareña, el productor Rogelio Moreno Montiel y su familia, realizan acciones de bien común y de conservación, al dejar ciertos individuos para que realicen la reproducción sexual, hechos que son fundamentales para mantener un equilibrio en los ecosistemas.

La producción de jarabe de aguamiel se realiza por una de las siguientes razones: 1) Es una manera de conservar el aguamiel cuando la venta de pulque es baja, 2) porque le hacen pedidos de cierta cantidad del producto, 3) lo hacen para tener producto para la venta y obtener un ingreso económico extra. Algunos de los cultivos de agaves de la Altiplanicie pulquera aún no están en producción o son muy pocas las plantas de agaves que se encuentran listos para extraer el aguamiel, por esta razón los productores se ven en la necesidad de comprar agaves que estén próximos a poder usarse para extraer la savia o comprar el aguamiel a tlachiqueros para producir el jarabe. En Singuilucan, Zempoala y Cardonal, los productores se han organizado en asociaciones (ver Tabla 1), sin embargo, suelen trabajar de manera individual por unidades familiares.

Agrobiodiversidad de agaves pulqueros

En total se registraron 28 variedades tradicionales de agaves pulqueros, siendo la variedad más diversa el *manso* con los tipos: hembra, macho, chico, mediano, grande, colorado. La localidad con el mayor número de variedades, once en total, fue el Rancho La Gaspareña, en el municipio de Singuilucan, seguido de los sistemas productivos del Cardonal con nueve. Otras localidades como el Rancho Santa Ana, los productores no poseen conocimiento de las variedades tradicionales de agaves pulqueros, no se indagó en este sentido, pero las personas provienen de otras localidades cercanas, donde la cultura del maguey y el pulque no es tan importante, ni arraigada.

Diversidad morfológica

Las variedades tradicionales son diversas morfológicamente, difieren principalmente en el tamaño de la roseta. En cuanto a las más comunes, el *Chalqueño* fue la más grande de todas, con cerca de cuatro metros de altura y más de cinco metros de diámetro, asimismo presentó el mayor número de hojas y sus pencas son más largas. En segundo lugar, en tamaño se ubica el *Ayoteco*, luego se ubican los mansos y en último lugar se encuentra *Xamini*, el más pequeño y que junto con el *Ayoteco* poseen el mayor número de dientes laterales (Tabla 2).

Diversidad genética

Del total de loci que se probaron, sólo diez amplificaron, los cuales fueron APAR3-11, APARC20, APARC21, BYU3268, BYU3674, BYU4012, BYU4463, BYU4988, BYU5164 y BYU9897. Se estimó la diversidad genética de cada una de las variedades, se obtuvieron valores que oscilaron entre los 0.033 para la variedad *Coronilla* del Rancho La Gaspareña, a los 0.200 de *Ho* para las

variedades *Hoc'uadá* y Amarillo del Cardonal. No obstante, es importante mencionar que el número de individuos analizados en algunas variedades tradicionales de agaves pulqueros, resultaron de solo dos y este hecho pueden tener un efecto en las estimaciones de variabilidad genética realizada, pero que también nos habla de la importancia de esas variedades en términos productivos.

Tabla 1. Descripción de los sistemas productivos de agaves pulqueros de 12 localidades en el estado de Hidalgo.

Table 1. Description of the agave production systems of the 12 localities in the state of Hidalgo.

Localidad	Organización social de producción de jarabe de aguamiel	Características de los Sistema productivo	Variedades tradicionales de agaves pulqueros	Tipo de caracterización realizada a los agaves
El Ranchito, San Gabriel Azteca, municipio Zempoala.	Grupo El Néctar de los Dioses. Compra aguamiel para preparar el concentrado de aguamiel debido a que sus magueyes aún no están en producción.	Posee 10 ha de agaves pulqueros en linderos y metepantles, con frutales y vegetación natural. Destina un espacio para vivero. Antes sembraba maíz, intercalado con las líneas de agaves pulqueros. Actualmente, cultiva cebada y avena que se emplea para forraje. Cuenta con siete variedades tradicionales de agaves pulqueros.	1. Manso macho 2. Manso hembra 3. Cenizo 4. Xaminí 5. Penca ancha 6. Verde 7. Pintos, Rayados o Chichimecos	Caracterización etnobotánica, morfológica y genética.
El Llano, San Gabriel Azteca, municipio Zempoala.	Grupo El Néctar de los Dioses. Se dedica principalmente a la venta de penca para barbacoa, eventualmente destina algunas de sus plantas para la extracción de aguamiel y producir jarabe de aguamiel.	Su sistema productivo consta de ocho ha de cultivo de agaves en monocultivo, con líneas muy próximas entre sí, no realiza siembra de otros rubros, poca vegetación natural, no hay árboles. Destina espacio para viveros o almácigos, cuenta con seis variedades.	1. Manso 2. Chalqueño 3. Xaminí o Púa grande 4. Carricillo 5. Ayoteco 6. Arroqueño (traída de Oaxaca)	Caracterización etnobotánica, morfológica y genética.
Rancho La Gaspareña, municipio Singuilucan.	Ometoxtloctli A.C. Los agaves del sistema productivo se destinan para la extracción de aguamiel que es empleada para producir pulque y jarabe de aguamiel.	Poseen 12.5 ha de cultivo de agaves pulqueros principalmente en metepantles destinan parte del espacio para los viveros o almácigos. También hay áreas con solo cultivo de magueyes. En los espacios entre las hileras de magueyes realizan cultivo de milpa de temporal y cebada para forraje. Existe árboles frutales nativos y algunas especies para sombra. Mantienen en sus sistemas productivos 11 variedades tradicionales de agave pulquero.	1. Manso 2. Manso colorado 3. Penca ancha 4. Coronilla 5. Oreja de liebre 6. Cenizo 7. Chalqueño 8. Ayoteco 9. Rayado o chichimeco 10. Palmilla 11. Xaminí	Caracterización etnobotánica, morfológica y genética.
Tinacal Los Tuzos, municipio de Singuilucan.	Ometoxtloctli A.C. Para producir el jarabe de aguamiel compra los aguamieles a los tlachiqueros de la zona, compra plantas para	Poseen menos de una hectárea de terreno con cultivo sólo de agaves, no hay vegetación natural, algunos árboles y nopales para delimitar el terreno. Sólo cuentan con una	1. Manso	Caracterización etnobotánica, morfológica y genética.

