SEP

POLIBOTÁNICA

ISSN 1405-2768 ISSN 2395-9525



Núm. 61 Enero 2026

Ciencia y Tecnología

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

POLIBOTÁNICA Núm. 61 Enero 2026

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"
DIRECCIÓN DE PUBLICACIONES

PÁG.

CONTENIDO

1 La familia *Buxaceae* en México
The *Buxaceae* family in Mexico
Rafael Fernández N. | María de la Luz Arreguín Sánchez

23 Riqueza de epífitas vasculares en la reserva El Peñón, municipio de Valle de Bravo, Estado de México, México
Vascular epiphyte richness in The Peñón reserve, municipality of Valle de Bravo, Estado de México, Mexico
Ivonne Gomez | Bruno Téllez | Adolfo Espejo-Serna | Ana Rosa López-Ferrari

55 Variación de umbrales dnbr y rbr en la detección de incendios forestales en el área Iztaccíhuatl-Popocatépetl México
Variation of dnbr and rbr thresholds in forest fire detection in the Iztaccihuatl-Popocatepetl area, Mexico
Ederson Steven Cobo Muelas | Pablito Marcelo López Serrano | Daniel José Vega Nieva | Jose Javier Corral Rivas | José López García | Lilia de Lourdes Manzo Delgado

75 Dinámica fenológica mensual de especies de bosque mixto.
Monthly phenological dynamics of mixed forest species.
Cynthia Judith Carranza Ojeda | Juan Antonio Reyes Agüero | Carlos Alfonso Muñoz Robles | Anuschka Van't Hooft | Jorge Alberto Flores Cano | José Villanueva Díaz

101 Servicios ecosistémicos de provisión en comunidades de pueblos Otomí y Matlazincas del Estado de México, México
Provision of ecosystem services in indigenous communities in the State of Mexico, Mexico
Laura White-Olascoaga | David García-Mondragón | Carmen Zepeda-Gómez

115 Comparación de tasas de respiración del suelo en ecosistemas agrícola, agostadero y urbano en una zona semiárida en Juárez, Chihuahua, México
Comparison of soil respiration rates in agricultural, rangeland, and urban ecosystems at semiarid areas in Juárez, Chihuahua, Mexico
Juan Pedro Flores Margez | Alejandra Valles Rodriguez | Pedro Osuna Avila | Dolores Adilene Garcia Gonzalez

133 Caracterización ecológica de la zona de proliferación del hongo blanco de pino (*Tricholoma mesoamericanum*) en "El Guajolote" Hidalgo, México
Ecological characterization of the fruiting area of the pine white mushroom (*Tricholoma mesoamericanum*) in "El Guajolote" Hidalgo, Mexico
Alvaro Alfonso Reyes Grimaldo | Ramón Razo Zárate | Oscar Arce Cervantes | Magdalena Martínez Reyes | Jesús Pérez Moreno | Rodrigo Rodríguez Laguna

145 Influencia de la variabilidad climática y del fenómeno ENOS en el crecimiento radial de *Pinus rzedowskii* y *P. martinezii* en Michoacán, México
Influence of climate variability and the ENSO phenomenon on the radial growth of *Pinus rzedowskii* and *P. martinezii* in Michoacán, Mexico
Ulises Manzanilla Quiñones | Patricia Delgado Valerio | Teodoro Carlón Allende

165 Caracteres morfométricos y patrones de germinación de semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. de diferentes procedencias
Morphometric characteristics and germination patterns of *Pinus pseudostrobus* Lindl. seeds from different sources
Daniel Madrigal González | Nahum Modesto Sánchez-Vargas | Mariela Gómez-Romero | María Dolores Uribe-Salas | Alejandro Martínez-Palacios | Selene Ramos-Ortiz

181 Germinación de *Ormosia macrocalyx* Ducke (Fabaceae), árbol nativo en peligro de extinción
Germination of *Ormosia macrocalyx* Ducke (Fabaceae), an endangered native tree
Brenda Karina Pozo Gómez | Carolina Orantes García | Dulce María Pozo Gómez | Alma Gabriela Verdugo Valdez | María Silvia Sánchez Cortés | Rubén Antonio Moreno Moreno

193 Propagación in vitro de callos de morera (*Morus alba* L.) como alternativa alimenticia para larvas de gusanos de seda (*Bombyx mori*)
In vitro propagation of *Morus alba* L. calli as an alternative feed for silkworm (*Bombyx mori*) larvae
Alma Rosa Hernández Rojas | José Luis Rodríguez-de la O | Alejandro Rodríguez-Ortega | Elvis García-López | Manuel Hernández-Hernández | Jessica Lizbeth Sebastián-Nicolás | Rosita Deny Romero-Santos

205 Mejoras en un método comercial de extracción de ADN para obtener extractos de ácido nucleico de alta calidad a partir de yemas vegetativas de *Populus tremuloides* Michx.
Improvements to a commercial DNA extraction method for high-quality nucleic acid extractions from *Populus tremuloides* Michx. vegetative buds
Cecilia Gutierrez | Marcelo Barraza Salas | Ilga Mercedes Porth | Christian Wehenkel

221 Crecimiento de plántulas de *Laelia autumnalis* y *Encyclia cordigera* en función de la concentración de sacarosa y carbón activado.
Growth of *Laelia autumnalis* and *Encyclia cordigera* seedlings as a function of sucrose and activated charcoal concentration
Marcela Cabañas Rodríguez | María Andrade Rodríguez | Oscar Gabriel Villegas Torres | Iran Alia Tejacal | Porfirio Juarez López | José Antonio Chávez García

235 Dinámica fenologica mensual de especies de bosque mixto
Montly phenological dynamics of mixed forest species
Andrea Cecilia Acosta-Hernández | Eduardo Daniel Vivar Vivar | Marin Pompa-García

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"
DIRECCIÓN DE PUBLICACIONES

PÁG. CONTENIDO

259 Efecto de hongos micorrízicos arbusculares sobre la supervivencia y el crecimiento de plantas de *Dalbergia congestiflora* propagadas in vitro y por semilla en condiciones de invernadero
Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the survival and growth of *Dalbergia congestiflora* plants propagated in vitro and from seed under greenhouse conditions
Enrique Ambriz | Carlos Juan Alvarado López | Yoshira López Antonio | Hebert Jair Barrales Cureño | Rafael Salgado Garciglia | Alejandra Hernández García

273 Crioconservación de explantes florales encapsulados de cacao (*Theobrona cacao* l.) mediante deshidratación y vitrificación
Cryopreservation of encapsulated floral explants of cacao (*Theobroma cacao* l.) by dehydration and vitrification
Eliud Rodríguez Olivera | Leobardo Iracheta Donjuan | José Luis Rodríguez de la O | Carlos Hugo Avendaño Arrazate

295 Análisis de la diversidad genética en cacao (*Theobroma cacao* L.) y pataxte (*T. bicolor* Humb. & Bonpl.) de los estados de Tabasco y Chiapas, México
Genetic diversity analysis in cocoa (Theobroma cacao L.) and pataxte (*T. bicolor* Humb. & Bonpl.) from Tabasco and Chiapas, Mexico
Fernanda Sarahi Hernández Montes | Guadalupe Concepción Rodríguez Castillejos | Guillermo Castañón Nájera | Octelina Ruiz Castillo | Christian Asur Christian Asur | Hernán Wenceslao Araujo Torres | Régulo Ruíz Salazar

311 Respuesta morfogenética de *Agave angustifolia* al gradiente auxina-citocinina durante el desarrollo de embriones somáticos indirectos
Morphogenetic response of *Agave angustifolia* to the auxin-cytokinin gradient during the development of indirect somatic embryos
Jesús-Ignacio Reyes-Díaz | Rosa María Nava-Becerril | Amaury-Martín Arzate-Fernández

329 Efecto del ácido salicílico en el incremento de biomasa y azúcares reductores en *Agave cupreata* y *Agave salmiana*
Effect of salicylic acid on increase of biomass and reducing sugars in *Agave cupreata* and *Agave salmiana*
Hilda Guadalupe GARCÍA NÚÑEZ | Amaury Martín Arzate-Fernández | Ana María Roque-Otero | Martín Rubí-Arriaga | Aurelio Domínguez-López

343 Contribución al conocimiento tradicional sobre el uso y manejo de los recursos vegetales en el municipio de Malinalco, Estado de México, México.
Contribution to traditional knowledge of plant resource use and management in Malinalco, State of Mexico, Mexico
Margarita Micaela Avila Uribe | Blanca Margarita Berdeja-Martínez | Ana María Mora-Rocha | Yajaira Cerón-Reyes | Karla Mariela Hernández-Sánchez | María Eugenia Ordorica Vargas | Lidia Cevallos-Villanueva

365 La agrobiodiversidad del agroecosistema traspatio como estrategia contra la pobreza extrema en Platón Sánchez, Veracruz, México
Agrobiodiversity in the backyard agroecosystem as a strategy against extreme poverty in Platon Sanchez, Veracruz, Mexico
Rubén Purroy-Vásquez | Gregorio Hernández-Salinas | Jorge Armida-Lozano | Alejandro Llaguno-Aguiñaga | Karla Lissete Silva-Martinez | Nicolás Francisco Mateo-Díaz

385 Quelites entre cocineras tradicionales nahuas y totonacas de la Sierra Norte de Puebla, México
Quelites among nahua and totonac traditional cooks from the Northern Sierra of Puebla, Mexico
Victoria Ortiz-Trápala | Heike Vibrans | María Edelmira Linares-Mazari | Diego Flores-Sánchez

409 *Litsea glaucescens* y *Clinopodium macrostemum* recursos forestales no maderables en mercados tradicionales de los Valles Centrales de Oaxaca
Litsea glaucescens and *Clinopodium macrostemum* non-timber forest resources in traditional markets of the Central Valleys of Oaxaca
Domitila Jarquín-Rosales | Gisela Virginia Campos Angeles | Valentín José Reyes-Hernández | Salvador Lozano-Trejo | Juan José Alpuche-Osorno | Gerardo Rodriguez-Ortiz

427 Sistemas verticales rústicos para la producción de alimentos en espacios limitados: un aporte a la seguridad alimentaria familiar
Rustic vertical home gardens for food production in limited spaces: a contribution to household food security
Pablo Yax-Lopez | Kevin Manolo Noriega Elías | Jorge Rubén Sosof Vásquez

443 Orquídeas silvestres comercializadas en cinco mercados tradicionales de Oaxaca, México
Wild orchids sold in five traditional markets in Oaxaca, Mexico
María Hipolita Santos Escamilla | Gisela Virginia Campos Angeles | José Cruz Carrillo Rodríguez | Nancy Gabriela Molina Luna

457 Proceso artesanal de elaboración de jabón de corozo (*Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer) en la región de la Chontalpa, Tabasco, México
Artisanal process of making corozo soap (*Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer) in the Chontalpa region, Tabasco, Mexico
Elsa Chávez García

479 La comercialización de plantas del bosque tropical caducifolio y su importancia cultural en el centro de México
The commercialization of tropical deciduous forest plants and their cultural importance in central Mexico
Ofelia Sotelo Caro | Alejandro Flores Palacios | Susana Valencia Diaz | David Osvaldo Salinas Sánchez | Rodolfo Figueroa Brito

POLIBOTÁNICA

Núm. 61 ISSN electrónico: 2395-9525 Enero 2026



Portada

Sistema de cultivo vertical integrado por módulos contenedores uniformes que albergan diversas especies herbáceas y foliares. La disposición estratificada optimiza el uso del espacio y favorece la eficiencia en la captación de luz, mientras que la heterogeneidad morfológica de las plantas evidencia la plasticidad fenotípica asociada a condiciones de cultivo intensivo en ambientes urbanos. Este sistema representa una forma de infraestructura verde orientada a la producción vegetal sustentable y a la mejora microclimática en entornos metropolitanos.

BA vertical cultivation system composed of uniform container modules housing a variety of herbaceous and foliage plant species. The stratified arrangement optimizes space use and enhances light capture efficiency, while the morphological heterogeneity of the plants reflects phenotypic plasticity under intensive cultivation conditions in urban environments. This system represents a form of green infrastructure aimed at sustainable plant production and microclimate improvement in metropolitan settings.

por/by
Rafael Fernández Nava

REVISTA BOTÁNICA INTERNACIONAL DEL **I**NSTITUTO **P**OLITÉCNICO **N**ACIONAL

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
París, 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 afiliacióndeberá estar en un párrafo y tamaño

12. Al inicio de cada afiliaciónestará 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 más 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 imágenes 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 itálicas. 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 enviaran 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 Conclusionsis: 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
rfernan@ipn.mx

Dirección Web
http://www.polibotanica.mx

POLIBOTÁNICA es una revista indexada en:

CRMCYT - Sistema de Clasificación de Revistas Mexicanas de 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, Indice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

INSTITUTO **P**OLITÉCNICO **N**ACIONAL

Director General: *Dr. Arturo Reyes Sandoval*
Secretario General: *M. en C. Ismael Jaidar Monter*
Secretario Académico: *M. en E.N.A. María Isabel Rojas Ruíz*
Secretario de Innovación e Integración Social: *M.C.E. Yessica Gasca Castillo*
Secretario de Investigación y Posgrado: *Dra. Martha Leticia Vázquez González*
Secretario de Servicios Educativos: *Dr. Marco Antonio Sosa Palacios*
Secretario de Administración: *M. en C. Javier Tapia Santoyo*
Director de Educación Superior: *Lic. Tomás Huerta Hernández*

ESCUELA **N**ACIONAL DE **C**IENCIAS **B**IOLÓGICAS

Director:
Dr. Isaac Juan Luna Romero
Subdirectora Académica:
Biol. Elizabeth Guarneros Banuelos
Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación:
Lic. Edgar Gregorio Cárcamo Villalobos
Subdirector de Servicios Educativos e Integración Social:
Biól. Gonzalo Galindo BecerriL

POLIBOTÁNICA, Año 30, No. 61, enero 2026, 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.

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

LA FAMILIA BUXACEAE EN MÉXICO

THE BUXACEAE FAMILY IN MEXICO

Arreguín Sánchez, M.L., R. Fernández N.
LA FAMILIA BUXACEAE EN MÉXICO
THE BUXACEAE FAMILY IN MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 1-21 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.1

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

La familia Buxaceae en México

The Buxaceae family in Mexico

Rafael Fernández N. / rfernan@ipn.mx
https://orcid.org/0000-0001-5636-7109
María de la Luz Arreguín Sánchez
https://orcid.org/0009-0005-7169-0613
Departamento de Botánica
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas
Instituto Politécnico Nacional

María de la Luz Arreguín Sánchez, Rafael Fernández N.

LA FAMILIA BUXACEAE EN MÉXICO

THE BUXACEAE FAMILY IN MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 1-21. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.1

RESUMEN: La familia Buxaceae, integra arbustos y pequeños árboles de amplia distribución mundial, presenta en México una diversidad singular. En este trabajo se revisa su representación en el país mediante análisis bibliográfico, observaciones de campo y revisión crítica de aproximadamente trescientos especímenes de herbario. Se reconocen seis especies agrupadas en dos géneros: *Buxus* con *B. bartlettii*, *B. lancifolia*, *B. mexicana*, *B. moctezumae* y *B. pubescens* y *Sealya*, monotípico con *S. conzattii*, endémico de Oaxaca y Chiapas. La validación formal de este último género constituye un aporte relevante, al confirmar un linaje mesoamericano claramente diferenciado de los taxones asiáticos de *Sarcococca*. La revisión permitió precisar caracteres morfológicos diagnósticos, actualizar la nomenclatura y elaborar claves de identificación. Desde una perspectiva biogeográfica, las especies muestran afinidad con ecosistemas montanos húmedos y selvas subperennifolias, salvo casos particulares como *B. mexicana*, adaptada a ambientes xerófitos, y *B. pubescens*, restringida a las Islas Marías. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de estrategias de conservación, dado que varias especies presentan distribuciones restringidas y hábitats vulnerables. El estudio proporciona una base taxonómica y biogeográfica sólida para investigaciones futuras en sistemática, filogenia y conservación de Buxaceae en México.

Palabras clave: Taxonomía, Sistemática, Flora de México, Conservación, *Buxus*, *Sealya*.

ABSTRACT: The Buxaceae, a family mainly composed of shrubs and small trees with a wide global distribution, displays a distinctive diversity in Mexico. This study reviews its national representation through bibliographic research, field observations, and critical examination of approximately three hundred herbarium specimens. Six species grouped into two genera are recognized: *Buxus* with *B. bartlettii*, *B. lancifolia*, *B. mexicana*, *B. moctezumae*, and *B. pubescens* and *Sealya*, a monotypic genus represented by *S. conzattii*, endemic to Oaxaca and Chiapas. The formal validation of *Sealya* represents a significant contribution, confirming a Mesoamerican lineage clearly distinct from Asian *Sarcococca*. The revision clarified diagnostic morphological characters, updated nomenclature, and provided identification keys. From a biogeographic perspective, most species are associated with humid montane forests and sub-evergreen tropical forests, with notable exceptions such as *B. mexicana*, adapted to xerophytic environments, and *B. pubescens*, restricted to the Islas Marías. These findings highlight the need for conservation strategies, since several species have narrow distributions and vulnerable habitats. This work establishes a robust taxonomic and biogeographic framework for future studies in systematics, phylogeny, and conservation of Buxaceae in Mexico.

Key words: Taxonomy, Systematics, Flora of Mexico, Conservation, *Buxus*, *Sealya*.

INTRODUCCIÓN

La familia Buxaceae fue establecida por Antoine Laurent de Jussieu en *Genera Plantarum* (1789), está constituida principalmente por arbustos y pequeños árboles de distribución amplia en regiones templadas y tropicales. A nivel mundial, se reconocen seis géneros y alrededor de 140 especies, con presencia en América, Europa, Asia y África (Gentry *et al.*, 1966; Köhler, 2007, 2014). Aunque no es una familia particularmente diversa, posee una relevancia evolutiva y biogeográfica considerable, debido a que ha sido objeto de constantes ajustes taxonómicos y filogenéticos, especialmente en relación con su posición dentro del orden Buxales (Stevens, 2001; APG II, 2003). Algunos estudios clásicos como los (Mathou, 1940) y modernos (Köhler, 2007) han resaltado su complejidad sistemática, mientras que análisis cromosómicos y genómicos han aportado información valiosa sobre su evolución (Hans, 1973; Huang *et al,*, 1986; Van Laere *et al*. 2011).

En México la familia Buxaceae está representada por dos géneros: *Buxus* y *Sealya*, que en conjunto agrupan seis especies nativas. El género *Buxus* comprende cinco especies: *B. bartlettii*, *B. lancifolia*, *B. mexicana*, *B. moctezumae* y *B. pubescens*, mientras que *Sealya* es monotípico y representado únicamente por *S. conzattii*, endémica de Oaxaca y Chiapas (Fernández, 1994; Medina, 2009). Estas especies se desarrollan principalmente en ambientes montañosos del centro y sur del país, donde ocupan nichos ecológicos específicos como bosques mesófilos de montaña, selvas subperennifolias y encinares húmedos (Gual *et al.*, 2013; Carnevalli *et al*, 2010).

Diversos estudios morfológicos y palinológicos han aportado claves diagnósticas para la delimitación de los géneros y especies de la familia (Köhler E., 1981; Köhler & Brückner, 1982; Brückner, 1993), mientras que los análisis de anatomía foliar han sido relevantes en la comprensión de las especies neotropicales (Köhler & Schirarend, 1989). Se tienen algunos tratamientos florísticos regionales como los de Berendsohn *et al.* (2009) para la República de El Salvador que han contribuido al conocimiento y distribución de las Buxaceae en Mesoamérica. Asimismo, la quimiotaxonomía ha proporcionado elementos adicionales para la interpretación sistemática de la familia (Hegnauer, 1964, 1989). El estudio de las Buxaceae en México ha sido fragmentario y marcado por vacíos de información debido a la morfología discreta de sus especies, lo que ha dificultado su correcta identificación y delimitación.

Entre las contribuciones más relevantes destacan los trabajos pioneros de Standley (1923) y Jiménez-Ramíre & Cruz Durán (2004), así como los estudios de Fernández (1994) y Medina, (2009), que sentaron las bases para la comprensión de la diversidad nacional del grupo. Más recientemente, Shipunov *et al.* (2020) propusieron la validación del género *Sealya*, reconociendo la singularidad morfológica y biogeográfica de *S. conzattii*. No obstante, persiste la necesidad de una revisión integral que actualice la nomenclatura y la distribución de las especies mexicanas, basada tanto en fuentes bibliográficas como en la revisión crítica de especímenes de herbario (Holmgren *et al.*, 1990).

El presente trabajo tiene como propósito revisar la diversidad de Buxaceae en México, actualizar la nomenclatura de las especies con énfasis en el reconocimiento de *Sealya* como género válido y documentar la distribución geográfica y ecológica de sus representantes en el territorio nacional. De esta manera, se contribuye al conocimiento florístico del país y se establece una base sólida para futuros estudios de sistemática, conservación y biogeografía en esta familia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva para compilar información taxonómica, morfológica, anatómica, palinológica y biogeográfica de la familia Buxaceae. Se consultaron monografías y síntesis recientes y clásicas (Köhler 1981, 2007, 2014; Stevens 2001; APG II 2003, APG IV), así como obras florísticas y tratamientos regionales pertinentes para México y Mesoamérica (Standley, 1923; Fernández, 1994; Medina, 2009; Carnevali *et al.*, 2010, Jiménez-Ramírez & Cruz-Durán, 2024).

Complementariamente, se efectuaron recorridos de campo para observar poblaciones naturales y registrar variables ecológicas *in situ* (altitud, tipo de vegetación asociada y rasgos de microhábitat), además de anotar aspectos fenológicos y caracteres diagnósticos útiles para la delimitación específica.

Se revisaron aproximadamente 300 ejemplares de herbario, incluyendo tipos y material histórico cuando estuvo disponible, con énfasis en duplicados que documentan la variación intraespecífica y la distribución. La inspección se llevó a cabo en colecciones nacionales y extranjeras, cuyos acrónimos se estandarizaron conforme al Index Herbariorum (Holmgren *et al.*, 1990). Las colecciones consultadas incluyen, entre otras, CHAPA, CICY, ENCB, IEB, IBUG, JAL, MEXU, QMEX, XAL (México) y A, BM, MICH, MO, NY, TEX, US, WIS (extranjero).

Para la caracterización morfológica se utilizaron especímenes secos y material observado en campo. Las mediciones se tomaron directamente sobre el material con apoyo de lupa estereoscópica, y se expresan como rangos cuando fue posible contrastar varios individuos. La terminología morfológica y la estructura de las descripciones siguieron criterios taxonómicos estándar para Buxaceae y los tratamientos regionales citados.

Las localidades de colecta se georreferenciaron a partir de las etiquetas originales y, cuando fue necesario, se actualizaron a coordenadas decimales bajo datum WGS84. Con estos datos se compiló la distribución conocida de las especies en México y se elaboraron mapas de presencia a partir de registros verificados.

RESULTADOS

Actualmente, la familia Buxaceae en México está representada por seis especies distribuidas en dos géneros: *Buxus* y *Sealya*. El género *Buxus* incluye cinco especies nativas —*B. bartlettii*, *B. lancifolia*, *B. mexicana*, *B. moctezumae* y *B. pubescens*—, mientras que *Sealya* está constituido únicamente por *S. conzattii*, especie endémica de México.

Buxaceae Dumort. (*Comment. Bot.*: 54. 1822, nom. cons.) comprende arbustos y pequeños árboles, raramente hierbas, caracterizados por hojas simples, enteras, persistentes y sin estípulas; inflorescencias axilares bracteadas, generalmente en espigas o racimos; flores unisexuales, actinomorfas y de tamaño reducido, con cáliz cupuliforme de 4–6 segmentos, sin pétalos, y estambres opuestos a los sépalos. El ovario es súpero, de (2)3(4) lóculos con dos óvulos por lóculo, estilos persistentes y conspicuos, y frutos capsulares o drupáceos. Las semillas presentan endospermo carnoso y embrión recto

En el sistema de Cronquist (1981) se ubicaba en Euphorbiales, junto con *Simmondsia*, que hoy se reconoce como familia independiente (Simmondsiaceae, Caryophyllales). De acuerdo con el APG IV (2016), se incluye Haptanthaceae en las Buxaceae.

El género *Simmondsia*, monoespecífico y representado únicamente por *Simmondsia chinensis* (jojoba), fue originalmente ubicado por Standley en 1923 dentro de la familia Buxaceae, basándose principalmente en similitudes morfológicas generales como la disposición de las hojas, la presencia de flores unisexuales y ciertas características del fruto y semilla. En la actualidad se ha demostrado que *Simmondsia* no comparte un ancestro inmediato con los miembros auténticos de Buxaceae. Estudios filogenéticos han evidenciado que forma un linaje claramente distinto, sin afinidad cercana con las buxáceas ni con otras familias tradicionales del orden Buxales. Por esta razón, se reconoció la necesidad de ubicar al género en su propia familia monogenérica, Simmondsiaceae, la cual fue válidamente aceptada en sistemas de clasificación modernos. Medina (2009).

BUXACEAE Dumort.

Árboles o arbustos, rara vez plantas herbáceas; hojas sin estípulas, opuestas o alternas, simples, enteras, coriáceas, persistentes; inflorescencias axilares, bracteadas, básicamente a manera de espigas o racimos; flores unisexuales (las plantas son monoicas o dioicas), pequeñas, actinomorfas, 4–6-meras; cáliz cupuliforme, dividido en 4 a 6 segmentos basalmente connados (en las flores pistiladas a veces se encuentran hasta 12 segmentos); pétalos ausentes; estambres

4, libres y opuestos a los sépalos, o a veces numerosos, anteras dorsifijas, biloculares, longitudinalmente dehiscentes; pistilo 1, el ovario súpero, (2)3(4)-locular y con el mismo número de carpelos, placentación axilar, óvulos 2 por cada lóculo, estilos simples, usualmente persistentes y conspicuos; fruto capsular con dehiscencia loculicida o drupáceo e indehiscente; semillas con endospermo más o menos carnoso, embrión recto. (*Buxacées* Loiseleur, *Man. PI. Us. Indig.* 2: 495. 1819, nom. inval.) **TIPO GÉNERO:** *Buxus*.

La familia Buxaceae se ubica actualmente en el orden Buxales, junto con Didymelaceae y Haptanthaceae (Stevens, 2001). Históricamente, Buxaceae fue considerada parte de la familia Euphorbiaceae, e incluso se llegó a clasificar como una tribu dentro de esta última. El sistema APG II (2003) señala que Didymelaceae podría tratarse como parte de Buxaceae.

Bajo la clasificación propuesta por Cronquist (1981), Buxaceae se integraba en el orden Euphorbiales, el cual también incluía al género *Simmondsia* (jojoba); sin embargo, dicho género es actualmente reconocido como una familia independiente, Simmondsiaceae (Stevens, 2001), incluida en el orden Caryophyllales.

Buxaceae se divide a su vez en dos tribus: Sarcococceae y Buxeae. La tribu Sarcococceae agrupa los géneros *Pachysandra* Michx. (3 spp.), *Sarcococca* Lindl. (11 spp.) y *Styloceras* Kunth ex Juss. (5 spp.). En México, la especie previamente conocida como *Sarcococca conzattii* ha sido segregada en un género monotípico**,** *Sealya* Floden & Shipunov ex R. Fernández & Arreguin, con la especie *Sealya conzattii* (Standl.) Floden & Shipunov ex R. Fernández & Arreguin, endémica de Oaxaca y Chiapas.

Por su parte, la tribu Buxeae está representada exclusivamente por el género *Buxus* L., con aproximadamente 75 especies descritas a nivel mundial, de las cuales cuatro se encuentran en México: *B. bartlettii*, *B. lancifolia*, *B. mexicana* y *B. moctezumae*.

CLAVE PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS GÉNEROS MEXICANOS DE BUXACEAE

1. Hojas opuestas; inflorescencias axilares con una flor femenina terminal y varias masculinas laterales; ovario trilocular, estilos 3; frutos en cápsula con tres cuernos apicales; semillas oblongas, ……..…***Buxus***

1. Hojas alternas o subopuestas; inflorescencias racemosas unisexuales o bisexuales; ovario 2-3(4)-locular estilos 2-3; frutos drupáceos, ovoides o globosos, sin cuernos apicales; semillas subglobosas, ……..……. ……***Sealya***

BUXUS L., Sp. Pl. 983. 1753; Gen. Pl., ed. 5. 423. 1754. Especie tipo: *Buxus sempervirens* L.
Tricera Schreb, *Gcn. PI*. 630. 1791
Notobuxus Oliv., Hooker's lcon. PI. L4: 78, tab. 1400. (1882)
Buxanthus Tiegh., *Ann. Sci. Nat., Bot. sér.* 8, 5: 325 (1897).
Buxella Tiegh., *Ann. Sci. Nat., Bot. sér.* 8, 5: 326 (1897).
Macropodandra Gilg, Bot. Jahrb. Syst. 28(1): 114 (1899).

Arbustos o pequeños árboles, monoicos, tallos por lo general densamente ramificados, glabros o pubescentes; hojas opuestas, subsésiles o cortamente pecioladas, enteras, coriáceas; inflorescencias axilares, racemosas, usualmente con una sola flor femenina terminal y varias a muchas masculinas laterales; flores apétalas; las masculinas usualmente pediceladas, con 4 lóbulos del cáliz, estambres 4 a 6, opuestos a los sépalos, los filamentos exertos, las anteras dorsifijas cerca de la base; flores femeninas, sésiles, con 4 a 6 lóbulos del cáliz, biseriados, los externos más pequeños; ovario trilocular con 2 óvulos por lóculo, estilos 3; fruto una cápsula, con tres cuernos apicales provenientes de los estilos persistentes; semillas oblongas, triquetras, negras, con un pequeño estrofíolo, endospermo algo carnoso, cotiledones ligeramente más anchos que la radícula.

Género con cerca de 75 especies, 5 especies en México, se distribuye en América, incluyendo las Antillas, Europa, Asia y África.

Clave para la identificación de las especies mexicanas de *Buxus*

1a. Hojas sésiles o subsésiles (pecíolos muy cortos, menores de 1 mm); plantas glabras o glabrescentes **2**
1b. Hojas claramente pecioladas (pecíolos de 2-5 mm de largo); plantas glabras o híspidas……..**3**
2a. Hojas ovado-lanceoladas, de aproximadamente 6 cm de largo por 1,6 cm de ancho; ramas cuadrangulares con ángulos ligeramente alados; planta completamente glabra; estilos delgados, divergentes, curvados en el ápice, más largos que el ovario. San Luis Potosí .....***B. lancifolia***
2b. Hojas romboide-ovadas a oblongo-ovadas, de 2-5 cm de largo por 1.5 a 3 cm de ancho; ramas con pubescencia suave y extendida en ramillas jóvenes; planta pubescente; estilos no descritos con estas características. Nayarit (Islas Marías)…….... ***B. pubescens***
3a. Hojas pequeñas, de 1.0-3.0 cm de largo por 0.6 a 1.5 cm de ancho; estilo ausente, estigmas reflejos y surcados; fruto esquizocárpico con dos cuernos apicales; Puebla..... ***B. mexicana***
3b. Hojas más grandes, de 3 a 11 cm de largo; estilos presentes, de 1.9 a 2.0 mm de largo; fruto capsular trivalvado con tres cuernos apicales …..... **4**
4a. Hojas angostamente lanceoladas a oblongas, de 3-5.8 cm de largo por 7-10 mm de ancho; ramas delgadas, verdes, subcuadrangulares con surcos bien marcados; láminas con ápice frecuentemente con una punta espinosa; ovario densamente hispídulo; frutos de 5. a-6 mm de largo, densamente hispídulos a glabrescentes. Oaxaca, Quintana Roo, Veracruz; Yucatán.....***B. bartlettii***
4b. Hojas anchamente lanceoladas a ovado-lanceoladas, de 5-11 cm de largo por 2 a 2.5 cm de ancho; ramas subcuadrangulares con ángulos rígidos y prominentes, a veces ligeramente alados; láminas con ápice agudo a acuminado, sin punta espinosa; ovario densamente blanco-piloso; frutos de 5.5 a 6 mm de largo, densamente pilosos a glabrescentes, Querétaro.....***B. moctezumae***

BUXUS BARTLETTII Standl., Publ. Field Mus. Nat. Hist., Bot. Ser. 11: 134-135. 1932. Tipo. Belize: River bluffs, El Cayo, February 13, 1931, H. H. Bartlett 11437 (Holotipo: F! Isotipo MICH!, NY!). Fig. 1.
Sarcococca bartlettii (Standl.) I.M. Johnst., Journal of the Arnold Arboretum 14(3): 310. 1933.
Arbusto o pequeño arbolito de 1.5 a 4 m de alto, perennifolio. Ramas hispídulas, delgadas, verdes, subcuadrangulares con surcos bien marcados; las más viejas ocre, subteretes, agrietadas; entrenudos más cortos que las hojas. Hojas opuestas, pecíolos gruesos, de 2 a 3 mm de largo, escasamente hispídulos o casi glabros; láminas angostamente lanceoladas a oblongas, de 3 a 5.8 cm de largo por 7 a 10 mm de ancho, ápice acuminado, frecuentemente con una punta espinosa, base aguda o atenuada, margen entero, subcoriáceas; haz glabro, con la nervadura central hundida, de color gris verdoso al secarse; envés con nervadura central fuertemente prominente, venación finamente reticulada, margen revoluto; base trinervia, con nervios secundarios muy marcados, saliendo en ángulos agudos. Inflorescencias axilares, umbeliformes, sésiles o con pedúnculos de hasta 3 mm de largo, multifloras y densas; flores masculinas con pedicelos angulosos, delgados, de 2 a 3 mm de largo, hispídulos; brácteas similares a los sépalos, triangulares, ciliadas. Flores masculinas tetrámeras; sépalos verdes, oblongo-ovados, de aproximadamente 1.5 mm de largo, obtusos, erectos, con márgenes ciliados; estambres 4 a 6, exertos; filamentos delgados, anteras dorsifijas, ampliamente oblongas, de aproximadamente 0.8 mm de largo. Flor femenina solitaria, sésil; sépalos similares a los masculinos; ovario trilocular, densamente hispídulo, dos óvulos por lóculo; estilos 3, gruesos, de 2 mm de largo, persistentes en el fruto. Fruto capsular, seco, globoso a subgloboso, dehiscentes por tres valvas (trilocular), con tres cuernos apicales prominentes formados por los estilos persistentes, pericarpo inicialmente verde, tornándose café al madurar, con una superficie que varía de densamente hispídula a glabrescente. El tamaño del fruto oscila entre 5.5 y 6 mm de largo y 4.5 a 5 mm de

ancho. Cada lóculo contiene dos semillas oblongas, triquetras, negras y brillantes, de aproximadamente 4 mm de largo y 1.5 a 1.8 mm de ancho.

Distribución. México (Oaxaca, Quintana Roo, Veracruz; Yucatán). Figura 2. También se distribuye en Belice.

Ejemplares examinados. Oaxaca: Plan de Aquila, 1-3 km antes de Naranjal, Mpio. San Jose Chiltepec, 17°54′38″ N, 96°08′35″ O, G. Martinez 1426 (ENCB, MEXU)**;** Cerro Verde, a 1.75 Km en linea de Nizanda, Mpio. de Asunción Ixtaltepec, Mpio Juchitan, 16°39’14”N, 94°59’7”O, Meave y Pérez 2375 (MEXU, MO); **Quintana Roo**: 21 km al SE de la desviación a Chumpon sobre el nuevo camino a Vigía Chico,19°49’15”N, 87°41’00”O, E. Cabrera; J. L. Godínez; H. de Cabrera 4590 (ENCB, MEXU), 2 km al N de la desviación al Faro de la Punta Celarain, Mpio. Cozumel, 20°18’50”N, 86°56’10”O, E. Cabrera; O. Téllez; H. de Cabrera 11130 (MEXU). Reserva de la biósfera de Sian Ka'an; desviación de la carretera de Tulum a Felipe Carrillo Puerto a Vigía Chico, 19°42’99”N, 87°50’99”O, Duno de Stefano y A. Ibañez 1877, (CICY), 2 km antes de Punta Pulticub, 45 km al NE de Majahual, 19°05’30”N 87°33’50”W, J. L. Tapia M.; G. Carnevali 1409 (CICY), Km 22, carretera a Majahual, partiendo de la carretera Chetumal-Felipe Carrillo Puerto, 18°57’20”N, 87°54’20”W, J.C. Trejo 215 (CICY), Zona Arqueológica de Kohunlich, zona S, 18°25’50”N, 88°47’35”W, C. Chan 2653 (XAL), Península de Xcalak, Mpio. Othón P. Blanco, 18°26’99”N, 87°56’99”W, H. Macias s.n. (CHAP, ENCB); **Veracruz**: cercanías de Paso del Macho, Mpio. Paso del Macho, 18°57’44”N, 96°42’33”W, J. R. Carral 312 (XAL); 2 km al N de Uxpanapa, Poblado 12 camino a Poblado 13, Mpio. Minatitlán, 17°14’N, 94°13’W, T. Wendt, I. Villalobos e I. Navarrete 3672, 4105 (CHAPA, ENCB, MEXU, XAL); **Yucatán:** Calcehtok grutas, Mpio. Opichén, 20°34′00″N, 89°54′46″O, Méndez, Durán y Campos (MO)

Altitud: 10 a 400 m.

Tipos de vegetación: bosque tropical caducifolio

Floración: noviembre a marzo

Núm. 61: 1-21 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

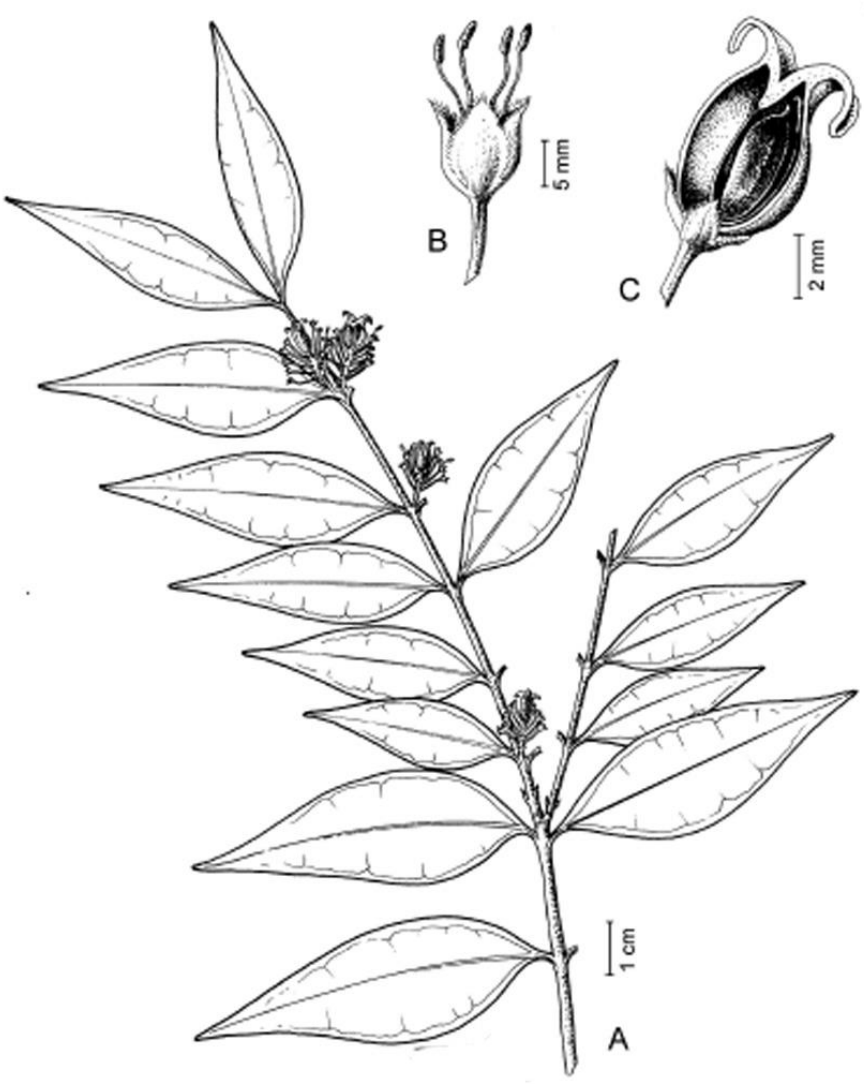


Figura 1. *Buxus bartlettii* Standl. A: rama con inflorescencias; B. flor estaminada; C. fruto. Basado en Berendsohn *et al*. (2009).
Figure 1. *Buxus bartlettii* Standl. A. Branch with inflorescences; B. Staminate flower; C: Fruit. Based on Berendsohn *et al*. (2009)

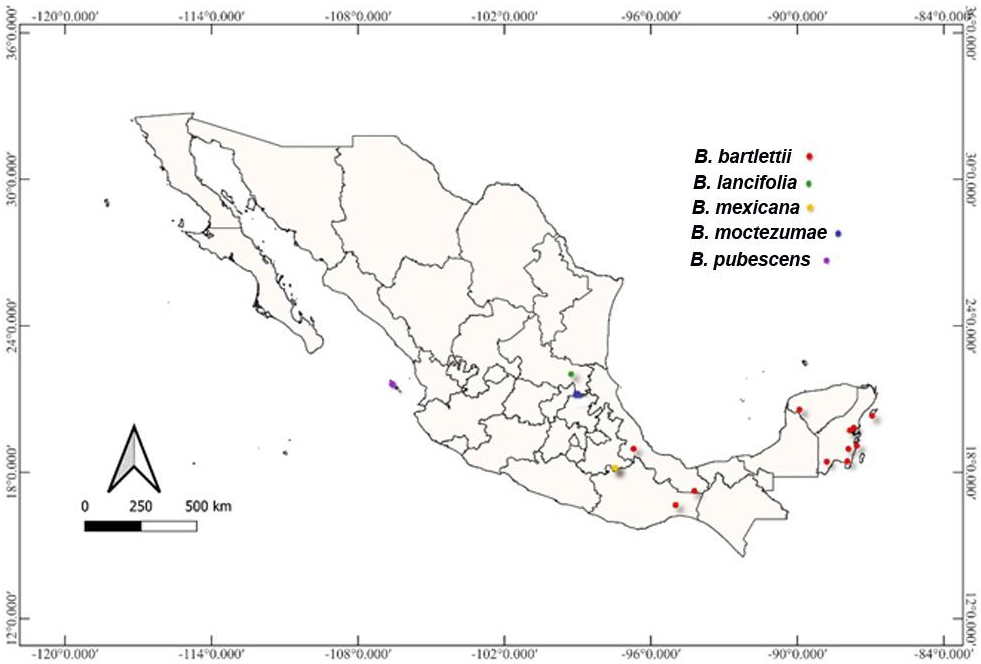


Figura 2. Distribución geográfica conocida en México de: *Buxus bartlettii*, *B. lancifolia*, *B. mexicana*, *B. moctezumae* y *B. pubescens*.
Figure 2. Known geographic distribution in Mexico of: *Buxus bartlettii*, *B. lancifolia*, *B. mexicana*, *B. moctezumae*, and *B. pubescens*.