	extraer su aguamiel y cuenta con pocas plantas en producción.	variedad tradicional de agave pulquero. Se dedica a comprar los agaves para extraer su aguamiel.		
Jardín de Mayahuel, La Raya de Singuilucán, municipio de Singuilucan	Ometoxtloctli A.C. Para producir el jarabe de aguamiel compra plantas para extraer su aguamiel y no cuenta con pocas plantas en producción.	Es un espacio de una y media hectárea de terreno en donde se mantienen ocho variedades tradicionales de maguey pulquero pero que no está aún en producción. En ese espacio además mantienen otras especies de agaves de interés cultural y biológico. Los agaves pulqueros se encuentran creciendo en hileras que se combina con árboles de pino y encino y la huerta de traspatio.	1. Manso 2. Tempranillo 3. Púa larga 4. Colorado 5. Cenizo 6. Cimarrón 7. Chalqueño 8. Ayoteco	Ninguna
San Juan Tizahuapan, municipio de Epazoyucan	Sin Organización No produce concentrado de aguamiel, apenas inició un monocultivo de agaves en líneas.	Son espacios de cultivo que sólo tienen tres años de haberse iniciado, aún no están en producción. Cuenta con tres variedades tradicionales de agaves pulqueros.	1. Manso 2. Xaminí 3. Verde	Ninguna
El Salto, municipio de Epazoyucan	Sin Organización En esta localidad la producción de jarabe estuvo limitada a dos productores, la cual la realizan de manera esporádica.	Hay pocos agaves en toda la zona, destinados principalmente para la producción de pulque.	1. Manso 2. Maguey de monte	Ninguna
San Andrés Daboxtha, municipio de Cardonal	Cooperativa Alegría de maguey, conformada principalmente por mujeres. La producción del jarabe de aguamiel se realiza en un espacio común de la cooperativa. El aguamiel es recolectado de al menos cuatro predios diferentes.	En general poseen espacios de cultivos pequeños, entre una a cuatro hectáreas. Los sistemas de cultivo son denominados en lengua Hñähñu Ñu'ta, son similares a los metepantles, allí se siembra maíz y frijol de temporal, hay vegetación natural y árboles en las líneas de los agaves. En conjunto reconocen nueve variedades de agaves pulqueros.	1. Xaminí 2. Maye o Penca larga 3. Bonza'uada 4. Xi'ñu 5. 'Bo'ta 6. Maguey amarillo 7. Hoc'uada 8. It'ui Blanco 9. Manso medianos y grandes	Caracterización etnobotánica, morfológica y genética.
Rancho Santa Ana, municipio de San Agustín Tlaxiaca	Sin organización. Extrae el aguamiel de sus propios agaves para producir el jarabe de aguamiel.	Es un rancho cinegético con un total de 300 ha, en el pasado en el rancho se cultivaban agaves pulqueros y se dedicaban a la producción de pulque. En la actualidad sólo existen algunos remanentes de los metepantles de hace unos 80 años. Desde el 2021 iniciaron con el cultivo de agaves pulqueros y la producción de jarabe de aguamiel.	Los productores y manejadores de agaves no reconocen las variedades tradicionales de agaves pulqueros.	Ninguna

A continuación, se realiza una descripción etnobotánica, morfológica y genética de los agaves pulqueros que son más usados en las localidades del estado de Hidalgo. De acuerdo con los resultados etnobotánicos, los agaves poseen características distintivas, principalmente en color, tamaño y forma de la roseta y características de la espina terminal (*púa*) y los dientes laterales (*mechichihuales*) de las hojas, estas características morfológicas a su vez parecen tener relación con otras características fisicoquímicas asociadas a los aguamieles, principalmente el dulzor y la acidez, pero que no fueron corroboradas en esta investigación. Además, distinguen los tipos de agaves por su reproducción, identificando aquellos que producen muchos hijuelos y otros agaves que en corto tiempo llegan a su madurez y que presentan rasgos distintivos que indican que emergerá el quiote o inflorescencia.

Manso

Identidad taxonómica: *Agave salmiana* subespecie *salmiana*. *Nombres comunes:* manso de zoqui (Proveniente de la localidad de Zoquizoquipan, Hidalgo), maguey fino. *Morfotipo dentro de esta variedad:* manso colorado (pencas u hojas con márgenes de color rojo); manso penca ancha (hojas o pencas muy anchas), manso hembra (más anchos en la base, produce mayor cantidad de hijuelos), mansos machos (menos anchos en la base, nula o menos producción de hijuelos), también se distingue mansos grandes, medianos y chicos. *Categoría de manejo:* Manejada *ex situ*, se encuentra en sistemas productivos de metepantle, milpa, terrazas, ñu'ta, huertas de traspatio y también en hileras o linderos limitando espacios de cultivo. *Uso específico:* aguamiel y mixiote. *Descripción etnobiológica:* es el maguey que mayormente se siembra en el altiplano pulquero, es dócil, de allí su nombre común, lo cual está relacionado con la facilidad al manejarlos por estar menos armados (espina terminal y dientes laterales) y producir nulo o menos *güixe* (dermatitis de contacto) y menos fibras que facilita el corte. El maguey tiene una forma simétrica, es de medio porte, el “meyolote” es grueso (corresponde al centro del maguey, deriva del náhuatl y significa “corazón de maguey”), los “mechichihuales” son estéticos, uniformes y pequeños, el color es un verde claro (Figura 3). Es reconocido por la calidad de aguamiel, pues es más dulce, lo cual conlleva a pulques de mejor calidad. Los productores del municipio Cardonal afirman que esta variedad llega a la región a través de programas de gobierno. De acuerdo con su percepción se está perdiendo porque no da hijuelos, es ideal para los animales, “no cuesta para arrancarlo”.



Figura 3. Individuo de la variedad tradicional de agave pulquero *Manso*, en sistema productivo metepantle.
Figure 3. Individual of the traditional pulque agave variety *Manso* in a *metepantle* production system.

En la Tabla 2 se muestran resultados de la morfología y diversidad genética de las diferentes variedades tradicionales de agave pulquero.

Tabla 2. Análisis morfológico y diversidad genética de las variedades tradicionales de agaves pulqueros principalmente usados en las localidades estudiadas.