BUXUS LANCIFOLIA Brandegee. Univ. Calif. Publ. Bot. 4(15): 273. 1912. Tipo. México: along Rio de las. Gallinas, Rascón, San Luis Potosí, Aug, 1911, C. A. Purpus 5308 (Holotipo: UC, Isotipo GH!, NY! US!). Figura 3.
Tricera lancifolia (Brandegee) Standl., Contr. U.S. Natl. Herb. 23(2): 429. 1922.
Arbusto perennifolio, glabro, de 0.8 a 1 m de alto. Ramas cuadrangulares, con ángulos ligeramente alados, frecuentemente erectas; internudos cortos. Hojas opuestas, sésiles o con pecíolos muy cortos; láminas ovado-lanceoladas, de aproximadamente 6 cm de largo por 1.6 cm de ancho, base atenuada, margen revoluto, ápice agudo a acuminado; textura subcoriácea, haz brillante y glabro, con nervio medio bien marcado; envés glabro, venación secundaria conectada cerca del margen, más o menos trinervia en la base. Inflorescencias axilares, capitado-racemiformes, cortamente pediceladas; flores masculinas pediceladas, pedicelos delgados, alargados; lóbulos del cáliz ovado-lanceolados, de aproximadamente 2 mm de largo, ciliados en el margen; estambres exertos. Flor femenina con segmentos del cáliz similares a los masculinos; estilos delgados, divergentes entre sí, curvados en el ápice, más largos que el ovario. Fruto capsular, trivalvado, globoso, con tres cuernos apicales persistentes, glabro a glabrescente, de 4.0 a 4.5 mm de largo por 3.0 a 3.5 mm de ancho, verde en estado inmaduro, volviéndose café oscuro al madurar. Semillas triangulares, de aproximadamente 2.5 mm de largo por 1.5 mm de ancho, negras, brillantes.
Distribución. México (San Luis Potosí). Figura 2.
Ejemplares examinados. San Luis Potosí: Huichihuayán, 21°29′01″N, 98°58′06″O, Rzedowski (ENCB); along Rio de las. Gallinas, 22°01′00″ N, 99°16′00″O, C. A. Purpus 5308 (GH, NY, UC, US).
Altitud: 100 a 150 m.
Tipos de vegetación: bosque tropical subperennifolio, bosque mesófilo de montaña
Floración: octubre a marzo
.

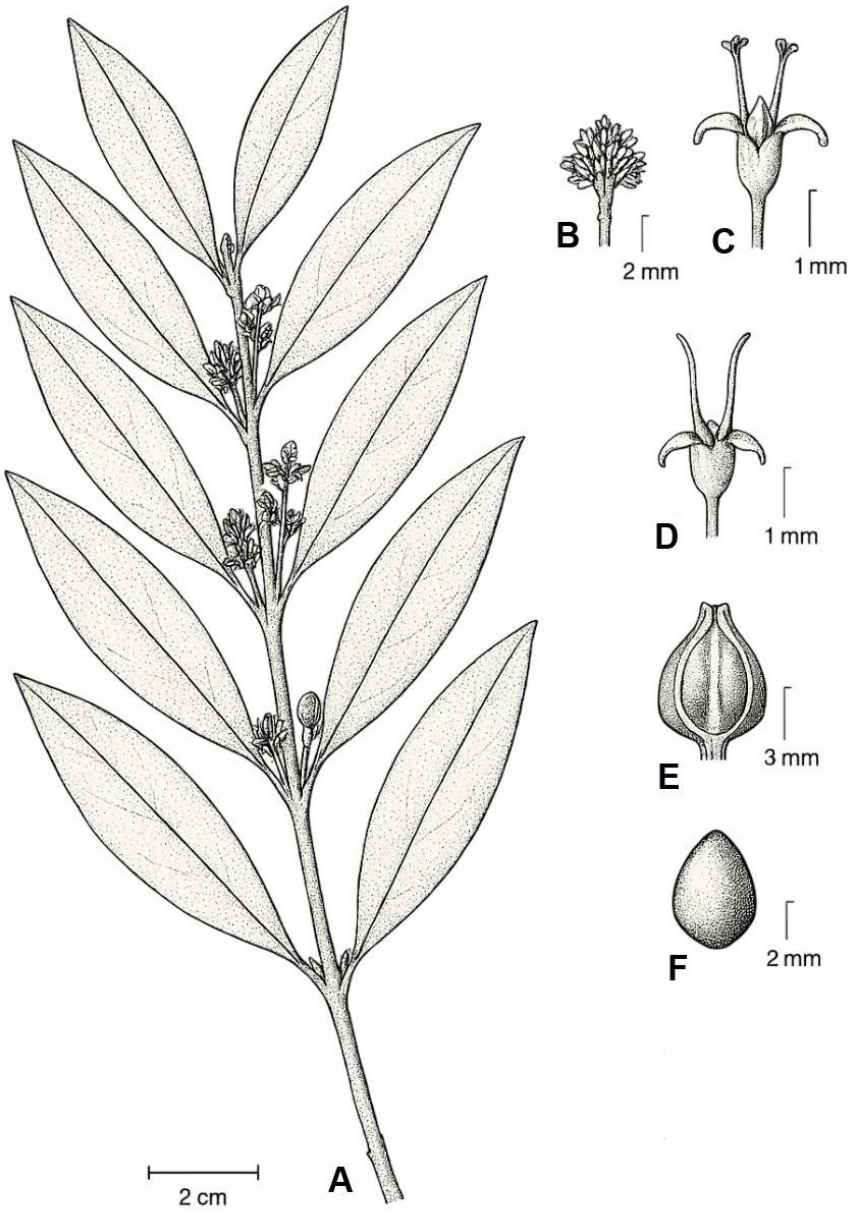


Figura 3. *Buxus lancifolia* Brandegee. A. Rama con hojas mostrando inflorescencias axilares; B. Inflorescencia masculina; C. Flor masculina con estambres exertos; D. Flor femenina, con estilos divergentes; E. Fruto capsular trivalvado en vista lateral.
Figure 3. *Buxus lancifolia* Brandegee. A. Branch with leaves showing axillary inflorescences; B. Male inflorescence; C. Male flower with exserted stamens; D. Sessile female flower with divergent styles; E. Seed; F–G. Capsule, three-valved fruit in lateral view and transverse section.

BUXUS MEXICANA Brandegee, Univ. Calif. Publ. Bot. 3(8): 382. 1909. TIPO: MÉXICO. Puebla: Cerro de Coatepec, C.A. Purpus 2972, ago 1907 (holotipo: UC!; isotipos: GH!, NY!, US). Fig. 4.
Tricera mexicana (Brandegee) Standl., Contr. U.S. Natl. Herb. 23(2): 429. 1922.

Arbusto de 0.6 a 1.5 m de alto, erecto, ramificado, con tallos pubescentes, de corteza pardo-grisácea. Hojas opuestas; pecíolos de 2.0 a 3.5 mm de largo, pubescentes en la cara adaxial; láminas elípticas a ovadas, de 1.0 a 3.0 cm de largo por 0.6 a 1.5 cm de ancho, con la base cuneada a redondeada, ápice redondeado, mucronado a emarginado, margen ciliado principalmente hacia la base, ligeramente revoluto, textura subcoriácea, haz y envés lustrosos, glabros, con glándulas punctiformes más evidentes en el envés; nervación primaria evidente en el haz, secundaria poco conspicua; envés con tres nervaduras más marcadas. Inflorescencias axilares, numerosas, en glomérulos densos de 1.0 a 2.0 cm de largo, con eje principal, pedicelos y brácteas densamente pubescentes; brácteas coriáceas, aquilladas, ciliadas, de color rojizo a amarillento, persistentes. Flores masculinas con pedicelos de 1.0 a 2.0 mm de largo; tépalos 4, ovados, de aproximadamente 2.0 mm de largo, margen ciliado, superficie pubescente; estambres 4, con filamentos de aproximadamente 1.5 mm de largo y anteras basifijas, dehiscentes longitudinalmente, ovadas, de aproximadamente 0.8 mm de largo, con escasos tricomas. Flores femeninas rodeadas por numerosas brácteas lanceoladas, aquilladas, pubescentes; ovario obovoide, densamente pubescente, de hasta 2.0 mm de largo; estilo ausente; estigmas reflejos, surcados, de 1.0 a 1.5 mm de largo. Fruto esquizocárpico, de 7.0 a 10.0 mm de largo por 4.0 a 6.0 mm de ancho, con dos cuernos apicales de 2.0 a 3.0 mm de largo, superficie pubescente; semillas de 5.0 a 6.0 mm de largo por 2.0 a 3.0 mm de ancho, negras, brillantes.

Distribución. México (Puebla). Figura 2.

Ejemplares examinados. PUEBLA: Mpio. Caltepec: Cerro Coatepec, sur de San Luis Atolotitlán, 18°11′17″ N, 97°25′26″ O, Panero et al. 2598 (MEXU); Cerro Coatepec, suroeste de San Luis Atolotitlán, 18°10′06.1″ N, 97°23′42.6″O, Ramírez-Roa et al. 50 (MEXU); Caltepec, 18°11′06″ N, 97°23′42″ O Salinas et al. 5569 (MEXU); Cerro Coatepec, suroeste de San Luis Atolotitlán, 18°11′19″ N, 97°25′25″O, Salinas et al. 7524 (MEXU); Cerro Coatepec, 18°11′16″ N, 97°25′25″ O, Tenorio 12491 (MEXU); Majada Izote, Cerro Coatepec, sureste de Caltepec, 18°11′17″ N, 97°25′26″O, Tenorio 14322 (MEXU); Cerro El Coatepec, al sureste de Caltepec, Tenorio y Kelly 20072 (MEXU); La Joya de La Sierrilla, Cerro El Coatepec, sureste de Caltepec, 18°11′14″ N, 97°25′24″O Tenorio y Romero 11207 (CHAPA, IBUG, MEXU).

Altitud: 2000-2300 m.

Tipos de vegetación: matorral xerófilo, en suelo somero, negro, sobre roca caliza

Floración: florece y fructifica todo el año.

Núm. 61: 1-21 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

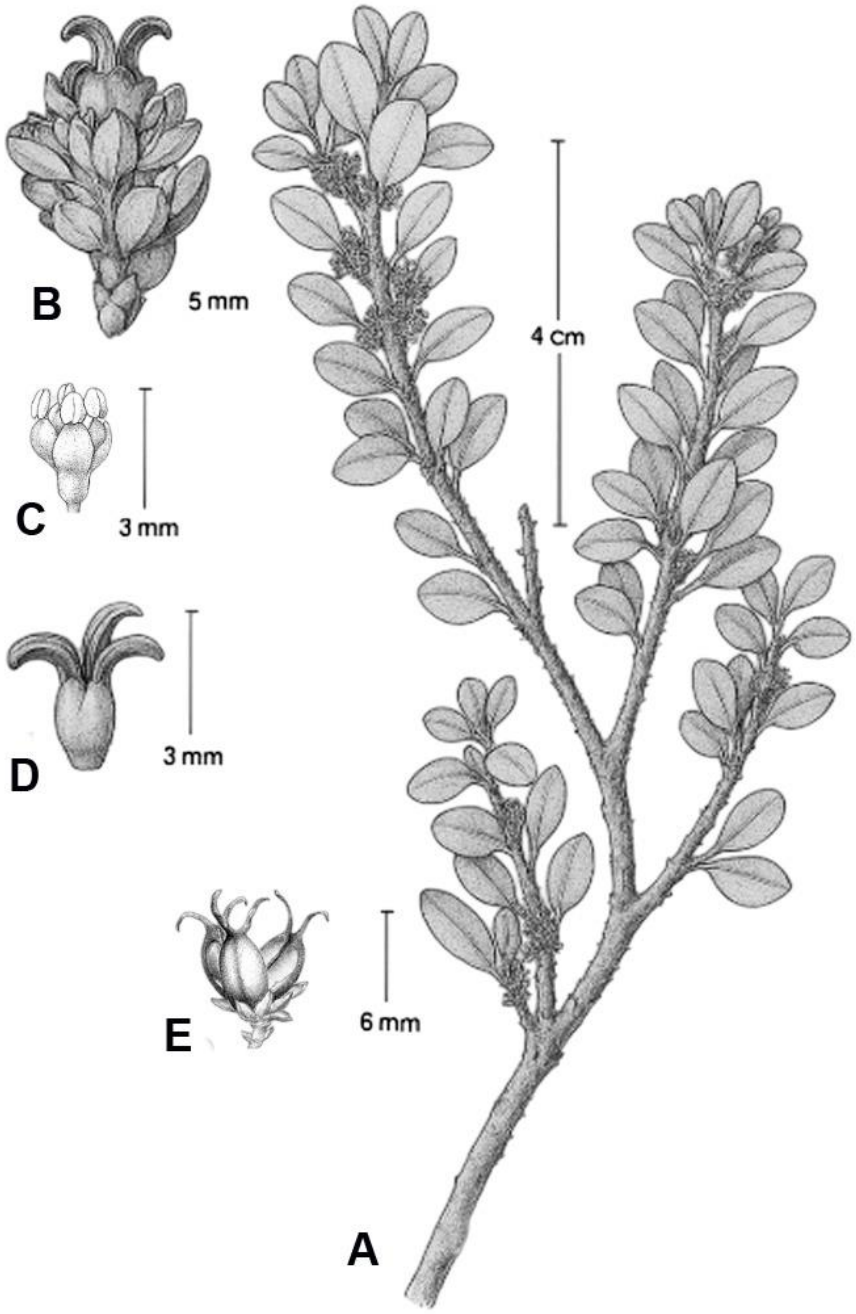


Figura 4. *Buxus mexicana* Brandegee. A. Rama con hojas e inflorescencias axilares; B. Inflorescencia con flor femenina terminal y flores masculinas; C**.** Flor masculina; D. Flor femenina; **E**, fruto esquizocárpico. Basado en Medina (2009).

Figure 4. *Buxus mexicana* Brandegee. A. Branch with leaves and axillary inflorescences; B. Inflorescence with terminal female flower and male flowers; C. Male flower; D. female flower; E. schizocarpic fruit. Based on Medina (2009).

BUXUS MOCTEZUMAE Eg. Köhler, R. Fernández & Zamudio, Feddes Repert. 104: 295- 305. 1993. TIPO: MÉXICO. Querétaro: 15 km al SE de Agua Zarca, Mpio. de Landa de Matamoros, R. Fernández y S. Zamudio 4617, 25 mayo 1990 (holotipo: BHU!; isotipos: ENCB!, IEB!, MEXU!, TEX! US!). Figura 5.

Arbusto o pequeño arbolito de 2 a 5 m de alto, perennifolio, las ramas hispídulas, subcuadrangulares, con los ángulos rígidos y prominentes, a veces ligeramente alados, internodos de 2 a 3.5 cm de largo; hojas opuestas, peciolos de 2 a 5 mm de largo, láminas anchamente lanceoladas a ovado-lanceoladas, de 5 a 11 cm de largo por 2 a 2.5 cm de ancho, ápice agudo a acuminado, base aguda o atenuada, margen entero, subcoriáceas, haz glabro, de color verde oscuro y nervio medio marcado, envés glabro, de color verde más pálido, nerviación braquidódroma, más o menos trinervia en la base, del nervio principal salen de ambos lados 6 a 8 nervios secundarios en un ángulo de 55 a 65°; inflorescencias axilares y subsésiles, pedúnculos de 3 a 4 mm de largo, brácteas triangulares, agudas, ligeramente híspidas y con margen ciliado, pedicelos de 1.5 a 2 mm de largo; flores masculinas tetrámeras, lóbulos del cáliz ovados a ligeramente triangulares, de 1.4 a 1.6 mm de largo y 0.9 a 1.2 mm de ancho, carinados y ciliados en los márgenes, pétalos ausentes, estambres 4, usualmente más largos que el cáliz, filamentos de 1 a 5 mm de largo, anteras ovado-oblongas, de 1 a 1.5 mm de largo; flores femeninas tetrámeras, lóbulos del cáliz ovado-oblongos, de más o menos 1.5 mm de largo y 1 mm de ancho, carinados, hispídulos, ovario densamente blanco-piloso, trilocular, estilos 3 de 1.9 a 2 mm de largo, con ápices brevemente recurvados; fruto capsular, trivalvado, globoso, con tres cuernos apicales, densamente piloso a glabrescente, de 5.5 a 6 mm de largo y 4.5 a 5 mm de ancho, verde al principio, tornándose café en la madurez; semillas triangulares, de alrededor de 4 mm de largo y 1.5 a 1.8 mm de ancho, negras, brillantes.

Distribución. México Endémica de la Sierra Gorda de Querétaro. Figura 2

Ejemplares examinados. Querétaro: 1.5 km al NE de San Onofre, municipio de Landa, 21°13′07″ N, 99°02′38″ O, H. Rubio 2458 (BHU, ENCB, IEB); 4 km al E de Tangojó, municipio de Landa, 21°09′36″ N, 99°04′11″ O, R. Fernández N. 4263, (ENCB, GH, IEB, MICH, NY, WIS); 10 km al SE de Agua Zarca, municipio de Landa, 21°10′11″ N, 99°00′54″ O, H. Rubio 2282 (BHU, ENCB, IEB); 12 km al SE de Agua Zarca, municipio de Landa, H. Rubio 2653 21°09′25″ N, 99°00′05″ O, H. Rubio 2653 (BHU, ENCB, IEB); 15 km al SE de Agua Zarca, municipio de Landa, 461721°08′16″ N, 98°58′52″ O, R. Fernández y S. Zamudio (BHU, ENCB, IEB, MEXU, TEX); ibid., H. Rubio 1122, 2414 (BHU,ENCB, IEB).

Altitud: 300-900 m.

Tipos de vegetación: bosque tropical subperennifolio, bosque mesófilo de montaña

Floración: marzo a junio

Cerca de la zona de estudio en el estado de San Luis Potosí prospera *B. lancifolia* Brandegee, sin embargo, *B. moctezumae* se diferencia muy bien de la primera por su aspecto arborescente y por tener hojas más grandes.

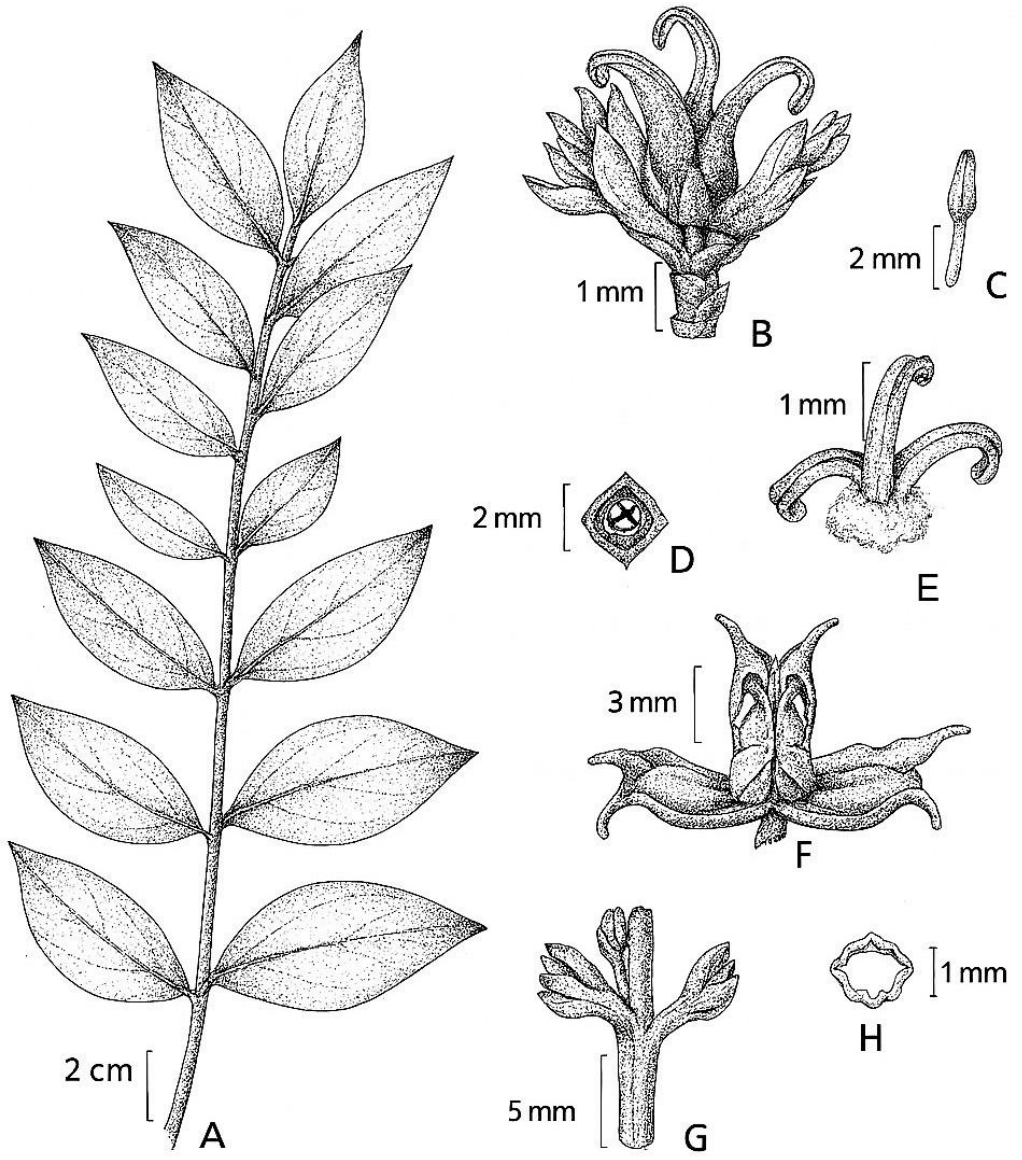


Figura 5. *Buxus moctezumae* Eg. Köhler, R. Fernández & Zamudio. A. rama con hojas; B. inflorescencia con flor femenina terminal y flores masculinas laterales; C. estambre; D. flor masculina con rudimento de gineceo por entre las bases estaminales; E. flor femenina con nectarios; F. fruto, abierto de forma loculicida; G. pliegue internodial que sale de la base foliar; H. corte transversal del tallo. Basado en Fernández-Nava (1994).
Figure 5. *Buxus moctezumae* Eg. Köhler, R. Fernández & Zamudio. A. branch with leaves; B. inflorescence with terminal female flower and lateral male flowers; C. stamen; D. male flower with rudimentary gynoecium among the bases of the stamens; E. female flower with nectaries; F. fruit, dehiscent loculicidally; G. internodal fold arising from the leaf base; H. cross section of the stem. Based on Fernández-Nava (1994).

BUXUS PUBESCENS Greenm., Proc. Amer. Acad. Arts 33: 481 (1898). Maria Madre Island, E. W. Nelson 4221 (Holotipo: F!). Fig. 6

Arbusto o pequeño arbolito de 4.5 a 8 m de alto, perennifolio; ramas cubiertas de corteza grisácea, las ramillas y brotes jóvenes con pubescencia suave y extendida; hojas opuestas o subopuestas,

sésiles o pecíolos muy cortos, láminas romboide-ovadas a oblongo-ovadas, de 2 a 5 cm de largo por 1.5 a casi 3 cm de ancho, ápice obtuso o ligeramente agudo, mucronado, base cuneada, margen entero, ciliado, textura subcoriácea, haz escasamente pubescente o glabrescente, verde más oscuro, venación reticulada visible; envés suavemente pubescente, con venación trinervia; inflorescencias axilares, subsésiles, pedúnculos cortos y pubescentes, formando racimos muy contraídos; brácteas ovadas, agudas, de aproximadamente 2 mm de largo, ligeramente pubescentes en el margen; pedicelos de las flores masculinas de 3 mm de largo; flores masculinas tetrámeras, con lóbulos del cáliz ovados, agudos, de unos 2 mm de largo, los internos algo más anchos que los externos, pistilo rudimentario en forma de cruz o X; flores femeninas solitarias, terminales, de unos 5 mm de largo, sésiles, cáliz de cuatro lóbulos, ovados, agudos; ovario glabro, trilocular; fruto no observado.

Distribución. México (Nayarit, endémica de las Islas Marías,). Figura 2

Ejemplares examinados. Nayarit: Maria Madre, Tres Marias Islands, West side of island 1 mile from summit trail from Penal Colony to west side of island, Islas Marías, 21°37′30″ N, 106°35′44″ O,Ferris 5676 (MO); Isla Ma. Madre, antena de Telecomunicaiones, municipio de San Blas, 21°35′07″ N, 106°34′52″ O, F.Chiang Cabrera y G. Flores 1131 (IEB, MEXU)

Altitud: 500-600 m.

Tipos de vegetación: bosque tropical caducifolio.

Floración: noviembre a marzo

Núm. 61: 1-21 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

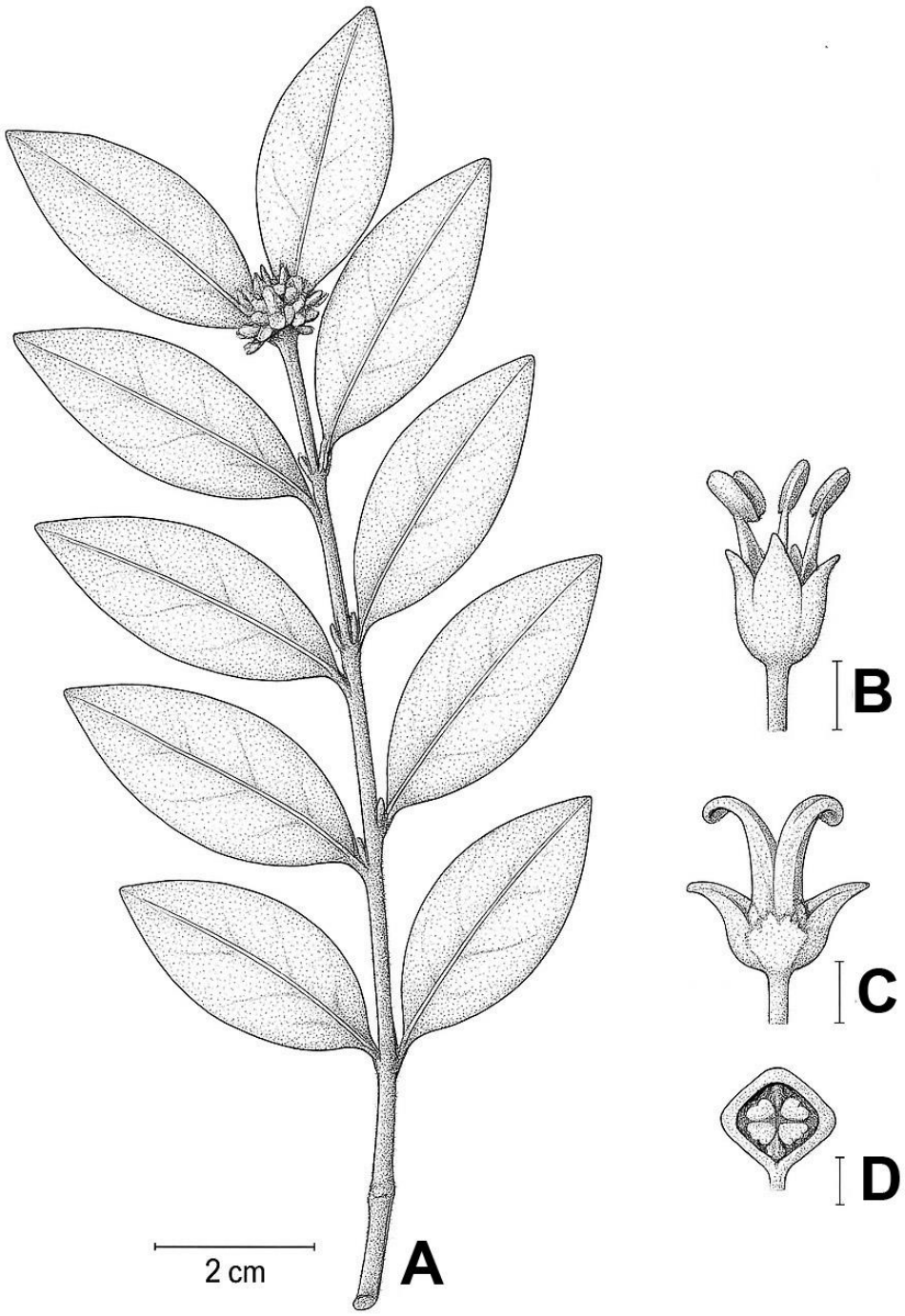


Figura 6. *Buxus pubescens* Greenm. A. Rama con hojas e inflorescencia; B Flor masculina; Inflorescencia femenina E. Flor femenina; F. Ovario en corte transversal. Basado en el holotipo E. W. Nelson 4221 (F, Field Museum).
Figure 6. *Buxus pubescens* Greenm. A. Branch with leaves and inflorescence; B. Male flower; C. Female inflorescence; E. Female flower; F. Ovary in cross section. Based on the holotype E. W. Nelson 4221 (F. Field Museum).

SEALYA CONZATTII (Standl.) Floden & Shipunov ex R. Fernández & Arreguin sp. ined. Fig. 7.
Basiónimo: *Buxus conzattii* Standl., Publ. Field Mus. Nat. Hist., Bot. Ser. 11: 163 (1936).
Sarcococca conzattii (Standl.) I. M. Johnst., J. Arnold Arbor. 20: 240 (1939).
Sealya conzattii (Standl.) Floden & Shipunov, in bioRxiv preprint (https://doi.org/10.1101/2020.08.03.235267; posted 7 Aug. 2020), nom. inval. (ICN Art. 29–30).
Tipo: México. Oaxaca, Distrito de Ixtlán, Cerro de San Felipe, 1917, C. Conzatti 2433 (Holotipo: US!. Isotipos: MEXU!, MO!, NY!).
Sealya conzattii a speciebus asiaticis generis *Sarcococca* differt inflorescentiis axillaribus plerumque floribus femineis solitariis et pluribus masculinis, floribus femineis sessilibus vel breviter pedicellatis, atque distributione restricta in silvis montanis nebulosis Chiapas, Guerrero, Jalisco, Oaxaca et Puebla, Mexici.
Sealya conzattii differs from Asian species of *Sarcococca* by its axillary inflorescences usually with a solitary female flower and several males, sessile or shortly pedicellate female flowers, and a restricted distribution in montane cloud forests of Chiapas, Guerrero, Jalisco, Oaxaca and Puebla, Mexico. It represents the only American lineage formerly included in *Sarcococca*, being morphologically and biogeographically distinct.
Sealya conzattii se distingue de las especies asiáticas de *Sarcococca* por sus inflorescencias axilares, que comúnmente presentan una flor femenina solitaria acompañada de varias masculinas, flores femeninas sésiles o brevemente pediceladas, así como por su distribución restringida en bosques mesófilos de montaña de Chiapas, Guerrero, Jalisco, Oaxaca y Puebla, México. Representa el único linaje americano antes incluido en *Sarcococca*, con rasgos morfológicos y biogeográficos claramente diferenciados.
Arbustos 2 m de alto, glabros. Tallos angulosos, glabros. Hojas con pecíolos 5 a 9(19) mm de largo, acanalados; lámina elíptica a oblonga, lustrosas, (6.2)6.6 a 9.2(11) cm de largo, (1.7)2.4 a 3.2 cm de ancho, ápice agudo, margen revoluto, base aguda a atenuada. Inflorescencias en racimos axilares o terminales, 1 a 4 cm de largo, pedúnculo 2 a 10 mm de largo, con 4 flores masculinas y una apical femenina; bráctea (2.5)3 a 4 mm de largo, 1 mm de ancho, ovada a ligeramente lanceolada, ápice agudo, margen ciliado. Flores masculinas 5 mm de largo, sésiles; tépalos blancos, ovados, 4 mm de largo, 2 mm de ancho, margen ciliado, androceo con 4 estambres, 5 a 6 mm de largo, filamento 4 mm de largo, antera 2 mm de largo. Flores femeninas 7 mm de largo; tépalos blancos, ovados, 3 mm de largo, 1 mm de ancho, margen ciliado; androceo ausente; gineceo con 2 estilos. Frutos drupáceos, verdes, elipsoidales a globosos, 8 a 10(12) mm de largo, 5 a 10 mm de ancho, con 4 semillas. Semillas subelipsoidales, 8 mm de largo, 5 mm de ancho, pardas, testa lisa.
Distribución. México (Chiapas, Guerrero, Jalisco, Oaxaca). Figura. 8. También se distribuye en Guatemala.
Ejemplares examinados: **Chiapas**: Cerro Quetzal (Polígono III), Reserva de la Biosfera El Triunfo, Municipio de Ángel Albino Corzo, 15° 43′ 44.4″N, 92° 55′ 09″O, N.Martínez M. 52 (HEM); **Guerrero**: El Cedral, al SO de Omiltemi, Municipio de Chilpancingo, 17°30’30” N, 99°41’30”O, R. Antonio 267a (FCME); **Jalisco**: Parte alta del ejido de Pabelo, cerca del predio Las Iglesias; 4.4 km al SSO de Santa Mónica y 4.6 km al E de Plaza de Gallos, Municipio de Ayutla, 19°53'21"N, 104°32'20"O, Carrillo y Monroy 6767 (MEXU); Puerto El Flechadero, Sierra de Cacoma, Municipio de Ayutla, 19°56'54"N, 104°32'36"O, Carbajal y González 2864 (IBUG,); **Oaxaca**: 1 km de la desv. del poblado de Escopeta, km 24 carretera San Sebastian Tecomoxtlahuaca, Municipio San Martin Peras, Dto. Santiago Iuxtlahuaca, 17° 17′ 30″N, 98° 09′ 30″O, J. I. Calzada 19563 (IEB, XAL); 2 Km de la desviación al poblado de Escopeta, km 24 carretera San Sebastián Tecomoxtlahuaca, .Municipio de San Martin Peras, Dto. Santiago Iuxtlahuaca 17° 17′ 00″N, 97° 09′ 00″O, J. I. Calzada 19727 (MO, XAL); NW slope of mountain above, SE of Ayutla, some- what below first summit on dry rocky hillside, Dtro. de Mixe, Municipio de San Pedro y San Pablo Ayutla, 17º01'N, 96º04'W, Roy E. Gereau 2061 (MO, MEXU); San Sebastián Tecomaxtlahuaca, 1.8 km al N de la carretera Tecomaxtlahuca-Coicoyán de Las Flores sobre la brecha a Escopeta, 17°18'27"N 098°07'52"O, Panero, Calzada & Kuijt 5574 (US); **Puebla**: Cascada de La Virgen, a 3 km al sur de Chilchotla, Municipio de Chilchotla,

19°14'20"N, 97°10'17"O, Cházaro y Vázquez 267a (XAL); al S de Loc. de Cozalapa, Municipio de Chilchotla, 19° 13′ 58.3″N, 97° 10′ 38.4″O, L. Caamaño 14081 (ENCB, HUAP);
Altitud: 2000-2700 m.
Tipos de vegetación: bosque de *Abies*, bosque de *Pinus*, bosque de *Pinus-Quercus*, bosque mesófilo de montaña.
Floración: noviembre a marzo
Este nombre se valida aquí formalmente, dado que la combinación previa en *Sealya* publicada por Floden & Shipunov (bioRxiv preprint, https://doi.org/10.1101/2020.08.03.235267; posted 7 Aug. 2020) carecía de validez nomenclatural. *Sealya* se reconoce como un género monotípico, cuyo único representante es *S. conzattii*, constituyendo un linaje disyunto respecto a *Sarcococca* del sudeste de Asia.
This name is formally validated here, since the previous combination in Sealya by Floden & Shipunov (2016, Phytoneuron) was not validly published. Sealya is recognized as a monotypic genus, whose only representative is S. conzattii, representing a disjunct lineage from Asian Sarcococca.