Table 2. Morphological analysis and genetic diversity of the most used traditional agave varieties in the study localities.

Variedad	Característica						Diversidad genética (H ₀)
	Altura de la roseta (cm)	Diámetro de la roseta (cm)	Número de hojas (Conteo)	Largo hoja (cm)	Ancho medio de la hoja (cm)	Número de dientes laterales (Conteo)	
Manso	223 ± 32	350 ± 60	27 ± 5	168 ± 22	32 ± 3	58 ± 8	0.180 (n = 6; La Gaspareña) 0.133 (n = 3; Cardonal)
Manso colorado	255 ± 49	390 ± 115	28 ± 6	176 ± 33	31 ± 4	49 ± 0	0.180 (n = 3)
Chalqueño	310 ± 41	510 ± 108	35 ± 9	242 ± 33	32 ± 3	52 ± 11	0.117 (n = 4)
Ayoteco	288 ± 36	420 ± 78	23 ± 2	223 ± 38	32 ± 1	76 ± 8	0.100 (n = 3)
Xamini	209 ± 20	271 ± 48	19 ± 4	156 ± 10	33 ± 3	60 ± 7	0.100 (n = 25)

Chalqueño

Identidad taxonómica: *Agave salmiana* subespecie *salmiana*. *Nombres comunes:* ningún otro registrado hasta ahora. Los productores comentan que el nombre proviene del lugar de donde fue traído, es decir, del Valle de Chalco en el estado de México. *Morfotipo dentro de esta variedad:* sólo se reconocen un tipo. *Categoría de manejo:* Manejada *ex situ*, se encuentra en sistemas productivos de metepantle, milpa, terrazas, ñu'tá, huertas de traspatio y también en hileras o linderos limitando espacios de cultivo. *Uso específico:* aguamiel. *Descripción etnobiológica:* es el maguey que mayor cantidad de aguamiel produce, pero un tanto desabrida, no es muy común encontrarlo en el altiplano pulquero, generalmente son magueyes de gran tamaño, con gran cantidad de pencas u hojas y de hijuelos, las hojas son muy largas, la púa es puntiaguda y larga y los *mechichihuales* son más espaciados entre sí (Figura 3). En la Tabla 2 se muestran resultados de la morfología y de la diversidad genética de esta variedad.



Figura 4. Individuo de la variedad tradicional de agave pulquero *Chalqueño*, en sistema productivo metepantle.
Figure 4. Individual of the traditional pulque agave variety *Chalqueño* in a *metepantle* production system.

Ayoteco

Identidad taxonómica: *Agave salmiana* subespecie *salmiana* *Nombres comunes:* ningún otro registrado hasta ahora. *Morfotipo dentro de esta variedad:* ninguno otro registrado hasta ahora. *Categoría de manejo:* Manejada *ex situ*, se encuentra en sistemas productivos de metepantle, milpa, terrazas, ñu'tá, huertas de traspatio y también en hileras o linderos limitando espacios de cultivo. *Uso específico:* aguamiel. *Descripción etnobiológica:* es un tipo de maguey que junto con el manso y el Chalqueño, son los que mayormente se siembran en el altiplano pulquero. La característica que distingue a esta variedad es su crecimiento inclinado, aun cuando la planta se siembre de forma recta (Figura 5). Esta variedad es conocida por tener espinas laterales color negro. El crecimiento de la planta es lento, las hojas o pencas pueden ser caedizas y no produce tantos hijuelos como otras variedades, además de que tarda en llegar a su madurez, cerca de unos 15 a 20 años. Los resultados del análisis morfológico y diversidad genética se muestran en la Tabla 2.



Figura 5. Individuo de la variedad tradicional de agave pulquero *Ayoteco*, en sistema productivo metepantle.
Figure 5. Individual of the traditional pulque agave variety *Ayoteco* in a *metepantle* production system.

Xamini

Identidad taxonómica: *Agave salmiana* subespecie *crassispina*. *Nombres comunes:* ningún otro registrado hasta ahora. *Morfotipo dentro de esta variedad:* ningún otro registrado hasta ahora. *Categoría de manejo:* Manejada *ex situ*, se encuentra en sistemas productivos de metepantle, milpa, terrazas, ñutá, huertas de traspatio y también en hileras o linderos limitando espacios de cultivo. *Uso específico:* aguamiel. *Descripción etnobiológica:* esta variedad posee más *mechichihuales* o dientes laterales, además son robustas comparadas con otras variedades y en forma de gancho, es de color verde oscuro (Figura 5). El análisis morfológico y la diversidad genética se muestran en la Tabla 2.



Figura 6. Individuo de la variedad tradicional de agave pulquero *Xaminí*, en sistema productivo *Ñu'ta*.
Figure 6. Individual of the traditional pulque agave variety *Xaminí* in a *Ñu'ta* production system.

En la Tabla 3 se realiza la descripción de otras variedades tradicionales de agaves pulqueros que se usan en menor medida debido a que son poco abundantes y además producen aguamiel de menor calidad, de acuerdo con la percepción de los productores.

Tabla 3. Descripción de las variedades tradicionales de agaves pulqueros registrados durante el estudio en las 12 localidades abordadas en el estado de Hidalgo.

Table 3. Description of the traditional pulque agave varieties recorded during the study in 12 localities in the state of Hidalgo.

Nombre común	Identidad taxonómica	Descripción	Imagen
Coronilla (n = 3)	<i>Agave salmiana</i> subsp. <i>salmiana</i>	Se caracteriza por presentar una gran cantidad de dientes laterales en las hojas o penca, hojas se posicionan de tal manera que simulan una corona con las espinas terminales. <i>Morfología:</i> Altura de la roseta: 221 ± 30 cm, Diámetro de la roseta: 354 ± 48 cm, Número de hojas: 30 ± 5 , Largo hoja: 176 ± 9 m, Ancho medio hoja: 36 ± 2 cm, Número de dientes laterales: 67 ± 7 . <i>Diversidad genética:</i> $H_o = 0.033$.	

Oreja de liebre (n = 2) *Agave salmiana* subsp. *salmiana*

La hoja, que asemeja una oreja de liebre y sus hojas presentan una coloración grisácea. *Morfología:* Altura de la roseta: 168 ± 8 cm, Diámetro de la roseta: 251 ± 16 cm, Número de hojas: 32 ± 8 , Largo hoja: 143 ± 4 cm, Ancho medio hoja: 28 ± 0 cm, Número de dientes laterales: 39 ± 1 . *Diversidad genética:* $H_o = 0.100$.