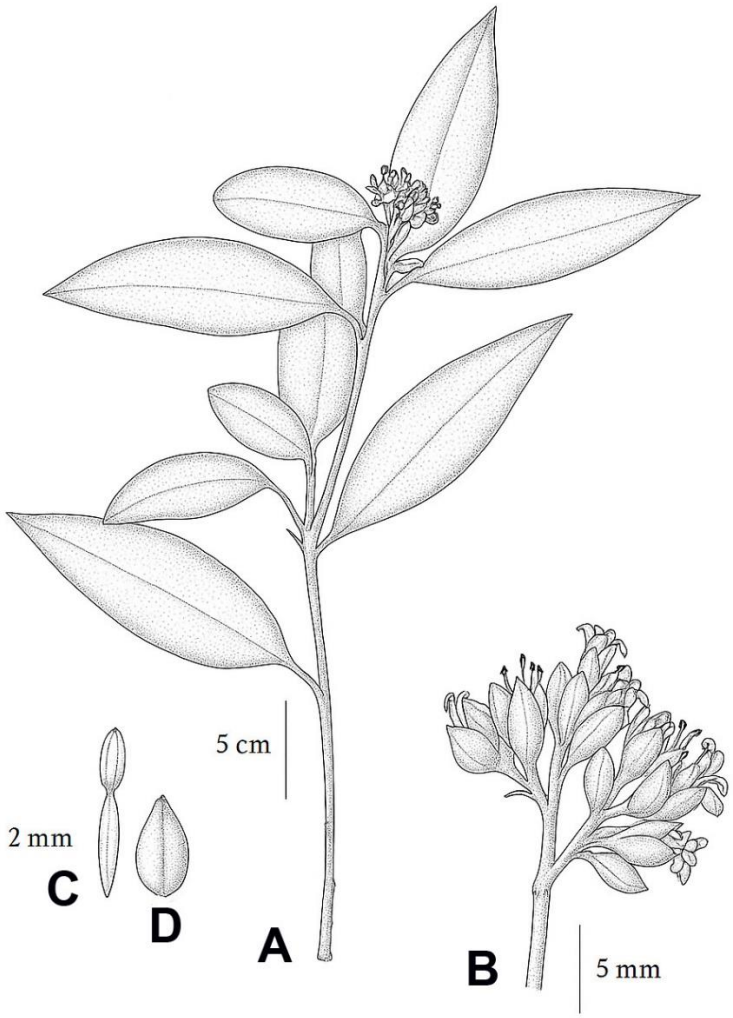


Figura 7. *Sealya conzattii* (Standl.) Floden & Shipunov ex R. Fernández & Arreguin. A. Rama con hojas e inflorescencias; B, Inflorescencia; C. Flor masculina; D,Ffruto. Basado en Ramírez & Cruz (2024).
Figure 7. *Sealya conzattii* (Standl.) Floden & Shipunov ex R. Fernández & Arreguin. A. branch with leaves and inflorescences; B. Inflorescence; C. Male flower; D. Fruit. Based on Ramírez & Cruz (2024)

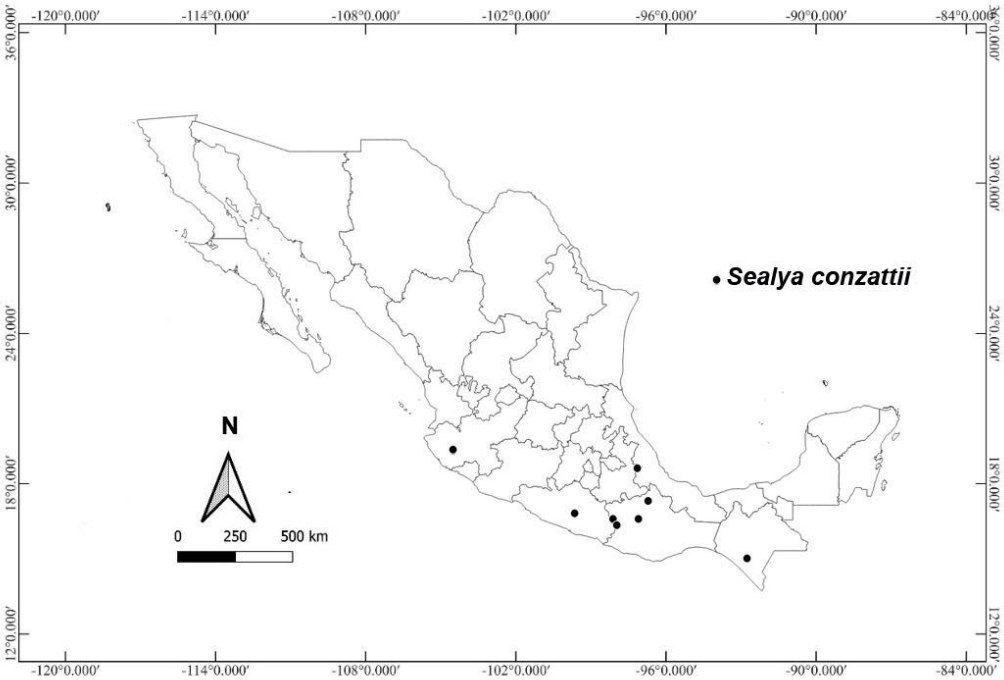


Figura 8. Distribución geográfica conocida en México de *Sealya conzattii*
Figure 8. Known geographic distribution in Mexico of *Sealya conzattii*

DISCUSIÓN

El presente estudio confirma que la familia **Buxaceae** en México está representada por seis especies distribuidas en dos géneros: *Buxus* y *Sealya*. Esta cifra coincide con lo señalado previamente por Fernández (1994) y Medina (2009), pero a diferencia de aquellos tratamientos, se reconoce formalmente la validez de *Sealya conzattii*, segregada de *Sarcococca* por su morfología floral y su distribución estrictamente mesoamericana (Shipunov, 2020). La validación de este género resalta la importancia de considerar criterios tanto morfológicos como biogeográficos para delimitar linajes disyuntos respecto a los taxones asiáticos.

El análisis de especímenes de herbario permitió precisar los rangos morfométricos y caracteres diagnósticos de cada especie mexicana de *Buxus*, lo que contribuye a clarificar la delimitación entre taxones afines. En particular, *B. moctezumae* y *B. lancifolia*, tradicionalmente confundidas en colecciones, se distinguen de manera consistente por diferencias foliares y en la pubescencia del ovario. Asimismo, la revisión de material histórico corroboró que *B. pubescens* es estrictamente endémica de las Islas Marías (Nayarit), lo que refuerza su importancia como elemento de conservación insular.

Desde un punto de vista biogeográfico, la distribución de las especies de Buxaceae en México revela una marcada afinidad con ambientes montanos y húmedos, principalmente bosques mesófilos de montaña y selvas subperennifolias, lo cual coincide con lo reportado por Gual et al. (2013). Este patrón sugiere que la familia ha encontrado en México refugios ecológicos favorables, asociados con gradientes altitudinales que oscilan entre 10 y 2700 m,s.n.m., así como con diversos microclimas. La presencia de *B. mexicana* en ambientes xerófitos de Puebla constituye una excepción interesante, que podría estar relacionada con adaptaciones secundarias a condiciones más áridas.

En el ámbito filogenético, la posición de Buxaceae dentro del orden Buxales continúa siendo un tema de interés. El reconocimiento de *Sealya* como linaje independiente apoya la hipótesis de que la familia ha experimentado eventos de diversificación disyunta entre Asia y América, reforzando la necesidad de estudios moleculares que evalúen relaciones evolutivas entre tribus y géneros (Van Laere *et al.*, 2011).
Varias especies muestran distribuciones restringidas y hábitats vulnerables a la deforestación, lo que convierte a este grupo en un buen indicador de la salud de los ecosistemas montanos y tropicales del país.

CONCLUSIONES

El presente estudio consolida la información taxonómica y biogeográfica de la familia Buxaceae en México, representada por seis especies agrupadas en dos géneros: *Buxus* y *Sealya*. La validación formal de *Sealya conzattii* como género monotípico constituye un aporte relevante para la sistemática del grupo, al reconocer un linaje estrictamente mesoamericano con rasgos morfológicos y biogeográficos bien diferenciados.
La revisión de material de herbario y observaciones de campo permitió clarificar los límites entre especies afines, corregir ambigüedades históricas y precisar rangos morfométricos útiles para la identificación. Este esfuerzo actualiza la nomenclatura y provee claves diagnósticas que fortalecen la delimitación de las especies mexicanas de Buxaceae.
Desde una perspectiva biogeográfica, se confirma que la familia presenta una marcada asociación con ecosistemas montanos húmedos y selvas subperennifolias, con casos singulares como *B. mexicana* en ambientes xerófitos y *B. pubescens* restringida a las Islas Marías. Estos patrones resaltan la importancia de los gradientes ecológicos en la diversificación del grupo y la necesidad de estrategias específicas de conservación.
Este trabajo sienta las bases para futuros estudios filogenéticos y de conservación, al proporcionar un marco taxonómico actualizado y evidencias claras de la vulnerabilidad de las especies mexicanas de Buxaceae ante la pérdida y fragmentación de hábitats.

LITERATURA CITADA

Angiosperm Phylogeny Group. (2003). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society, 141*(4), 399–436. Obtenido de https://doi.org/10.1046/j.1095-8339.2003.t01-1-00158.x

Angiosperm Phylogeny Group. (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. doi:https://doi.org/10.1111/boj.12385

Berendsohn, W. G., Gruber, A. K., & Monterrosa Salomón, J. A. (2009). Nova Silva Cuscatlanica. Árboles nativos e introducidos de El Salvador. Parte 1: Angiospermae - Familias A a L. *Englera, 29*(1), 1-438.

Brückner, P. (1993). Pollen morphology and taxonomy of Eurasiatic species of the genus *Buxus* (Buxaceae). *Grana, 32*(2), 65-78.

Carnevalli, G., Tapia, J., Duno de Stefano, R., & Ramírez, I. (2010). Flora ilustrada de la Península de Yucatán: Listado florístico. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Cronquist, A. (1981). An integrated system of classification of flowering plants.Columbia University Press. New York, United States.

Fernandez Nava, R. (1994). Buxaceae. En J. Rzedowski & G. Calderón de Rzedowski (Eds.), Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes (Fascículo 27, pp. 1–6). Instituto de Ecología, A.C. DOI: https://doi.org/10.21829/fb.227.1994.27.

Recibido:
8/octubre/2025

Aceptado:
8/diciembre/2025

Gentry, A. H., Standley , P. C., & Steyermark, J. A. (1966). Flora of Guatemala. *Fieldiana: Botany*(24), 1-434.

Gual, M., Cuevas, P., González, A., & Oyama, K. (2013). Distribution and ecological niche modeling of Mexican cloud forests: A case study with endemic species. *Revista Mexicana de Biodiversidad, 84*(2), 401-413. Obtenido de ttps://doi.org/10.7550/rmb.31236

Hans, A. S. (1973). Chromosomal conspectus of the Euphorbiaceae. *Taxon, 22*(5-6), 591–636. Obtenido de https://doi.org/10.2307/1218478

Hegnauer, R. (1964). Chemotaxonomie der Pflanzen (Vol. 3). Birkhäuser Verlag.

Hegnauer, R. (1989). Chemotaxonomie der Pflanzen (Vol. 8). Birkhäuser Verlag.

Holmgren, P. K., Holmgren, N. H., & Bamett, L. C. (1990). Index Herbariorum. Part I. The Herbaria of the World. 8th. Ed. Regnum Veg. 120: 1-693.

Huang, S. F., Chen, Z. Y., Qi, Q. Y., & Shi, X. H. (1986). Plant chromosome counts (2). *Subtropical Forest Science and Technology*(3), 41-47.

Jiménez-Ramíre , J., & Cruz Durán, R. (2004). Buxaceae. En L. O. Alvarado-Cárdenas, J. Jiménez, R. M. Fonseca, & M. Martínez (Eds.), Flora de Guerrero (Fascículo 101, pp. 1–12). Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

Köhler, E. (1981). Pollen morphology of the West Indian–Central American species of the genus *Buxus* L. (Buxaceae) with reference to taxonomy. *Pollen & Spores*(23), 37-91.

Köhler, E., Fernández, R. & Zamudio, S. (1993). *Buxus moctezumae* Köhler, Fernándes *et* Zamudio (Buxaceae) una especie nueva de Estado de Querétaro, México Con 37 Figuras. Feddes Repertorium. 104(5–6), 295–305

Köhler, E. (2007). Buxaceae. En K. Kubitzki (Ed.), The families and genera of vascular plants. (Vol. IX, pp. 40–47). Springer.

Köhler, E. (2014). Buxaceae. En W. Greuter & R. Rankin Rodríguez (Eds.), Flora de la República de Cuba, Serie A, Plantas vasculares (Fascículo 19). Botanischer Garten & Botanisches Museum Berlin-Dahlem.

Köhler, E., & Brückner, P. (1982). Die Pollenmorphologie der afrikanischen Buxus und Notobuxus Arten (Buxaceae) und ihre systematische Bedeutung. *Grana*, 71-82.

Köhler, E., & Schirarend, C. (1989). Zur Blattanatomie der neotropischen Buxus Arten und ihre Bedeutung für die Systematik (Buxaceae). *Flora, 183*(1), 1-38. doi:https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)30552-4

Mathou, T. (1940). Recherches sur la famille des buxacées. Université de Toulouse.

Medina, R. (2009). Buxaceae. En R. Medina Lemos (Ed.), Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Fascículo 74, pp. 1–5). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología.

Shipunov, A., Lee, H. J., Choi, J., Pay, K., DeSpiegelaire, S., & Floden, A. (2020). Not out of the box: phylogeny of the broadly sampled Buxaceae. bioRxiv. https://doi.org/10.1101/2020.08.03.2352.

Standley, P. C. (1923). Trees and shrubs of Mexico. *Contributions from the United States National Herbarium*(23), 1-1721.

Stevens, P. F. (2001-presente). Angiosperm Phylogeny Website (Versión 14). Missouri Botanical Garden. http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/.

Van Laere, K., Hermans, K., Leus, L., & Van Huylenbroek, J. (2011). Genetic relationships in European and Asiatic *Buxus* species based on AFLP markers, genome sizes and chromosome numbers. *Plant Systematics and Evolution, 293*(1-4), 1-11. Obtenido de https://doi.org/10.1007/s00606-011-0432-6

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

RIQUEZA DE EPÍFITAS VASCULARES EN LA RESERVA EL PEÑÓN, MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

VASCULAR EPIPHYTE RICHNESS IN THE PEÑÓN RESERVE, MUNICIPALITY OF VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO, MEXICO

Gomez-Escamilla, I.N., B.E. Téllez-Baños, A. Espejo-Serna, A.R. López-Ferrari

RIQUEZA DE EPÍFITAS VASCULARES EN LA RESERVA EL PEÑÓN, MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO
VASCULAR EPIPHYTE RICHNESS IN THE PEÑÓN RESERVE, MUNICIPALITY OF VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 23-54 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.2

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Riqueza de epífitas vasculares en la reserva El Peñón, municipio de Valle de Bravo, Estado de México, México

Vascular epiphyte richness in The Peñón reserve, municipality of Valle de Bravo, Estado de México, Mexico

Ivonne Nayeli Gomez-Escamilla https://orcid.org/0000-0002-3464-1768
Bruno Enrique Téllez-Baños https://orcid.org/0009-0006-9475-4090
Adolfo Espejo-Serna / aes@xanum.uam.mx
https://orcid.org/0000-0001-7192-4612
Ana Rosa López-Ferrari https://orcid.org/0000-0003-1071-7075
Herbario Metropolitano, Departamento de Biología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa. Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186, Col. Leyes de Reforma 1 A Sección, Alcaldía Iztapalapa, C. P. 09310, Ciudad de México

Ivonne Nayeli Gomez-Escamilla, Bruno Enrique Téllez-Baños, Adolfo Espejo-Serna, Ana Rosa López-Ferrari

RIQUEZA DE EPÍFITAS VASCULARES EN LA RESERVA EL PEÑÓN, MUNICIPIO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

VASCULAR EPIPHYTE RICHNESS IN THE PEÑÓN RESERVE, MUNICIPALITY OF VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 23-54. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.2

RESUMEN: El inventario de la riqueza y la distribución de las epífitas vasculares está todavía incompleto para algunas entidades del país, entre ellas el Estado de México. Con el propósito de contribuir al conocimiento de este componente botánico para la entidad, se generaron un listado y un catálogo fotográfico de las epífitas vasculares presentes en la reserva privada El Peñón, ubicada en el municipio de Valle de Bravo, el cual pertenece al área natural protegida de carácter federal Cuencas de los Ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec. Con base en el trabajo de exploración y recolección de especímenes en la zona, a lo largo de un año, registramos la presencia de 30 especies, distribuidas en 22 géneros y 10 familias; 16 son endémicas de México. Orchidaceae y Polypodiaceae fueron las familias con mayor riqueza, con 14 y cinco especies respectivamente. El género *Pleopeltis* fue el mejor representado con tres especies, seguido de *Oncidium*, *Polypodium*, *Prosthechea*, *Rhynchostele*, *Tillandsia* y *Stelis*, cada uno con dos taxa. Los meses en los cuales se encontró el mayor número de especies en floración fueron abril, septiembre y noviembre. *Laelia autumnalis, Oncidium tigrinum* y *Rhynchostele cervantesii* se encuentran catalogadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Se incrementó en 57.6% el conocimiento de las epífitas vasculares registradas para El Peñón. Plantas en floración de *Rhynchostele cervantesii*, *R. aptera* y *Laelia autumnalis* son utilizadas por pobladores de la región como ornamentales. La sustracción ilegal de estas plantas representa una amenaza seria para las poblaciones silvestres. Son pocas las entidades del país que cuentan con listados de plantas epífitas realizados de forma sistemática y los resultados de este trabajo demuestran que, aún en áreas pequeñas como la zona de estudio, especies que no son fácilmente observables, como las que habitan en las copas de los árboles, se siguen registrando.

Palabras clave: bosque de encino; helechos; holoepífitas; inventario florístico; orquídeas.

ABSTRACT**:** The inventory of the richness and distribution of vascular epiphytes is still incomplete for some states of Mexico, including Estado de México. With the aim of contributing to the knowledge of this botanical component for the entity, a list and a photographic catalog of the vascular epiphytes of El Peñón private reserve were generated, the area is located in the municipality of Valle de Bravo, which belongs to the federal protected natural area Cuencas de los Ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec. Based on explorations and recollection of specimens in the area over the course of a year, we recorded the presence of 30 species, distributed in 22 genera and 10 families; 16 taxa are endemic to Mexico. Orchidaceae and Polypodiaceae were families with greater richness, with 14 and five species respectively. The genus

Pleopeltis was the best represented with three species, followed by *Oncidium*, *Polypodium*, *Prosthechea*, *Rhynchostele*, *Tillandsia*, and *Stelis*, each one with two taxa. The months with the highest number of species in flowering stage were April, September and November. *Laelia autumnalis*, *Oncidium tigrinum*, and *Rhynchostele cervantesii* are cataloged in NOM-059-SEMARNAT-2010. Knowledge of vascular epiphytes registered for El Peñón increased 57.6%. Flowering plants of *Rhynchostele cervantesii*, *R. aptera*, and *Laelia autumnalis* are used by residents of the region as ornamentals. Illegal substraction of these plants represents a serious threat to wild populations. There are few entities of the country that have lists of epiphytic plants made systematically, and the results of this work demonstrate that, even in areas as small as the study area species that are not so easily observable, such as those that live in the treetops, continue to be recorded.
Key words: ferns; floristic inventory; holoepiphytes; oak forest; orchids.

INTRODUCCIÓN

Las epífitas son plantas que desarrollan todas las etapas de su vida sobre otras plantas (forófitos) sin parasitarlas (Benzing, 2012, Zotz, 2016) y, en ausencia de ellas, algunas recurren a sustratos artificiales como bardas, techos, postes e incluso cables eléctricos para establecerse (Wester & Zotz, 2010). Las epífitas incluyen grupos de plantas no vasculares como musgos y hepáticas, y grupos de plantas vasculares como Lycophytas, Pteridophytas y Spermatophytas (Zotz, 2016). Actualmente se conocen cerca de 28000 especies de epífitas vasculares para el mundo, lo que representa cerca de 9% de la diversidad global de plantas vasculares (Zotz, 2013).

Para México se ha documentado la presencia de 1813 especies de epífitas vasculares, distribuidas en 253 géneros y 37 familias (Espejo-Serna *et al*., 2021), siendo Orchidaceae, Bromeliaceae y Polypodiaceae las familias mejor representadas, tanto a nivel genérico como específico. Existen diversas contribuciones florísticas relativas a las epífitas vasculares mexicanas a nivel estatal, regional y/o por grupos selectos (Ceja-Romero *et al*., 2010, 2012; Farrera Sarmiento *et al*., 2012; Flores-Argüelles *et al*., 2022; Gomez-Escamilla *et al*., 2019; Hernández López *et al*., 2014; Krömer *et al*., 2020; Mendoza-Ruiz *et al*., 2016; Miguel-Vázquez *et al*., 2020; Mora-Olivo *et al*., 2018; Rojas-Zárate & Mondragón, 2016; Torres Argüello *et al*., 2019; Trejo-Cruz *et al*., 2021; Trejo-Díaz & Tejero-Díez, 2017; Wolf & Flamenco, 2003). Sin embargo, aún es necesario mas trabajo de campo para conocer la flora epifítica del centro del país.

De acuerdo con los datos reportados por Espejo-Serna *et al*. (2021), en el Estado de México se ha registrado la presencia de 150 especies de epífitas vasculares, distribuidas en 57 géneros y 16 familias. Aunque dicha entidad ocupa el undécimo lugar en cuanto a riqueza de este grupo de plantas, hasta el momento no se cuenta con ningún trabajo sistemático sobre las epífitas vasculares que alberga. Pocos estudios se han dedicado a conocer la diversidad y la riqueza de este componente botánico en una localidad específica, así como a elaborar un registro fotográfico de las especies que lo conforman. Particularmente, para el municipio de Valle de Bravo sólo existían hasta ahora cuatro aportaciones; una de ellas documenta la flora vascular específica de un bosque mesófilo de montaña (López-Pérez *et al*., 2011), otra incluye información sobre la flora y estructura de los bosques de rancho Cerro Gordo (Ochoa Kato, 2013), otra es un diagnóstico ambiental de la reserva ecológica Monte Alto (Reyes Villar, 2013) y la más reciente analiza la estructura y diversidad del bosque templado húmedo de Los Álamos (Avelar-Ricardez, 2025) y aunque en esta última se incluye un listado de la flora, no contiene información relativa al hábito de las especies.

El Estado de México cuenta con 97 Áreas Naturales Protegidas (ANP) (Moreno-Barajas *et al*., 2019), tres de ellas pertenecen a la categoría Áreas de Protección de Recursos Naturales (APRN), las cuales están dedicadas a la protección de suelos, cuencas, agua y recursos naturales de terrenos forestales (Íñiguez Dávalos *et al*., 2014). El APRN Cuencas de los Ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec, a la cual pertenece el municipio de Valle de Bravo, es un área de gran importancia para el suministro de agua al valle de Toluca y en parte a la Ciudad

de México; este municipio concentra una importante práctica forestal y es uno de los principales centros turísticos del Estado de México (Ceballos *et al*., 2009). En parte del área de esta APRN se aprobó la construcción de una comunidad campestre sustentable denominada reserva El Peñón (SEMARNAT, 2014).
En la reserva El Peñón se han realizado diversos estudios faunísticos (Barragán Reséndiz, 2020; Barragán-Reséndiz *et al*., 2022; Cervantes Burgos, 2017), y al ser una reserva privada es posible realizar investigaciones científicas a mediano plazo (Cesar Carbajal, 2019; Santamaria Ruiz, 2019). Desafortunadamente la flora vascular presente en la zona ha sido pobremente documentada (SEMARNAT, 2015; Vázquez Medrano *et al*., 2016). Con el propósito de contribuir al conocimiento de las epífitas mexicanas, se generaron un listado y un catálogo fotográfico de las epífitas vasculares presentes en la reserva privada El Peñón, ubicada en el municipio de Valle de Bravo, Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La reserva privada El Peñón se ubica en el municipio de Valle de Bravo, en la porción suroeste del Estado de México (Fig. 1). El área abarca 201.14 ha, de las cuales 44.76% están destinadas a la conservación del bosque y el resto al aprovechamiento de los recursos naturales, como la construcción de 55 viviendas, la captación de aguas pluviales y el manejo de residuos orgánicos mediante un sistema de composteo, entre otras (SEMARNAT, 2015). La reserva se encuentra incluida en el área natural protegida de carácter federal, Cuencas de los Ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec, que pertenece a la categoría de Área de Protección de Recursos Naturales, (CONANP, 2024).
De acuerdo con datos de la estación meteorológica la Albarrada No. 15392 (CONAGUA, 2022), ubicada a 3 km al sur del área de estudio, la reserva presenta un clima templado subhúmedo (Cw2); la temperatura media anual es de 18.2 ºC, siendo mayo el mes más caluroso con 26.2 ºC y enero el más frío con 10.4 ºC. La precipitación media anual es de 1213 mm, siendo agosto el mes más lluvioso con 243.1 mm y marzo el más seco con 0.3 mm. El intervalo altitudinal va desde 2195 hasta 2422 m s. n. m. Los tipos de vegetación presentes en la zona son bosque de *Quercus*, relictos de bosque mesófilo de montaña, pastizales y zonas agrícolas (Fig. 2) (Rzedowski, 2006).
El trabajo de exploración y recolección botánica se realizó a lo largo de un año, desde marzo del 2020 hasta marzo del 2021, efectuándose 12 expediciones botánicas (en total 49 días) a diversas localidades de la reserva que incluyeron todos los tipos de vegetación presentes en el área. Los ejemplares se procesaron e identificaron de acuerdo con los métodos propuestos por Aguirre-León (1986) para las epífitas vasculares. Cuando fue posible, se recolectaron varios duplicados de cada registro; el primer juego de ejemplares de respaldo fue depositado en el Herbario Metropolitano Ramón Riba y Nava Esparza (UAMIZ) de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa y los duplicados fueron enviados como intercambio a los herbarios CHAPA y MEXU (Thiers, permanentemente actualizado). En la presentación del listado se siguió el sistema de clasificación propuesto por APG IV (The Angiosperm Phylogeny Group *et al*., 2016) para la circunscripción de las familias de angiospermas y para las pteridofitas la clasificación propuesta por PPG (The Pteridophyte Phylogeny Group *et al*., 2016), mientras que para los tipos de vegetación, se siguió la propuesta de Rzedowski (2006).
Además del material recolectado, se revisaron ejemplares herborizados de las epífitas vasculares presentes en la reserva, depositados en cinco herbarios institucionales que por su ubicación cuentan con colecciones importantes del Estado de México: ENCB, FCME, IZTA, MEXU y UAMIZ (Thiers, permanentemente actualizado), con el objetivo de obtener datos complementarios acerca de su distribución en la entidad referida para poder realizar un mapa de riqueza por municipio, así como conocer la representatividad de especímenes de dichas especies en las mencionadas colecciones.

Los datos sobre endemismo se obtuvieron a partir de la consulta de diversos listados actualizados para México (Espejo-Serna & López-Ferrari, 2018; Solano Gómez *et al*., 2020) y se revisó el anexo informativo III Lista de Especies en Riesgo de la NOM-059-SEMARNAT (SEMARNAT, 2010, 2019) para identificar las especies que se encontraban en alguna categoría de protección especial.
También se realizó una búsqueda de material bibliográfico relativo a trabajos florísticos realizados en el municipio de Valle de Bravo con el fin de saber si había reportes previos de plantas con hábito epífito (López-Pérez *et al*., 2011; Ochoa Kato, 2013; Reyes Villar, 2013).

RESULTADOS

Se registró la presencia de 30 especies de epífitas vasculares distribuidas en 22 géneros y 10 familias (Apéndice 1, Fig. 3); 16 especies son endémicas de México (Figs. 4-7). Entre las Antophyta, la mayor riqueza se concentra en Orchidaceae, Bromeliaceae y Crassulaceae, mientras que Cactaceae, Lentibulariaceae, Onagraceae y Piperaceae sólo presentan una especie, por otro lado, para las Pteridohyta, la mayor riqueza se registró en Polypodiaceae y la menor en Aspleniaceae y Dryopteridaceae. Orchidaceae es la familia con el mayor número de géneros (10/45.5%) y especies (14/46.6%) (Figs. 4-6). *Pleopeltis* es el género mejor representado (Fig. 8), con tres especies, seguido por *Oncidium*, *Polypodium*, *Prosthechea*, *Rhynchostele*, *Tillandsia* y *Stelis* cada uno con dos taxa.
Cuphea jorullensis Kunth (Lythraceae), *Valeriana robertianifolia* Briq. (Caprifoliaceae) y *Begonia gracilis* Kunth (Begoniaceae) se encontraron creciendo como epífitas accidentales y no se incluyeron en la lista (Apéndice 2, Fig. 9).
En cuanto a los tipos de vegetación, el mayor número de especies se encuentran en el bosque de *Quercus* (21), seguido del bosque de *Quercus-Pinus* (6), del bosque de *Pinus-Quercus* (2) y del bosque de *Pinus* (1).
En cuanto a la fenología, los meses en los cuales se encontró el mayor número de especies en floración fueron abril (9), septiembre (9) y noviembre (10) (Fig. 10); además, se registró una floración continua de dos a cinco meses para nueve especies pertenecientes a cinco familias: Lentibulariaceae (*Pinguicula moranensis*, 5 meses), Bromeliaceae (*Tillandsia prodigiosa*, 4; *Tillandsia langlasseana*, 2), Orchidaceae (*Stelis oestlundiana*, 4; *Trichocentrum pachyphyllum*, 4; *Rhynchostele cervantesii*, 3; *Arpohyllum spicatum*, 2), Onagraceae (*Fuchsia fulgens*, 3) y Crassulaceae (*Sedum tortuosum*, 3).
Solo tres especies se encuentran catalogadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y pertenecen a la familia Orchidaceae: *Laelia autumnalis* (Lex.) Lindl. bajo la categoría de sujeta a protección especial (Pr), mientras que *Oncidium tigrinum* Lex. y *Rhynchostele cervantesii* (Lex.) Soto Arenas & Salazar se enlistan en la categoría de amenazadas.
Se revisaron más de 200 ejemplares de herbario, no se localizaron especímenes de *Oncidium reichenheimii* (Linden & Rchb. f.) Garay & Stacy ni de *Prosthechea punctulata* (Rchb. f.) Soto Arenas & Salazar en las colecciones revisadas. Además, sólo se registraron ejemplares de epífitas vasculares para 51 (40.8%) de los 125 municipios que conforman al Estado de México (Fig. 11).

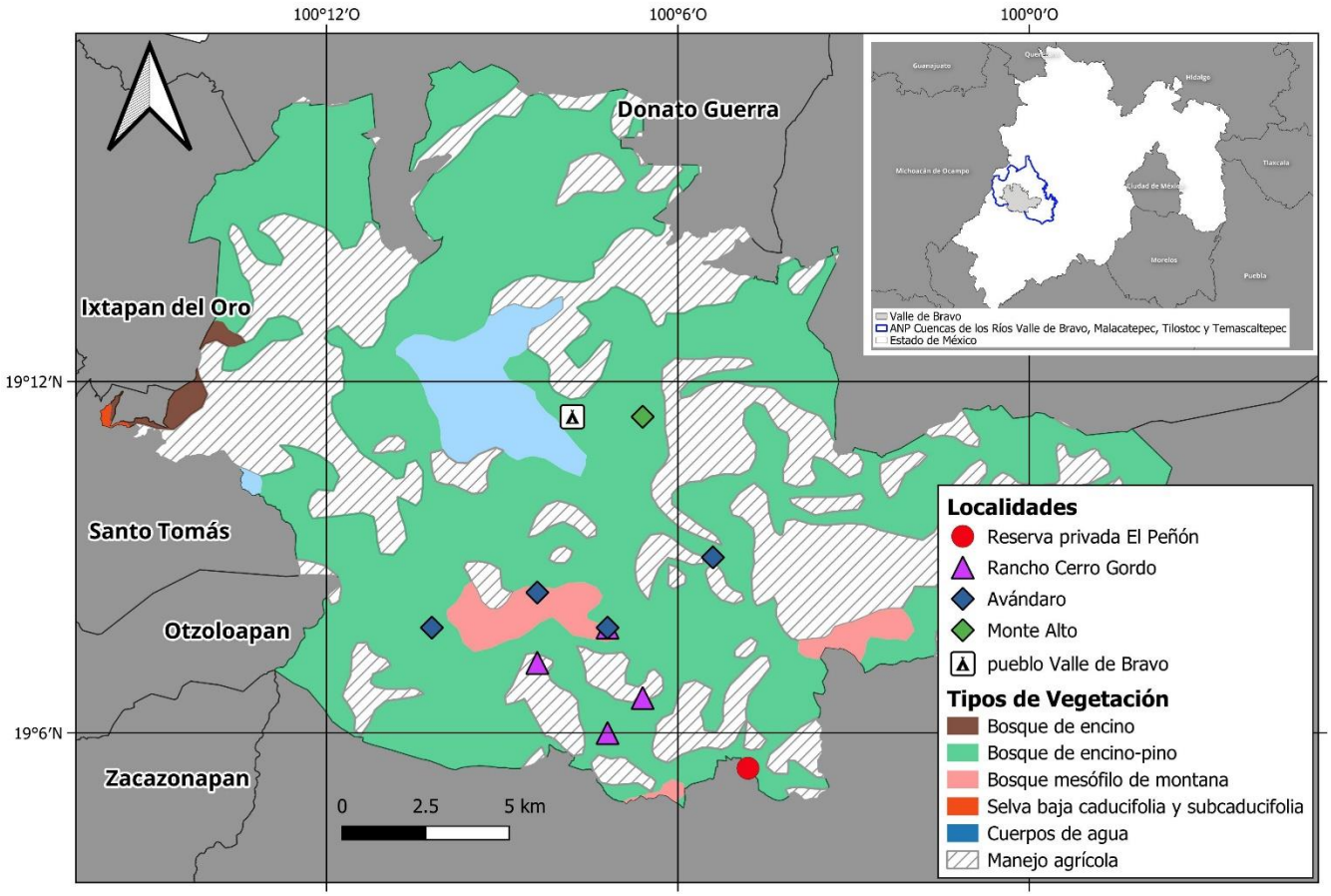


Figura 1. Ubicación de los sitios que cuentan con inventarios florísticos previos realizados en el municipio de Valle de Bravo, Estado de México.
Figure 1. Location of sites with previous floristic inventories made in the municipality of Valle de Bravo, Estado de México.



Figura 2. Tipos de vegetación presentes en el área de estudio. A. bosque de *Quercus* con relictos de bosque mesófilo de montaña, B. bosque de *Pinus*-*Quercus*. Fotos: Bruno E. Téllez-Baños.
Figure 2. Vegetation types present in the study area. A. forest *Quercus* with relicts of cloud forest, B. *Pinus*-*Quercus* forest. Photos: Bruno E. Téllez-Baños.

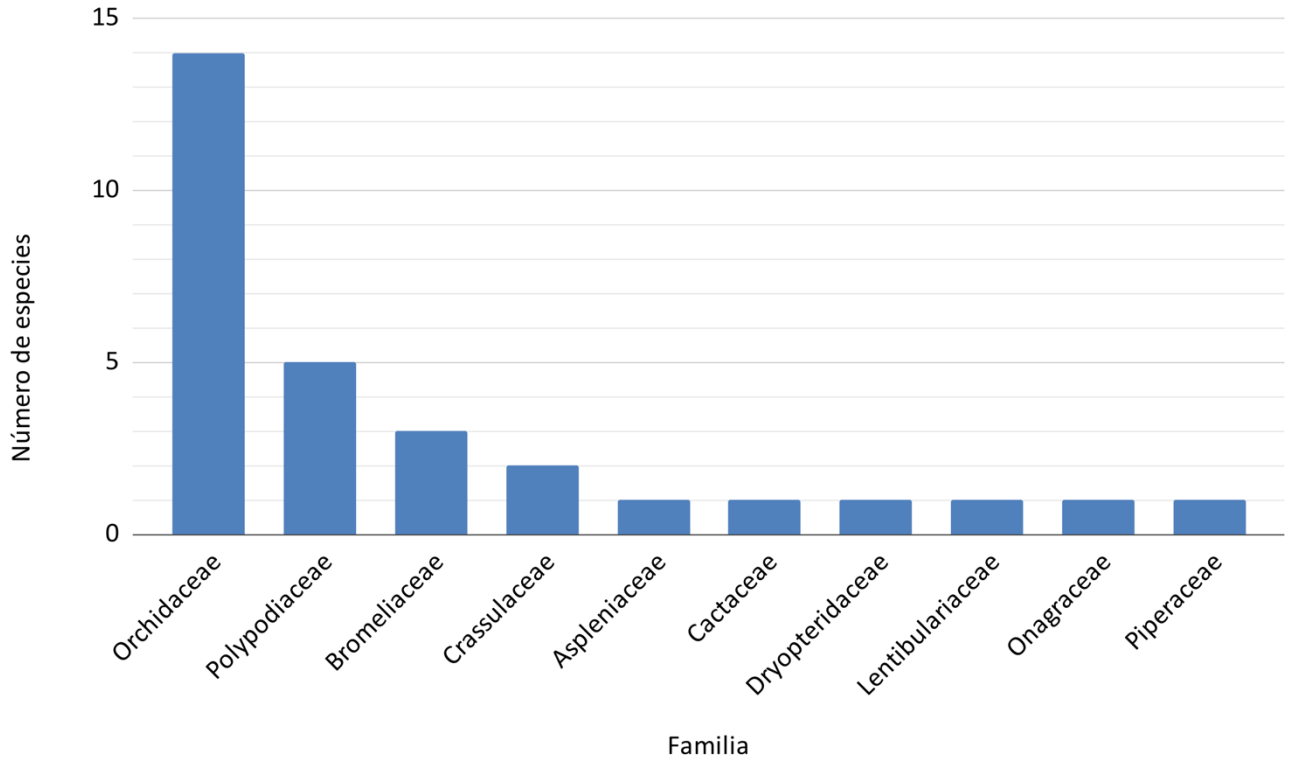


Figura 3. Número de especies por familia registradas en el área de estudio.
Figure 3. Species number by family recorded in the study area.



Figura 4. Algunas epífitas vasculares presentes en la reserva privada El Peñón, Valle de Bravo, Estado de México, México. A. *Catopsis nutans*, B. **Tillandsia intumescens*, C. **T. prodigiosa*, D. **Arpophyllum spicatum,* E. **Epidendrum anisatum*, F. **Erycina hyalinobulbon*. Fotos: Ivonne N. Gomez-Escamilla (A, B), Bruno E. Téllez-Baños (C, D, E, F). *Endémicas de México.

Figure 4. Some of the vascular epiphytes present in El Peñón private reserve, Valle de Bravo, Estado de México, Mexico. A. *Catopsis nutans*, B. **Tillandsia intumescens*, C. **T. prodigiosa*, D. **Arpophyllum spicatum*, E. **Epidendrum anisatum*, F. **Erycina hyalinobulbon*. Photos: Ivonne N. Gomez-Escamilla (A, B), Bruno E. Téllez-Baños (C, D, E, F). *Endemic to Mexico.

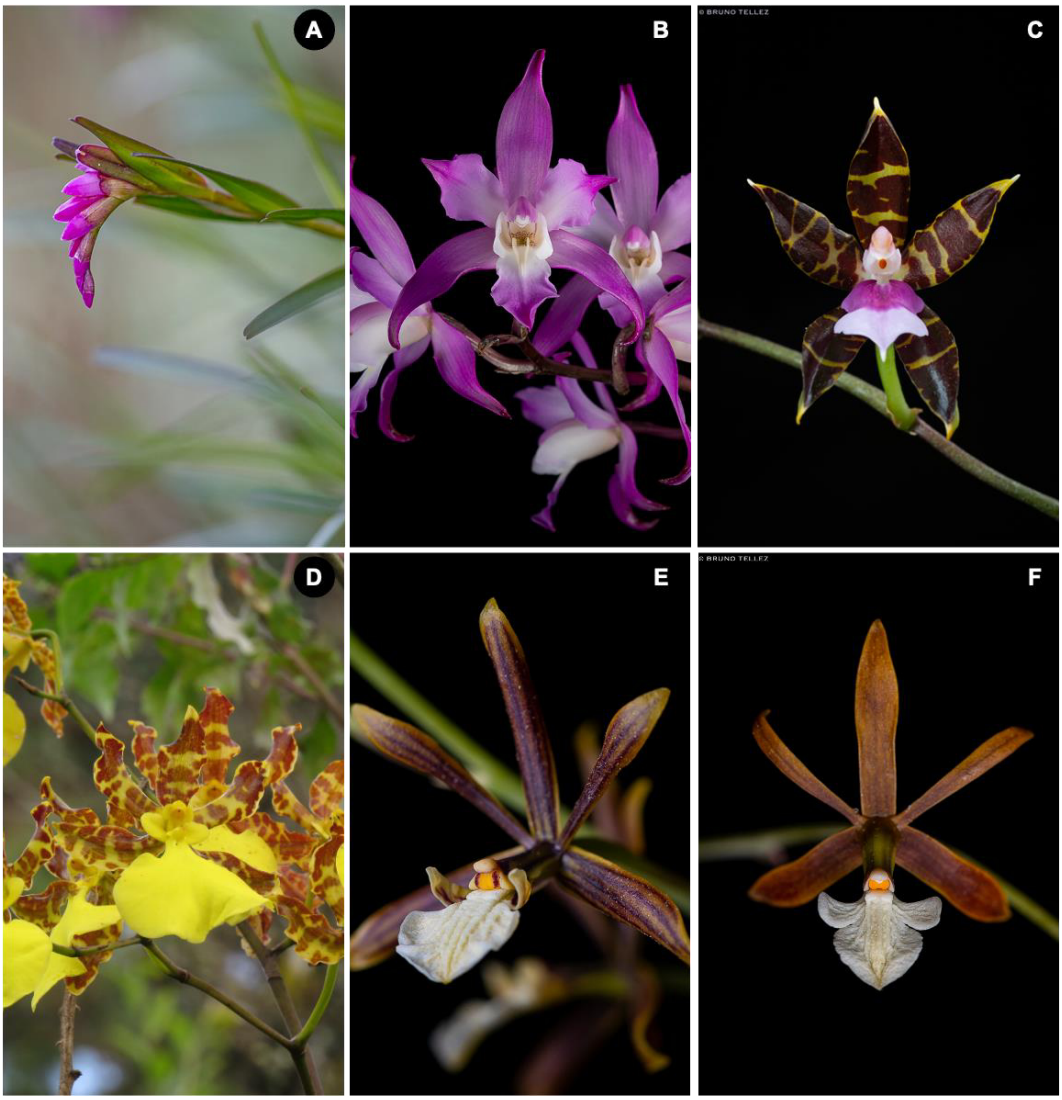


Figura 5. Algunas epífitas vasculares presentes en la reserva privada El Peñón, Valle de Bravo, Estado de México, México. A. **Isochilus bracteatus*, B. **Laelia autumnalis*, C. *Oncidium reichenheimii*, D. *O. tigrinum,* E. **Prosthechea squalida*, F. **P. punctulata*. Fotos: Bruno E. Téllez-Baños (A-F). *Endémicas de México.