Cenizo o colibrí cenizo (n = 7) *Agave salmiana* subsp. *salmiana*

Presenta hojas glaucas, que los productores le dan nombre por su color verde grisáceo a blanco. *Morfología:* Altura de la roseta: 167 ± 23 cm, Diámetro de la roseta: 240 ± 65 cm, Número de hojas: 25 ± 6 , Largo hoja: 125 ± 20 cm, Ancho medio hoja: 28 ± 4 cm, Número de dientes laterales: 43 ± 5 . *Diversidad genética:* $H_o = 0.020$.



Penca ancha *Agave salmiana* subsp. *salmiana*

Presenta pencas planas y anchas



Rayado *Agave salmiana*

Conocido con los nombres comunes de chichimeco, meco y pinto. Es apreciado para uso ornamental, también se reconoce cualidades medicinales tanto para humanos principalmente para tratar cáncer, anemias y para animales domésticos para tratar golpes y heridas. La característica distintiva es su coloración amarilla en los márgenes o en toda la hoja.



Palmilla *Agave salmiana*

La característica distintiva de esta variedad es la forma de las hojas, estas se doblan hacia el meyolote de la planta y la púa o espina terminal es más larga comparada con la variedad manso.



Cimarrón, It'ui	<i>Agave salmiana</i> subsp. <i>crassispina</i>	Generalmente se encuentra manejada <i>in situ</i> , en algunos lugares se encuentran plantas en espacios productivos. Otros nombres que recibe son: corriente, bronco, verde de monte. Hay morfotipos dentro de esta variedad, cimarrones con penca colorada, cimarrones cenizos, espina chica, penca ancha y penca larga. Es la variedad que crece en el cerro, también le llaman silvestres, se distingue porque son plantas pequeñas, con hojas o pencas duras, son más difíciles de cortar y pueden llegar a producir más <i>güixe</i> que las variedades cultivadas. <i>Morfología</i> : Altura de la roseta: 151 ± 23 cm, Diámetro de la roseta: 174 ± 39 cm, Número de hojas: 10 ± 3 , Largo hoja: 119 ± 11 cm, Ancho medio hoja: 25 ± 3 cm, Número de dientes laterales: 36 ± 6 .	
Bonza Uada (n = 7)	<i>Agave salmiana</i>	Es un tipo de agave que se identifica porque presenta gran cantidad de hojas o pencas, las cuales son acanaladas como una “canoa”. <i>Diversidad genética</i> $H_o = 0.200 \pm 0.113$	
Penca Larga, Carricillo o Maye	<i>Agave mapisaga</i>	Es la variedad que se distingue por la mano o penca larga. <i>Morfología</i> (n = 3): Altura de la roseta: 267 ± 7 cm, Diámetro de la roseta: 380 ± 34 cm, Número de hojas: 27 ± 3 , Largo hoja: 220 ± 8 cm, Ancho medio hoja: 25 ± 3 cm, Número de dientes laterales: 85 ± 5 . <i>Diversidad genética</i> (n = 19): $H_o = 0.094 \pm 0.058$	
Xi'nu (n = 11)	<i>Agave salmiana</i>	Es una variedad de penca o hoja ancha, color amarilla o verde manzana, posee pocas <i>manitas</i> o espinas espaciadas (dientes laterales). <i>Morfología</i> (n = 2): Altura de la roseta: 216 ± 13 cm, Diámetro de la roseta: 298 ± 58 cm, Número de hojas: 24 ± 11 , Largo hoja: 168 ± 11 cm, Ancho medio hoja: 33 ± 4 cm, Número de dientes laterales: 57 ± 3 . <i>Diversidad genética</i> : $H_o = 0.143 \pm 0.101$	

Hoc Uada (n = 4) Posiblemente *Agave americana* También llamado mexicano. $Ho = 0.200 \pm 0.133$



Maguey Amarillo (n = 3) *Agave salmiana* Variedad que se reconoce por la coloración de las pencas u hojas de color verde amarillento. $Ho = 0.200 \pm 0.133$



Blanco o cenizo (n = 3) Posible *A. americana* Se reconoce por la coloración blancuzca de las pencas u hojas. *Morfología* (n = 1): Altura de la roseta: 220 cm, Diámetro de la roseta: 307 cm, Número de hojas: 31, Largo hoja: 182 cm, Ancho medio hoja: 34 cm, Número de dientes laterales: 62. *Diversidad genética*: $Ho = 0.160 \pm 0.100$



Botha (n = 8) *Agave salmiana* Es una variedad de penca o hoja delgada y larga, posee un color moreno, también le llaman negrito. Es una variedad que crece mucho. *Diversidad genética*: $Ho = 0.117 \pm 0.100$



Arroqueño	No identificado La variedad Arroqueño de Oaxaca corresponde a <i>Agave americana</i> var. <i>oaxacensis</i> , este individuo registrado difiere en las características distintivas.	No es variedad de la región, fue traída desde Oaxaca.
------------------	--	--



DISCUSIÓN

La agrobiodiversidad de agaves empleados para la producción de jarabe de aguamiel en el estado de Hidalgo fue alta, comparado con los registros de otras entidades en la república mexicana. Asimismo, se encontraron sistemas productivos tradicionales como el Metepantle y Ñu'tá, ambos sistemas mantienen elevada agrobiodiversidad de agaves. Con los registros de variedades tradicionales de este estudio, se eleva a 28 variedades de agaves pulqueros que son empleados en esta región de México, siendo la variedad *Manso* (*Agave salmiana* subespecie *salmiana*), la de mayor importancia en los municipios de Singuilucan y Zempoala; y la variedad *Xamini* (*Agave salmiana* subespecie *crassispina*) en el municipio del Cardonal.

Los sistemas productivos y la agrobiodiversidad de los agaves pulqueros

En México se han registrado 40 especies que son empleadas para la producción de pulque, las cuales pueden ser manejadas en sus ambientes naturales como es el caso de *A. marmorata* en parte de Oaxaca, o también agaves que se manejan en monocultivos extensivos de la especie *A. salmiana* y *A. mapisaga*, como en el Rancho San Isidro en Nanacamilpa en el estado de Tlaxcala, y existen casos intermedios en el gradiente de intensidad de manejo (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020). El estado de Hidalgo es reconocido por la diversidad de agaves pulqueros que posee. Se ha documentado cinco especies de agaves con 20 variedades tradicionales que son empleados para la producción de pulque principalmente, y son las que también se emplean para la producción de jarabe de aguamiel en varias comunidades de la altiplanicie pulquera y el Valle del Mezquital (Figueredo-Urbina *et al.*, 2021; Vega *et al.*, 2023). En este estudio se eleva la cantidad de variedades tradicionales de agaves pulqueros a 28 para el estado de Hidalgo, lo cual lo posiciona no solo como la entidad con la mayor cantidad de terreno cultivado de estas plantas, el estado con la mayor producción en litros de pulque, sino también de variedades tradicionales de agaves pulqueros, mantenidos en sistemas productivos tradicionales.

Los agaves pulqueros son diversos, para el altiplano meridional se han registraron 62 variedades (Mora-López *et al.*, 2011). De igual forma, previamente para el estado de Hidalgo, encontraron que las comunidades mestizas y Hñahñü del Valle del Mezquital cultivan entre 15 a 21 variedades, respectivamente, sugiriendo un manejo de mayor agrobiodiversidad en el caso de comunidades de pueblos originarios (Reyes-Agüero *et al.*, 2019). En el centro de México, otras regiones con elevada agrobiodiversidad son el estado de Tlaxcala, donde se han documentado al menos ocho variedades tradicionales en la comunidad Nahua de San Pedro Tlalcuapan, seis para *A. salmiana* subsp. *salmiana* y dos para *A. americana* (Muñoz-Camacho *et al.*, 2023). Tendencia similar registraron Figueredo *et al.*, (2021) donde el sistema productivo manejado por el productor de mayor edad y de origen Hñahñü, mantenía variedades tradicionales poco comunes y que no fueron registradas en otros sistemas productivos, como por ejemplo: *Xamini*, *Guanté*, *Muthá* y *Penca larga*. Con estos antecedentes junto con lo reportado por Reyes-Agüero *et al.*, (2019); se evidencia que los sistemas productivos tradicionales son espacios que albergan elevada

agrobiodiversidad, lo cual representa que son importantes reservorios de biodiversidad y son por lo tanto bancos de germoplasma *in situ* que deben conservarse. Además de la elevada agrobiodiversidad de agaves también albergan otras plantas útiles, además de flora y fauna nativa, que en su conjunto hacen de estos espacios productivos clave no solo en términos de mantenimiento de biodiversidad, si no también para lograr la soberanía y seguridad alimentaria de la región a la vez que se desarrollan espacios productivos sustentables.

Por otro lado, en otros estados de la república mexicana también se han registrado diferentes números de variedades tradicionales de agaves pulqueros, pero todos los casos están por debajo de lo registrado para Hidalgo. Por ejemplo, en el estado de Puebla, se han registrado siete variedades tradicionales y a diferencia de los trabajos anteriores, los productores de esta zona mantienen en sus cultivos la especie *A. applanata*, la cual fue ampliamente usada en el pasado, aunque no queda claro los propósitos de manejo (Álvarez-Duarte *et al.*, 2018). En el estado de Tlaxcala, se han identificado entre 9 a 12 variedades de agaves pulqueros (Trejo *et al.*, 2020). En el Estado de México, encontraron seis variedades tradicionales de agaves pulqueros (Alfaro-Rojas *et al.*, 2007), mientras que en el estado de Michoacán se han registrado cinco (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020).

Varios autores coinciden en que el género *Agave* es muy variable, con una elevada plasticidad, que se debe principalmente a la gran cantidad de ambientes que existen en México y también debido a que en su evolución han intervenido factores como la aridificación de los ambientes y características de historia de vida de los agaves como es su polinización (Granados, 1993; Palomino *et al.*, 2012). En el caso de los agaves pulqueros, el manejo ha conllevado también a una elevada agrobiodiversidad, la cual es debida a diversas motivaciones culturales de mantener estos agaves en sus sistemas productivos, porque son multipropósitos y proveen de muchos beneficios con pocos cuidados. Gentry (1982) define a esta relación como una simbiosis humano-agave, relación de miles de años en donde los agaves han proveído de alimento y recursos a los humanos, y los productores han manipulado las poblaciones naturales de estas plantas, seleccionando las de interés y trasplantándolas a sus sistemas productivos. Este proceso de selección artificial y las prácticas de trasplante de los agaves, junto con la hibridación entre diferentes especies cercanas ha dado como resultado la gran variedad de agaves que es posible encontrar en los sistemas productivos, que los productores y personas que manejan estas plantas reconocen con facilidad, pero desafían la clasificación científica (Bye, 1993) y representa un reto en la actualidad.

Aun cuando podemos encontrar elevada agrobiodiversidad en el altiplano mexicano, en otras localidades del estado de Hidalgo, los productores han cambiado a otros rubros agrícolas, como ocurrió históricamente con los espacios productivos en Apan, en donde hubo una conversión de los sistemas tradicionales de cultivo hacia una agricultura comercial y mecanizada (González Jácome, 2016). Estos hechos han traído como consecuencia pérdida de la agrobiodiversidad de agaves, para tener espacio para el cultivo, se retiran las líneas de los agaves para que puedan entrar la maquinaria y con ello se pierden algunas variedades tradicionales, lo cual a su vez tienen consecuencia en la diversidad genética, pues también se pierden variantes genotípicas particulares.

También se han establecido sistemas productivos con una o pocas variedades de agaves pulqueros, generalmente las más rendidoras, con un aumento en la intensidad de manejo (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020; Vega *et al.*, 2023), puesto que son cultivos de gran extensión de terreno, muy intensivos; donde se usa tecnología agrícola y maquinaria, así como la aplicación de herbicidas y fertilizante inorgánicos para maximizar rendimiento, y también la remoción de la vegetación natural para establecer nuevos cultivos, lo cual amenaza la biodiversidad de la región. El manejo por varias generaciones de estas especies ha conducido a que experimente selección de ciertas características de interés para los humanos, es decir domesticación a diversos niveles, incluso es un proceso que se mantiene en estos espacios y que ha dado como consecuencia la diversidad morfológica y fisiológica que se puede apreciar hoy en día. La interacción constante

de los manejadores de los agaves permite la selección de rasgos distintivos como son el tamaño, conllevando a variedades con rosetas más grandes que a su vez producen más cantidad de aguamiel, las espinas y los dientes laterales son características que no parecen estar bajo selección. Los rasgos reproductivos de la planta como son la producción de hijuelos y tiempo de la planta para alcanzar la reproducción sexual son de mayor importancia, a determinadas variedades se le asocian nombres que denotan baja producción de hijuelos como es la variedad “Manso macho” o la variedad “Ayoteco” que según comentan los manejadores tarda entre 20 a 25 años para alcanzar la madurez.