Figure 5. Some of the vascular epiphytes present in El Peñón private reserve, Valle de Bravo, Estado de México, Mexico. A. **Isochilus bracteatus*, B. **Laelia autumnalis*, C. *Oncidium reichenheimii*, D. *O. tigrinum*, E. **Prosthechea squalida*, F. **P. punctulata*. Photos: Bruno E. Téllez-Baños (A-F). *Endemic to Mexico.



Figura. 6. Algunas epífitas vasculares presentes en la reserva privada El Peñón, Valle de Bravo, Estado de México, México. A. **Rynchostele aptera*, B. **R. cervantesii*, C. **Stelis oestlundiana*, D. *S. villosa,* E. **Trichocentrum pachyphyllum*, F. *Disocactus speciosus*. Fotos: Bruno E. Téllez-Baños (A-F). *Endémicas de México.

Figure 6. Some of the vascular epiphytes present in El Peñón private reserve, Valle de Bravo, Estado de México, Mexico. A. **Rynchostele aptera*, B. **R. cervantesii*, C. **Stelis oestlundiana*, D. *S. villosa*, E. **Trichocentrum pachyphyllum*, F. *Disocactus speciosus*. Photos: Bruno E. Téllez-Baños (A-F). *Endemic to Mexico.

Núm. 61: 23-54 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525



Figura 7. Algunas epífitas vasculares presentes en la reserva privada El Peñón, Valle de Bravo, Estado de México, México. A. **Echeveria fulgens*, B. **Sedum tortuosum*, C. *Pinguicula moranensis*, D. **Fuchsia fulgens,* E. *Peperomia galioides*, F. *Asplenium praemorsum*. Fotos: Bruno E. Téllez-Baños (A-F). *Endémicas de México.

Figure 7. Some of the vascular epiphytes present in the El Peñón private reserve, Valle de Bravo, Estado de México, Mexico. A. **Echeveria fulgens*, B. **Sedum tortuosum*, C. *Pinguicula moranensis*, D. **Fuchsia fulgens*, E. *Peperomia galioides*, F. *Asplenium praemorsum*. Photos: Bruno E. Téllez-Baños (A-F). *Endemic to Mexico.

Núm. 61: 23-54 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

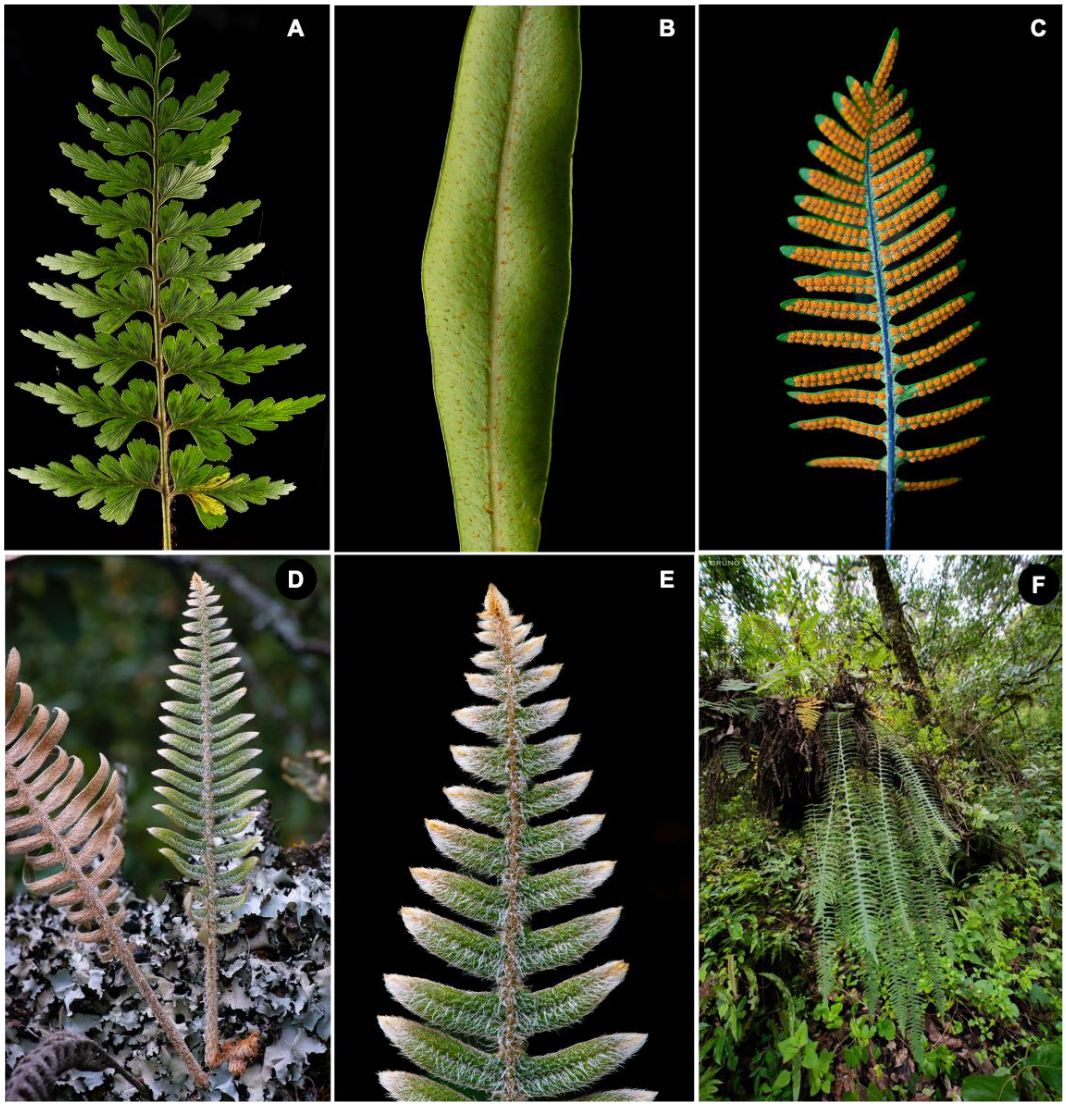


Figura 8. Algunas epífitas vasculares presentes en la reserva privada El Peñón, Valle de Bravo, Estado de México, México. A. *Asplenium praemorsum*, B. *Elaphoglossum schmitzii*, C. *Pleopeltis madrensis*, D. E. *Pleopeltis rosei,* F. *Polypodiym plesiosorum*. Fotos: Bruno E. Téllez-Baños (A-F).

Figure 8. Some of the vascular epiphytes present in the El Peñón private reserve, Valle de Bravo, Estado de México, Mexico. A. *Asplenium praemorsum*, B. *Elaphoglossum schmitzii*, C. *Pleopeltis madrensis*, D. E. *Pleopeltis rosei*, F. *Polypodium plesiosorum*. Photos: Bruno E. Téllez-Baños (A-F).

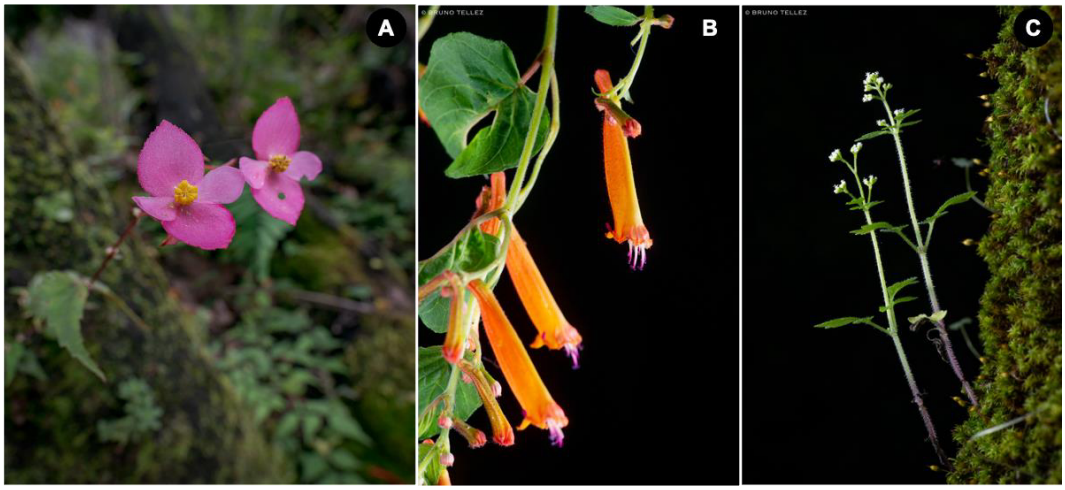


Figura 9. Epífitas vasculares accidentales presentes en la reserva privada El Peñón, Valle de Bravo, Estado de México, México. A. *Begonia gracilis*, B. **Cuphea jorullensis* y C. *Valeriana fulgens* Fotos: Bruno E. Téllez-Baños (A-C). *Endémica de México.

Figure 9. Accidental vascular epiphytes present in the El Peñón private reserve, Valle de Bravo, Estado de México, Mexico. A. *Begonia gracilis*, B. **Cuphea jorullensis*, and C. *Valeriana fulgens*. Photos: Bruno E. Téllez-Baños (A-C). *Endemic to Mexico.

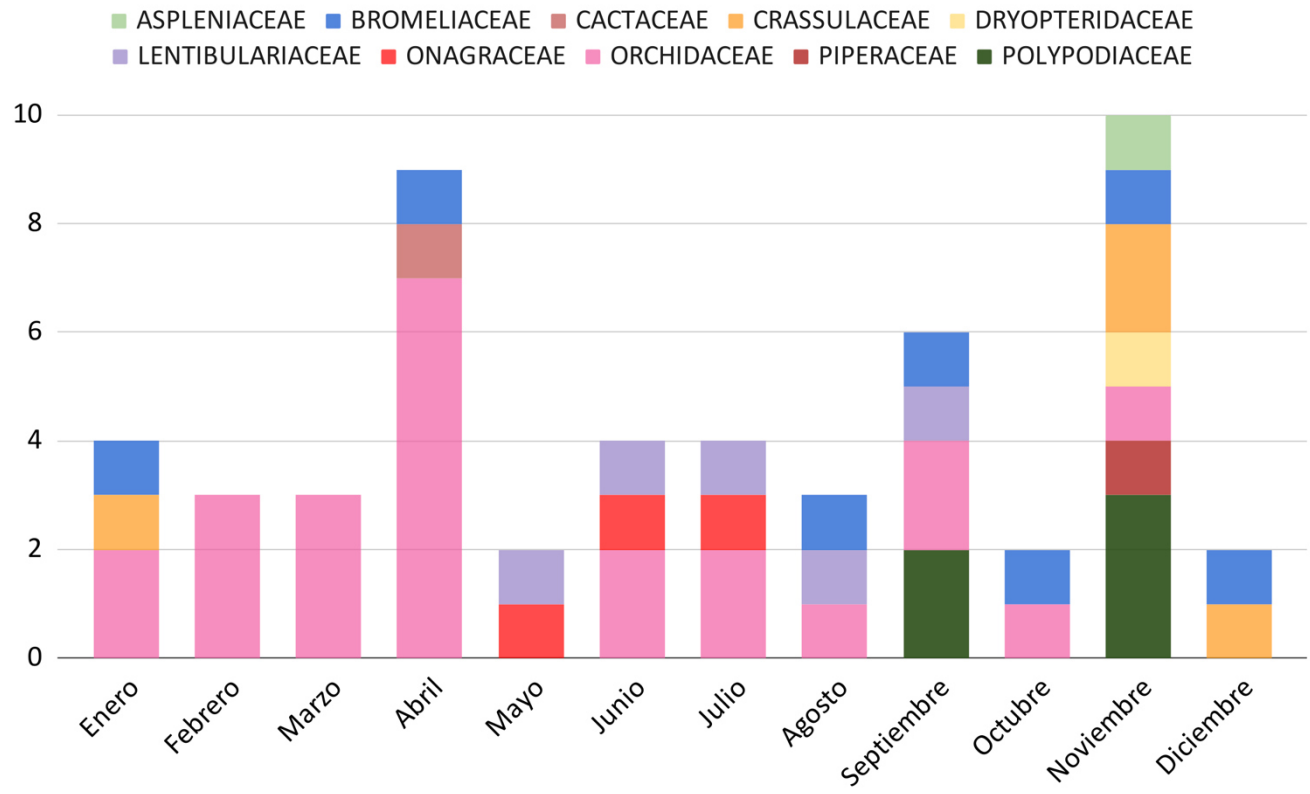


Figura 10. Número de especies en floración por familia por mes.

Figure 10. Number of species in flowering stage per family by month.

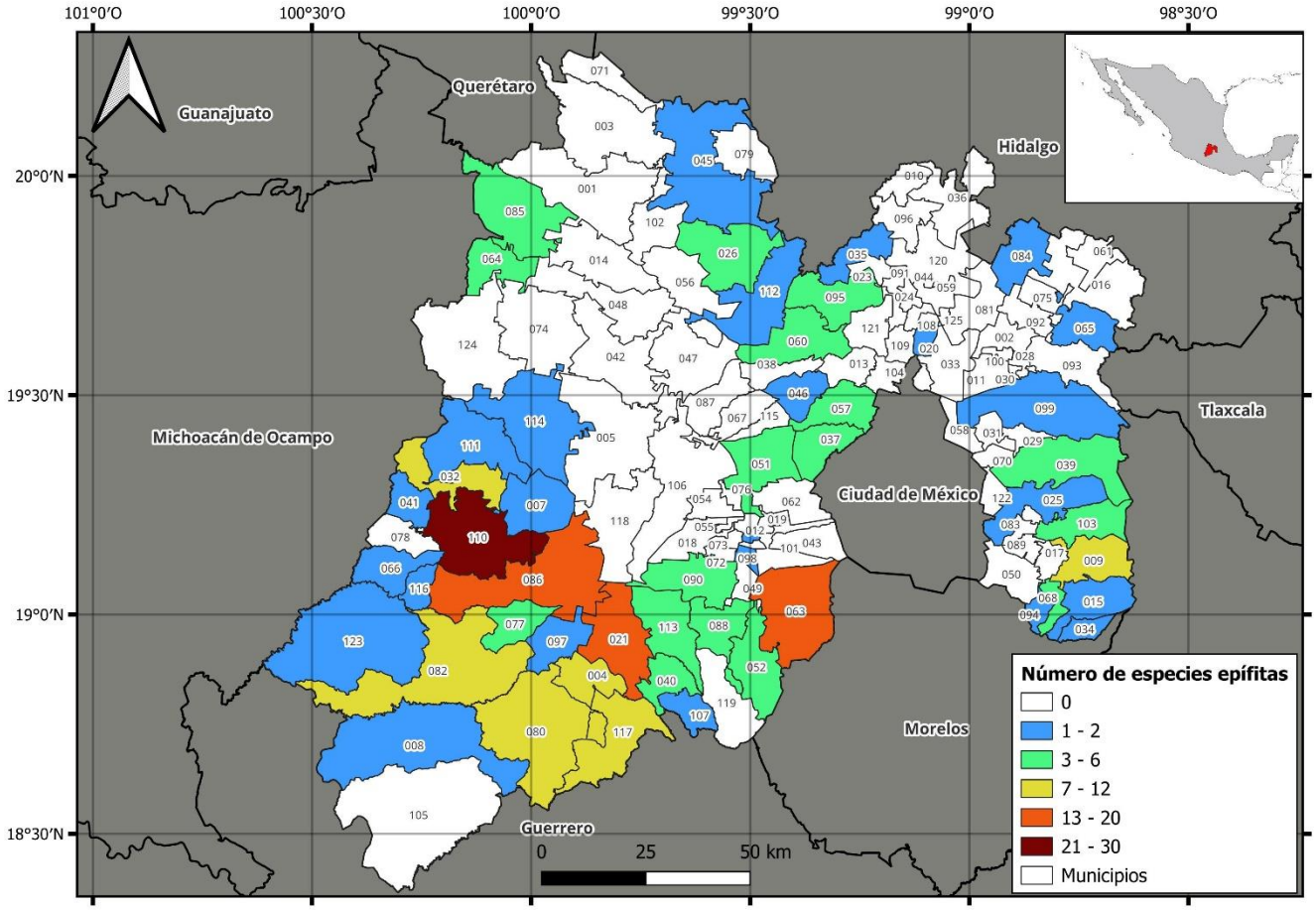


Figura 11. Representación municipal en el Estado de México, de la riqueza de epífitas vasculares registradas en el área de estudio. Los números de cada municipio corresponden a los asignados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2025).
Figure 11. Municipal representation in the Estado de México of the richness of vascular epiphytes recorded in the study area. The numbers for each municipality correspond to those assigned by the National Institute of Statistics and Geography (INEGI, 2025).

DISCUSIÓN

En la reserva privada El Peñón se presenta 20% de las especies de epífitas vasculares reportadas para el Estado de México (Espejo-Serna *et al*., 2021). Al comparar nuestros resultados con los reportados en otros trabajos realizados en el municipio de Valle de Bravo (Tabla 1), todos en zonas con un intervalo altitudinal de entre 1970 y 2620 m s. n. m. y con presencia de bosques mesófilos de montaña y bosques de encino, podemos decir que el área de estudio es la más rica en epífitas vasculares (30) y la que cuenta con la mayor riqueza relativa de especies, seguida por la reportada en los estudios realizados en Avándaro, el listado florístico previo de la reserva privada El Peñón, la reserva ecológica Monte Alto y el del rancho Cerro Gordo. Cabe mencionar que cada una de estas contribuciones contó con diferentes esfuerzos de muestreo y comparando en particular los resultados obtenidos en el presente trabajo con los del inventario previo de la reserva El Peñón (Vázquez Medrano *et al*., 2016), se observa un incremento de 57.6% en el número de especies de epífitas vasculares registradas para la zona, esto debido a que el inventario previo se enfocó en un estudio prospectivo de flora y fauna para la reserva y no priorizó la colecta

del componente epífito. Además, el porcentaje de las epífitas para cada una de las diferentes localidades varía de 5.6 a 20.7%, por lo que, para asegurar un muestreo más completo y representativo de cualquier zona, se recomienda utilizar la técnica de escalada en estudios futuros, ya que de acuerdo con Flores-Palacios & García-Franco (2001) ésta les permitió encontrar hasta 20% más especies de las que se obtendrían con los métodos convencionales de recolección de epífitas.

Tabla 1. Inventarios florísticos, que incluyen plantas epífitas, realizados en el municipio de Valle de Bravo, Estado de México, México.
Table 1. Floristic inventories, that include epiphytic plants, made in the municipality of Valle de Bravo, Estado de México, Mexico.

Localidad	No. spp. epífitas / No. spp. totales	Área (Km^2) (A)	Riqueza de Epífitas Vasculares (R)	% Riqueza Relativa de Especies (RR)
Reserva privada El Peñón (Gómez-Escamilla *et al*. presente estudio)	30 (20.7%) / 145	2	30	100
Avándaro (López-Pérez *et al*. 2011)	22 (5.6%) / 391	18.7	22	98.4
Reserva privada El Peñón (Vázquez *et al*., 2016)	14 (9.6%) / 145	2	14	87
Reserva ecológica Monte Alto (Reyes Villar, 2013)	14 (7.2%) / 193	5.75	14	86.2
Rancho Cerro Gordo (Ochoa Kato, 2013)	18 (7.3%) / 247	4	18	54.4

En la zona de estudio se encontraron 62.5% de las familias de epífitas vasculares reportadas por Espejo *et al*. (2021) para México, lo que es destacable ya que en un área relativamente pequeña, está representada más de la mitad de las familias de epífitas vasculares registradas a nivel nacional. Orchidaceae destacó en el listado, siendo este un resultado esperado, ya que el Estado de México es la octava entidad con mayor riqueza de orquídeas endémicas de México (Castillo-Pérez *et al*., 2019). Por otro lado, taxa como *Laelia autumnalis*, *Prosthechea squalida* y *Trichocentrum pachyphyllum* han sido reportados como los más comercializados de manera ilegal en diversos municipios del suroeste del Estado de México (Emeterio-Lara *et al*., 2016), por lo que se requiere aumentar la protección de sus poblaciones silvestres para garantizar que no disminuyan y a la larga se presente un problema de supervivencia de estas especies en la zona.