Es importante mencionar que en el caso de las especies que hemos registrado en esta investigación, se ha identificado que pueden exhibir diversos niveles de ploidía, por ejemplo; para *A. americana* se han encontrado plantas diploides, tetraploides y hexaploides, *A. mapisaga* presenta pentaploides estériles, en *A. salmiana* se han registrado plantas tetraploides y hexaploides (6x) (Palomino *et al.*, 2007; Robert *et al.*, 2008). Esta característica de los agaves está asociada a los tamaños de las rosetas en estas variedades cultivadas, comparado con los agaves de poblaciones silvestres que se encuentran en ambientes naturales, que suelen ser más pequeñas. Este hecho también se relaciona con los procesos de domesticación, pues estos rasgos fenotípicos en las plantas son seleccionados a favor, pues hay un interés en plantas más grandes, así se ha observado en diversos casos de plantas, donde hay una tendencia hacia el gigantismo. (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2017).

En general, los agaves exhiben niveles similares de diversidad genética ($H_S = 0.190$; Eguiarte *et al.*, 2013), comparado con angiospermas monocotiledóneas a nivel isoenzimático ($H_{ES} = 0.158$; Hamrick & Godt, 1996) y a nivel de RAPD ($H_{POP} = 0.190$; Nybom & Bartish, 2000), y en el presente estudio se encontraron valores de diversidad similares a los reportados en estos trabajos, sin embargo; en estas comparaciones debe considerarse que se trata de marcadores moleculares diferentes. También se ha evaluado la diversidad genética usando microsatélites de núcleo, de cinco variedades de agaves pulqueros en sistemas de manejo en linderos en Michoacán, en el cual registraron valores de diversidad genética (H_o) a nivel de especies (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020), superiores a lo que se registra en este trabajo, pero esto puede deberse a las diferencias metodológicas en cuanto a la visualización de los datos.

La baja diversidad genética en agaves pulqueros puede deberse a un conjunto de características intrínsecas de la planta, así como el hecho de que los cultivos en su mayoría han sido propagados de forma vegetativa y de acuerdo con las evidencias arqueológicas, esta actividad ya lleva miles de años practicándose, es decir cerca de 4,000 años de sistemas tipo terraza y metepantles donde aún en la actualidad prevalece su cultivo de esta forma (González Jácome, 2016; Torres-García *et al.*, 2019) Además, el manejo de las plantas y la eliminación de la posibilidad reproducción sexual, también cancela la recombinación genética. Todos estos hechos conllevan a valores bajos de los parámetros de diversidad, la cual a su vez puede tener consecuencias negativas, pues las plantaciones no cuentan con las variaciones que le permitirían hacer frente a problemas ambientales como es la presencia de plagas. Otros agaves han sido afectados de manera significativa a nivel genético cuando se propagan de forma vegetativa en monocultivos, como es el caso de *A. tequilana*, en cual ha experimentado pérdida de diversidad genética y afectaciones irreversible por enfermedades y plagas (Trejo *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

Los agaves pulqueros en el estado de Hidalgo son mantenidos en metepantles, ñu'tá, linderos y magueyeras, la diferencia principal es en los componentes del agroecosistema, la agrobiodiversidad de magueyes y la disposición de las plantas, predominando el arreglo en línea con espacio entre estas para el cultivo de otros rubros. Para la producción de jarabe de aguamiel en el estado de Hidalgo se utiliza una elevada agrobiodiversidad, con 28 tipos diferentes de plantas que poseen características distintivas principalmente de tamaño, forma y color de las

rosetas, así como características organolépticas de la savia o aguamiel, junto con características reproductivas de las plantas. Además, estas plantas se mantienen en sistemas productivos tradicionales como los *Metepantles* y los *Nu'tá*. A pesar de que se encontró bajo niveles de diversidad genética para algunas variedades tradicionales de agave pulqueros, esto puede ser sopesado por el hecho de que los manejadores tienen la motivación de mantener en sus espacios productivos diferentes tipos de agaves, manteniendo así elevada agrobiodiversidad. Adicionalmente, algunos productores tienen conciencia de que la planta es de importancia para ellos, pero también para otros organismos y el medio en el que se encuentran, por lo que dejan que se reproduzcan sexualmente, así los polinizadores aprovechan el néctar y de esa manera obtienen semillas, estrategia que puede ser favorable para las poblaciones de estas plantas. Sin embargo, también existe un manejo con prácticas poco adecuadas, como fue la instalación de nuevos cultivos de agaves, en donde se remueve la vegetación natural, se cultivan de formas inapropiadas los agaves, conduciendo a la erosión del suelo, además para lograr un alto rendimiento se usan agroquímicos que representan efectos negativos al ambiente. En este sentido, es pertinente establecer estrategias de manejo y conservación de estos espacios y las plantas. Desde hace más de una década, se ha tratado de implementar una ley de protección de los agaves, sin embargo, hasta el momento no se ha consolidado, debido principalmente a los cambios políticos que se han dado, además del desinterés de algunos productores. Consideramos que una ley tal vez no sea la solución definitiva, hemos propuesto como parte de la estrategia de conservación, la visibilización y revalorización tanto de la planta como de los sistemas productivos metepantles, y que el público en general, productores y las nuevas generaciones, vean en ellos un sistema económico redituable y forma de vida sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los manejadores de magueyes y las familias que nos la realización de este trabajo. Esta investigación es parte del Proyecto Investigadoras e Investigadores por México CONACYT CIR/0010/2022, con financiamiento del proyecto CONACYT 317510. Agradecemos al maestro Mario A. García-Montes y el doctor Pablo Octavio Aguilar, por el apoyo recibido para la realización de la sección de genética de poblaciones.

LITERATURA CITADA

- Álvarez Palma, A., Cassiano, G., & Villa Kamel, A. (1998). La explotación del maguey pulquero en la zona de Metztitlan: datos etnográficos y arqueológicos. *Dimensión Antropológica*.
- Álvarez Ríos, G. D. (2019). *Influencia de la microbiota y el manejo sobre la calidad del pulque*. Tesis de Maestría [Tesis de Maestría]. UNAM.
- Álvarez-Duarte, M., García-Moya, E., Suárez-Espinosa, J., Luna-Cavazos, M., & Rodríguez-Acosta, M. (2018). Conocimiento tradicional, cultivo y aprovechamiento del maguey pulquero en los municipios de Puebla y Tlaxcala. *Polibotánica*, 45, 205–222.
- Álvarez-Ríos, G. D., Figueredo-Urbina, C. J., & Casas, A. (2020). Sistemas de manejo de maguey pulquero en México. *Etnobiología*, 18(2), 3–23. <https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/377>
- Álvarez-Ríos, G. D., Pacheco-Torres, F., Figueredo-Urbina, C. J., & Casas, A. (2020). Management, morphological and genetic diversity of domesticated agaves in Michoacán, México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 16(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/S13002-020-0353-9/FIGURES/6>
- Álvarez-Ríos, G., Vallejo, M., Figueredo-Urbina, C. J., & Estremo, S. (2022). *Agaves pulqueros de México. Mapa distribución y uso*. UNAM.
- Bernard Russell, H. (2017). *Research methods in anthropology: qualitative and quantitative approaches*.
- Bremer, B., Bremer, K., Chase, M. W., Fay, M. F., Reveal, J. L., Bailey, L. H., Soltis, D. E., Soltis, P. S., Stevens, P. F., Anderberg, A. A., Moore, M. J., Olmstead, R. G., Rudall, P. J., Sytsma,

- K. J., Tank, D. C., Wurdack, K., Xiang, J. Q. Y., & Zmarzty, S. (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2), 105–121. <https://doi.org/10.1111/J.1095-8339.2009.00996.X>
- Buccio Peña, R., Figueredo Urbina, C. J., Jiménez López, M. M., & Moreno Montiel, R. (2022). Los usos y costumbres gastronómicas de la planta de las mil maravillas: Los Magueyes. *Memorias 8vo Congreso Nacional Del Maguey y El Pulque*, 15–23.
- Bye, R. (1993). The role of humans in the diversification of plants in Mexico. In T. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, & J. Fa (Eds.), *Biological Diversity of México: Origins and Distribution*. Oxford University Press.
- Byers, C., Maughan, P. J., Clouse, J., & Stewart, J. R. (2014). Microsatellite Primers in *Agave utahensis* (Asparagaceae), a Keystone Species in the Mojave Desert and Colorado Plateau. *Https://Doi.Org/10.3732/Apps.1400047*, 2(9). <https://doi.org/10.3732/APPS.1400047>
- Callen, E. (1967). Analysis of the Tehuacan coprolites. In Byers D (Ed.), *The Prehistory of the Tehuacan Valley* (First, Vol. 1, pp. 261–289). University of Texas Press.
- Chase, M. W., Christenhusz, M. J. M., Fay, M. F., Byng, J. W., Judd, W. S., Soltis, D. E., Mabblerley, D. J., Sennikov, A. N., Soltis, P. S., Stevens, P. F., Briggs, B., Brockington, S., Chautems, A., Clark, J. C., Conran, J., Haston, E., Möller, M., Moore, M., Olmstead, R., ... Weber, A. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1), 1–20. <https://doi.org/10.1111/BOJ.12385>
- Colunga-García, Marín, P., Zizumbo-Villarreal, D., Torres, I., Casas, A., Figueredo-Urbina, C. J., Rangel-Landa, S., Delgado-Lemus, A., & Carrillo-Galván, G. (2017). Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación. In A. Casas, J. Torres, & F. Parra (Eds.), *Domesticación en el Continente Americano* (1st ed., Vol. 2). UNAM-UNALM.
- Doyle, J. J., & Doyle, J. L. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*. <https://worldveg.tind.io/record/33886>
- Eguiarte, L. E., Aguirre-Planter, E., Aguirre, X., Colín, R., González, A., Rocha, M., Scheinvar, E., Trejo, L., & Souza, V. (2013). From Isozymes to Genomics: Population Genetics and Conservation of *Agave* in México. *Botanical Review*, 79(4), 483–506. <https://doi.org/10.1007/S12229-013-9123-X/METRICS>
- Escalante, A., López Soto, D. R., Velázquez Gutiérrez, J. E., Giles-Gómez, M., Bolívar, F., & López-Munguía, A. (2016). Pulque, a Traditional Mexican Alcoholic Fermented Beverage: Historical, Microbiological, and Technical Aspects. *Frontiers in Microbiology*, 7(JUN), 1026. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2016.01026>
- Figueredo-Urbina, C. J., Álvarez-Ríos, G. D., García-Montes, M. A., & Octavio-Aguilar, P. (2021). Morphological and genetic diversity of traditional varieties of agave in Hidalgo State, Mexico. *PLOS ONE*, 16(7), e0254376. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0254376>
- Figueredo-Urbina, C. J., Casas, A., & Torres-García, I. (2017). Morphological and genetic divergence between *Agave inaequidens*, *A. cupreata* and the domesticated *A. hookeri*. Analysis of their evolutionary relationships. *PLoS ONE*, 12(11), 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187260>
- García-Mendoza, A. J., Martínez, I. S. F., & Gutiérrez, D. S. (2019). Cuatro especies nuevas de *Agave* (Asparagaceae, Agavoideae) del sur de México. *Acta Botánica Mexicana*, 126(126), 1–18. <https://doi.org/10.21829/ABM126.2019.1461>
- Gentry, H. Scott. (1982). *Agaves of continental North America*. University of Arizona Press. https://books.google.com/books/about/Agaves_of_Continental_North_America.html?hl=es&id=TdgUAQAIAAJ
- Goncalves de Lima, O. (1986). *El maguey y el pulque en los códigos mexicanos* (Primera). FCE.
- González Jácome, A. (2016). Sistemas agrícolas en orografías complejas: las terrazas de Tlaxcala. In A. I. Moreno Calles, A. Casas, V. Toledo, & M. Vallejo (Eds.), *Etnoagroforestería en México* (Primera, pp. 111–144). UNAM.
- Granados, D. (119 C.E.). *Los agaves en México*. Universidad Autónoma de Chapingo.

- Hamrick, J. L., & Godt, M. J. W. (1996). Effects of life history traits on genetic diversity in plant species. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 351(1345), 1291–1298. <https://doi.org/10.1098/RSTB.1996.0112>
- Lindsay, D. L., Edwards, C. E., Jung, M. G., Bailey, P., & Lance, R. F. (2012). Novel microsatellite loci for *Agave parryi* and cross-amplification in *Agave palmeri* (Agavaceae). *American Journal of Botany*, 99(7), e295–e297. <https://doi.org/10.3732/AJB.1200033>
- MacNeish, R. (1967). A summary of the subsistence. In D. Byers (Ed.), *The Prehistory of the Tehuacan Valley*. (Vol. 1, pp. 290–310). University of Texas Press.
- Mora-López, L., Reyes-Agüero, A., Flores-Flores, L., Flores-Flores, B., & Aguirre-Rivera, R. (2011). *Variación morfológica y humanización de la sección Salmianae del género Agave*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000400006
- Muñoz-Camacho, L. L., Bello-Cervantes, E., Romano-Grande, E., & Trejo, L. (2023). Diversidad y conocimiento tradicional de agaves pulqueros en la comunidad de San Pedro Tlalcuapan, Tlaxcala, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94, e944979–e944979. <https://doi.org/10.22201/IB.20078706E.2023.94.4979>
- Nybohm, H., & Bartish, I. V. (2000). Effects of life history traits and sampling strategies on genetic diversity estimates obtained with RAPD markers in plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 3(2), 93–114. <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00006>
- Palomino, G., Martínez, J., Cepeda-Cornejo, V., & Pimental-Barrios, E. (2012). Nuclear genome size and cytotype analysis in *Agave cupreata* Trel. & Berger (Agavaceae). *Caryologia*, 65(4), 281–294. <https://doi.org/10.1080/00087114.2012.752915>
- Palomino, G., Martínez, J., & Méndez, I. (2007). Variación inter e intraespecífica en especies de Agave por citometría de flujo y análisis de sus cromosomas. In P. Colunga-García Marín, A. Larqué, L. Eguiarte, & D. Zizumbo-Villareal (Eds.), *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves* (1st ed.). CICY, CONACYT, CONABIO, INE y SEMARNAT.
- Peakall, R., & Smouse, P. E. (2012). GenA1Ex 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research—an update. *Bioinformatics*, 28(19), 2537. <https://doi.org/10.1093/BIOINFORMATICS/BTS460>
- Ramírez Rodríguez, R. (2018). *La querrela por el pulque. Auge y ocaso de una industria mexicana, 1890-1930*. El Colegio de Michoacán, A. C.
- Reyes-Agüero, J. A., Peña-Valdivia, C. B., Aguirre-Rivera, J. R., & Mora-López, J. L. (2019). Variación intraespecífica de *Agave mapisaga* Trel. y *Agave salmiana* Otto Ex Salm-Dyck. (Asparagaceae) relacionada con los usos ancestrales en la región Hñähñu en el Centro de México. *Agrociencia*, 53(4), 563–579. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1828>
- Robert, M. L., Lim, K. Y., Hanson, L., Sanchez-Teyer, F., Bennett, M. D., Leitch, A. R., & Leitch, I. J. (2008). Wild and agronomically important *Agave* species (Asparagaceae) show proportional increases in chromosome number, genome size, and genetic markers with increasing ploidy. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 158(2), 215–222. <https://doi.org/10.1111/J.1095-8339.2008.00831.X>
- Rojas, G. A., Porfirio, J., Solano, L., & Rodríguez Pérez, J. E. (2007). Diversidad genética en poblaciones de agaves pulqueros (*Agave* spp.) del nororiente del estado de México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 30(1), 1–1. <https://doi.org/10.35196/RFM.2007.1.1>
- Sahagún, B. (1999). *Historia general de las cosas de la Nueva España* (1st ed.). Porrúa.
- Smith, E. (1967). Plant Remains. In *The Prehistory of the Tehuacan Valley. Environment and Subsistence* (pp. 220–255).
- Thiede, J. (2020). *Agave AGAVACEAE. Monocotyledons*, 21–311. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56486-8_111
- Torres-García, I., Rendón-Sandoval, F. J., Blancas, J., Casas, A., & Moreno-Calles, A. I. (2019). The genus *Agave* in agroforestry systems of Mexico. *Botanical Sciences*, 97(3), 263–290. <https://doi.org/10.17129/BOTSCI.2202>
- Trejo, L., Limones, V., Peña, G., Scheinvar, E., Vargas-Ponce, O., Zizumbo-Villarreal, D., & Colunga-García Marín, P. (2018). Genetic variation and relationships among agaves related

Recibido:
27/febrero/2024

Aceptado:
20/junio/2024

- to the production of Tequila and Mezcal in Jalisco. *Industrial Crops and Products*, 125, 140–149. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2018.08.072>
- Trejo, L., Reyes, M., Cortés-Toto, D., Romano-Grande, E., & Muñoz-Camacho, L. L. (2020). Morphological Diversity and Genetic Relationships in Pulque Production Agaves in Tlaxcala, Mexico, by Means of Unsupervised Learning and Gene Sequencing Analysis. *Frontiers in Plant Science*, 11, 524812. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.524812/BIBTEX>
- Trejo, L., Velázquez, M. D. L. L., Vallejo, M., & Montoya, A. (2022). Differentiating Knowledge of Agave Landraces, Uses, and Management in Nanacamilpa, Tlaxcala. *Https://Doi.Org/10.2993/0278-0771-42.1.31*, 42(1), 31–50. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-42.1.31>
- Vega-García, M. A., Álvarez-Ríos, G. D., & Figueredo-Urbina, C. J. (2023). Sistemas de manejo de agaves pulqueros en el estado de Hidalgo. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 10(20), 92–100. <https://doi.org/10.29057/ICBI.V10I20.9598>
- Vela, E., Montúfar A, Anzures, N., Martínez, E., Jarquín, A., & Hernández, F. (2014). El Maguey. *Arqueología Mexicana*, 57, 1–90.