Debido a que un número considerable de especies de plantas terrestres pueden crecer esporádicamente sobre sustratos vivos como epífitas accidentales (Zotz & List, 2003), documentamos su presencia en la zona, ya que esa información podría proporcionarnos datos sobre la evolución del epifitismo (Hoeber & Zotz, 2022; Mena-Jiménez *et al*., 2024; Zotz & List, 2003). Aunque Begoniaceae es una familia de plantas predominantemente de hábito terrestre, con un número moderado de taxa epífitos (56), en el área se registró sólo la especie *Begonia gracilis* (Zotz *et al*., 2021) como epífita accidental. Por otra parte, recientemente fue descrita la primera especie epífita del género *Valeriana* (Francisco-Gutiérrez *et al*., 2023); esta interesante aportación y el reporte de *V. robertianifolia* como epífita accidental en el área de estudio, invitan a poner mayor interés en el caso de algunas familias en las que esta forma de vida no es algo común.

Las epífitas vasculares son vulnerables tanto a los cambios ocasionados por perturbaciones antrópicas como por la deforestación, debido a su dependencia de los árboles y a las condiciones de los microambientes que ocupan. Además, en algunos casos, estas plantas se han utilizado como bioindicadores de la calidad ambiental (Krömer *et al*., 2014), por lo que contar con el inventario completo de sus especies, en las diversas áreas de conservación, sería útil para monitorear la calidad ambiental de los bosques.

Son pocas las entidades del país que cuentan con listados de plantas epífitas realizados de forma sistemática, por lo que los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que, incrementar los esfuerzos de muestreo (inventarios florísticos) aún en áreas relativamente pequeñas, permite incrementar considerablemente el conocimiento de la flora epifítica reportada para toda una entidad. Finalmente, es importante considerar que el monitoreo de las especies debe hacerse al menos durante un año, para poder registrar adecuadamente su fenología, ya que esto permitirá contar con datos para que, en caso necesario, se cuente con información suficiente para proponer proyectos de biología reproductiva (Emeterio-Lara *et al*., 2018), especialmente para las orquídeas amenazadas resguardadas en las distintas reservas del país.

El Peñón es una reserva privada actualmente sometida a actividades antrópicas, como es la construcción de viviendas con importancia arquitectónica (SEMARNAT, 2025), por lo que es recomendable que cuente con listados biológicos actualizados para establecer estrategias que disminuyan el impacto ambiental sobre el área, ya que se encuentra en un área natural protegida federal. Además, el Plan de Desarrollo Municipal de Valle de Bravo (2019-2021) (Gobierno Municipal, 2020) mencionaba la importancia de las epífitas en los bosques de encino y mesófilo de montaña, pero en el plan actual (2025-2027) (gobierno municipal, 2025) este aspecto ya no es mencionado, lo que genera preocupación, ya que éstas especies son vulnerables y se ven afectadas desproporcionadamente por los cambios en el uso del suelo debido a su dependencia de los árboles que las hospedan y las condiciones microclimáticas específicas que requieren para su supervivencia (Krömer *et al*., 2025).

CONCLUSIONES

Los estudios florísticos a una escala determinada y de ciertos grupos biológicos como las epífitas vasculares, que se realizan de manera metódica y con muestreos mensuales a lo largo de por lo menos un año, permiten documentar más precisamente la diversidad de las especies, así como sus ciclos biológicos y fenologías particulares.

AGRADECIMIENTOS

A los curadores y al personal de los herbarios ENCB, FCME, IZTA, MEXU y UAMIZ por las facilidades otorgadas para la consulta de material botánico. A Aniceto Mendoza-Ruíz por la identificación de las pteridofitas, así como a Ana Gabriela Martínez y David Gutiérrez por la determinación de la especie de *Elaphoglossum*. A Jimena Mejía por su apoyo en campo. A Peñitas de Godínez A.C. por el apoyo logístico. A los dueños y encargados de la reserva privada El Peñón por otorgarnos los permisos y todas las facilidades para llevar a cabo la recolección de material botánico.

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre-León, E. (1986). Epífitas. In A. Lot & F. Chiang (Eds.), *Manual de herbario: Administración y manejo de colecciones, técnicas de recolecciones y preparación de ejemplares botánicos* (pp. 113–119). Consejo Nacional de la Flora de México, A. C. y el Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Avelar-Ricardez, T. (2025). *Estructura y diversidad del bosque templado húmedo en Los Álamos, Valle de Bravo, Estado de México, México*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Barragán Reséndiz, L. M. (2020). *Evaluación taxonómica de una población del género Geophis (Squamata: Colubridae) de la faja volcánica transmexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Barragán-Reséndiz, L. M., Pavón-Vázquez, C. J., Cervantes-Burgos, R. I., Trujano-Ortega, M., Canseco-Márquez, L., & García-Vázquez, U. O. (2022). A new species of snake of the Geophis sieboldi Group (Squamata: Dipsadidae) from Estado de México, Mexico. *Herpetologica*, *78*(4), 268–276. https://doi.org/10.1655/Herpetologica-D-22-00011

Benzing, D. H. (2012). *Air plants*. Cornell University Press.

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. In *Biologia* (Vol. 74, Issue 1). De Gruyter. https://doi.org/10.2478/s11756-018-0147-x

Ceballos, G., List, R., Garduño, G., Cano, R. L., Muñozcano Quintanar, M. J., Collado, E., & Román San, J. E. (2009). *La diversidad biológica del Estado de México estudio de estado* (Gobierno del Estado de México & Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Eds.).

Ceja-Romero, J., Espejo-Serna, A., García-Cruz, J., López-Ferrari, A. R., Mendoza-Ruiz, A., & Pérez-García, B. (2012). Epífitas vasculares del bajío y de regiones adyacentes. *Flora Del Bajío y de Regiones Adyacentes*, *XXVIII*, 1–53.

Ceja-Romero, J., Mendoza-Ruiz, A., López-Ferrari, A. R., Espejo-Serna, A., Pérez-García, B., & García-Cruz, J. (2010). Las epífitas vasculares del estado de Hidalgo, México: Diversidad y distribución. *Acta Botanica Mexicana*, *93*, 1–39. https://doi.org/10.21829/abm93.2010.274

Cervantes Burgos, R. I. (2017). *Guía de campo para la identificación de anfibios y reptiles en la "Reserva El Peñón" del municipio de Valle de Bravo, Estado de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Cesar Carbajal, S. P. (2019). *Análisis poblacional de Reithrodontomys megalotis (Rodentia: Cricetidae) en la reserva "El Peñón", en el municipio de Valle de Bravo, Estado de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.

CONAGUA. (2022). *Sistema de información y visualización de estaciones automáticas*. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica

CONANP. (2024). *Áreas Naturales Protegidas decretadas*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

Emeterio-Lara, A., García-Franco, J. G., Hernández-Apolinar, M., Mora-Herrera, M. E., Toledo-Hernández, V. H., Valencia-Díaz, S., & Flores-Palacios, A. (2018). Endogamy costs and reproductive biology of Laelia autumnalis, an endemic orchid of Mexico. *Plant Ecology*, *219*(12), 1423–1434. https://doi.org/10.1007/s11258-018-0891-6

Emeterio-Lara, A., Palma-Linares, V., Vázquez-García, L. M., & Mejía-Carranza, J. (2016). Usos y comercialización de orquídeas silvestres en la región sur del Estado de México. *Polibotánica*, *0*(42). https://doi.org/10.18387/polibotanica.42.10

Espejo-Serna, A., & López-Ferrari, A. R. (2018). La familia Bromeliaceae en México. *Botanical Sciences*, *96*(3), 533–554. https://doi.org/10.17129/botsci.1918

Espejo-Serna, A., López-Ferrari, A. R., Mendoza-Ruiz, A., García-Cruz, J., Ceja-Romero, J., & Pérez-García, B. (2021). Mexican vascular epiphytes: Richness and distribution. *Phytotaxa*, *503*(1), 1–124. https://doi.org/10.11646/phytotaxa.503.1.1

Farrera Sarmiento, O., Jonapá Solís, J. M., Hernández Najarro, F., & Beutelspacher, C. R. (2012). Las epifitas vasculares del cerro Mozotal Motozintla Chiapas. *Lacandonia*, *6*(6), 27–41.

Flores-Argüelles, A., Espejo-Serna, A., López-Ferrari, A. R., & Krömer, T. (2022). Diversity and Vertical Distribution of Epiphytic Angiosperms, in Natural and Disturbed Forest on the Northern Coast of Jalisco, Mexico. *Frontiers in Forests and Global Change*, *5*. https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.828851

Flores-Palacios, A., & Garcia-Franco, J. G. (2001). Sampling methods for vascular epiphytes: their effectiveness in recording species richness and frequency. *Selbyana*, *22*(2), 181–191.

Francisco-Gutiérrez, A., Cházaro-Basáñez, M., & Carral-Domínguez, R. (2023). The first epiphytic species of Valeriana in the world: Valeriana rudychazaroi (Caprifoliaceae). *PhytoKeys*, *236*, 145–156. https://doi.org/10.3897/PHYTOKEYS.236.110905

Gobierno Municipal. (2020). *Plan municipal de desarrollo urbano de Valle de Bravo*.

Gobierno Municipal. (2025). *Plan de desarrollo municipal de Valle de Bravo*.

Gomez-Escamilla, I. N., Espejo-Serna, A., López-Ferrari, A. R., & Krömer, T. (2019). Distribución geográfica de angiospermas epífitas de la región terrestre prioritaria Cerros Negro-Yucaño, Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical*, *67*(1), 118–131. https://doi.org/10.15517/rbt.v67i1.32726

Hernández López, L., Flores Argüelles, A., & Reynoso Dueñas, J. J. (2014). Riqueza de epífitas vasculares en tres sitios de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *5*(24), 216–225. https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i24.330

Hoeber, V., & Zotz, G. (2022). Accidental epiphytes: Ecological insights and evolutionary implications. In *Ecological Monographs* (Vol. 92, Issue 4). John Wiley and Sons Inc. https://doi.org/10.1002/ecm.1527

INEGI. (2025). *Catálogo único de claves de áreas geoestadísticas estatales, municipales y localidades [Base de datos]*. https://www.inegi.org.mx/app/ageeml/

Íñiguez Dávalos, L. I., Jiménez Sierra, C. L., Sosa Ramírez, J., & Ortega-Rubio, A. (2014). Categorías de las áreas naturales protegidas en México y una propuesta para la evaluación de su efectividad. *Investigación y Ciencias*. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67431160008

Krömer, T., Einzmann, H. J. R., Mendieta-Leiva, G., & Zotz, G. (2025). Impact of Land-Use Change on Vascular Epiphytes: A Review. In *Plants* (Vol. 14, Issue 8). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/plants14081188

Krömer, T., Espejo-Serna, A., López-Ferrari, A. R., Acebey, A. R., García-Cruz, J., & Mathieu, G. (2020). Las angiospermas epífitas del estado de Veracruz, México: diversidad y distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *91*, e913415. https://doi.org/10.22201/IB.20078706E.2020.91.3415

López-Pérez, Y., Tejero-Díez, J. D., Torres-Díez, A. N., & Luna-Vega, I. (2011). Flora del bosque mesófilo de montaña y vegetación adyacente en Avándaro, Valle de Bravo, Estado de México, México. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, *88*, 35–53.

Mena-Jiménez, F., Valencia-Díaz, S., Corona-López, A. M., & Flores-Palacios, A. (2024). A case of accidental epiphytes that supports the notion of the evolution of epiphytes from ancestors living in open environments. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, *317*. https://doi.org/10.1016/j.flora.2024.152553

Mendoza-Ruiz, A., Ceja-Romero, J., & Pérez-García, B. (2016). Helechos y licofitos epífitos de Veracruz, México: riqueza y distribución. *Acta Botanica Mexicana*, *114*, 87–136. https://doi.org/10.21829/abm114.2016.1104

Miguel-Vázquez, M. I., Espejo-Serna, M. A., Ceja-Romero, J., & Cerros-Tlatilpa, R. (2020). Las angiospermas epífitas de Puebla, México: riqueza y distribución. *Botanical Sciences*, *98*(3), 585–596. https://doi.org/10.17129/BOTSCI.2540

Mora-Olivo, A., Estrada-Castillón, E., Pando-Moreno, M., De la Rosa-Manzano, E., & Jurado, E. (2018). Distribución vertical de epífitas y su filogenia en un bosque mesófilo de montaña de Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *9*(50). https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.231

Moreno-Barajas, R., Talavera-Garduño, K., Rivera-Morales, S., & Hernández-Ramírez, N. (2019). Evaluación de la situación actual de las Áreas Naturales Protegidas del Estado de México. *Quivera*, *21*(2), 113–129.

Ochoa Kato, K. Y. (2013). *Flora y estructura de los bosques en "Rancho Cerro Gordo" municipio de Valle de Bravo, Estado de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Reyes Villar, R. C. (2013). *Diagnóstico ambiental de la reserva ecológica Monte Alto, Valle de Bravo, Estado de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Rojas-Zárate, Y., & Mondragón, D. (2016). Bromelias epífitas del distrito de Zaachila, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *87*(1), 252–254. https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.01.003

Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (Limusa, Ed.; 1era ed.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Santamaria Ruiz, S. A. (2019). *Estudio poblacional de Myotis volans (Chiroptera: Vespertilionidae) en la reserva El Peñón, Valle de Bravo, Estado de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.

SEMARNAT. (2010). NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies de riesgo. *Diario Oficial*, 1. https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO9620.pdf

SEMARNAT. (2014). *Gaceta ecológica. Listado del ingreso de proyectos y emisión de resolutivos derivados del procedimiento de evaluación de impacto y riesgo ambiental*. *XII*, 1–14.

SEMARNAT. (2015). *Oficio Resolutivo No. DFMANART/2002/2015*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgiraDocs/documentos/mex/resolutivos/2014/15EM2014UD052.pdf

SEMARNAT. (2019). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de La Federación*, 1–94.

SEMARNAT. (2025). *Gaceta ecológica. Listado de ingreso de proyectos y emisión de resolutivos derivados del procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental*. *XXIII*, 1–19.

Solano Gómez, R., Salazar Chávez, G. A., Jiménez Machorro, R., Hágsater, G. E., & Cruz García, G. (2020). *Actualización del catálogo de autoridades taxonómicas de Orchidaceae de México*.

The Angiosperm Phylogeny Group, Byng, J. W., Chase, M. W., Christenhusz, M. J. M., Fay, M. F., Judd, W. S., Mabberley, D. J., Sennikov, A. N., Soltis, D. E., Soltis, P. S., & Stevens, P. F. (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://academic.oup.com/botlinnean/article/181/1/1/2416499

The Pteridophyte Phylogeny Group, Schuettpelz, E., Schneider, H., Smith, A. R., Hovenkamp, P., Prado, J., Rouhan, G., Salino, A., Sundue, M., Almeida, T. E., Parris, B., Sessa, E. B., Field, A. R., Gasper, A. L. de, Rothfels, C. J., Windham, M. D., Lenhert, M., Dauphin, B., Ebihara, A., … Arana, M. D. (2016). A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. *Journal of Systematics and Evolution*, *54*(6), 563–603. https://doi.org/10.1111/jse.12229

Thiers, B. M. (2022). *Index Herbariorum*. http://sweetgum.nybg.org/ih/

Torres Argüello, D., Farrera Sarmiento, O., Gómez Pérez, A. L., Jonapá Solís, J. M., Hernández Najarro, F., & Beutelspacher, C. R. (2019). Las epífitas vasculares del cerro Brujo en Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México. *Lacandonia*, *13*(13), 37–46.

Trejo-Cruz, I. A., Martínez Camilo, R., Martínez-Meléndez, N., & Jiménez-López, D. A. (2021). Diversidad de epífitas vasculares en árboles remanentes del género Ficus (Moraceae) en sistemas silvopastoriles del sureste de México. *Acta Botanica Mexicana*, *128*, e1827. https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1827

Trejo-Díaz, C. C., & Tejero-Díez, J. D. (2017). Flora de plantas vasculares en la Sierra de Las Ánimas, Chapa de Mota, Estado de México, México. *Polibotánica*, *43*, 1–35. https://doi.org/10.18387/polibotanica.43.1

Vázquez Medrano, M. M., Flores Galicia, N., Aguilar Romero, R., García Vázquez, U. O., Trujano Ortega, M., Cruz Sierra, P. V., & Olvera Vital, A. (2016). *Estudio prospectivo y programa de rescate y reubicación de flora y fauna del proyecto denominado*

Recibido:
10/octubre/2025

Aceptado:
19/diciembre/2025

"Construcción y operación de una comunidad campestre sustentable denominada Reserva El Peñón."

Panama. *Journal of Tropical Ecology*, *26*(1), 123–126. https://doi.org/10.1017/S0266467409990459

Wolf, J. H. D., & Flamenco, A.-S. (2003). Patterns in species richness and distribution of vascular epiphytes in Chiapas, Mexico. *Journal of Biogeography*, *30*(11), 1689–1707. https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2003.00902.x

Zotz, G. (2013). The systematic distribution of vascular epiphytes-a critical update. *Botanical Journal of the Linnean Society*, *171*(3), 453–481. https://doi.org/10.1111/boj.12010

Zotz, G. (2016). *Plants on Plants-The Biology of Vascular Epiphytes*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39237-0

Zotz, G., & List, C. (2003). Zufallsepiphyten - Pflanzen auf dem Weg nach oben? *Bauhinia*, *17*, 25–37.

Zotz, G., Weigelt, P., Kessler, M., Kreft, H., & Taylor, A. (2021). EpiList 1.0-A global checklist of vascular epiphytes. *Ecology*, *102*(6), e03326.

Núm. 61: 23-54 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

APÉNDICE 1

Material examinado. Para cada especie se incluyen los especímenes examinados y las colecciones realizadas en la reserva El Peñón se **resaltan con negritas**. Los datos del intervalo altitudinal y la fenología son generales para el Estado de México. Las especies endémicas de México se indican con un asterisco (*).
Material examined. For each species, the examined specimens are included, and collections from the El Peñón reserve are **highlighted in bold**. Data on altitudinal range and phenology are general for the Estado de México. Species endemic to Mexico are indicated with an asterisk (*).

PTERIDOPHYTA
ASPLENIACEAE
Asplenium praemorsum Sw.
Especímenes examinados: MPIO. ALMOLOYA DE ALQUISIRAS: Aproximadamente 3 km al oeste de Plan de Vigas, 2 km al este de el Potrero, bosque de pino-encino, 2520 m s. n. m., 13-VIII-1989 (ft), *A. Espejo et al. 3829* (UAMIZ). MPIO. AMECAMECA: 1 km al NE de Amecameca, bosque mesófilo, 2500 m s. n. m., 9-X-1983 (ft), *A. Ramírez E. 10* (UAMIZ). MPIO. COATEPEC HARINAS: Coatepec Harinas y Chiltepec, bosque mesófilo, 2320 m s. n. m., 2-XI-2008 (ft), *N. Campos Salas 48* (MEXU). MPIO. DONATO GUERRA: 0.62 km al sursuroeste del paradero turístico Maderos, ejido El Capulín, bosque de encino, 2440 m s. n. m., 10-IX-2014 (ft), *D. Álvarez et al. 13969* (MEXU). MPIO. HUIXQUILUCAN: 2 km al norte de San Bartolito, bosque de encino, 2500 m s. n. m., 16-VIII-1982 (ft), *R. Fernández N. 1756* (MEXU). MPIO. OCUILAN: a 3 km del cerro de Tepetzingo, bosque mesófilo de montaña, 2480 m s. n. m., 4-XII-1986 (ft), *G. González Gil 8* (IZTA). MPIO. SULTEPEC: Carretera Sultepec-La Goleta, km 4, bosque de *Clethra*, 2350 m s. n. m., 13-I-1985 (ft), *M. R. Vargas 13* (IZTA). MPIO. TEJUPILCO: Top of Mesa de Nanchititla, 22.7 km West of Estanco on road to Cañada de Nanchititla, bosque de encino, 1950 m s. n. m., 11-X-1985 (ft), *B. Bartholomew et al. 2927* (MEXU). MPIO. TEMASCALTEPEC: 12 km delante de Temascaltepec, rumbo a Valle de Bravo, 2 km después de Godínez, bosque mesófilo, 2000 m s. n. m., 28-IX-1990 (ft), *J. Santana C. et al. 108* (UAMIZ). MPIO. TENANCINGO: Santa Ana, bosque mesófilo, 2150 m s. n. m., 9-I-1988 (ft), *S. Aguilar y P. Granillo 40* (MEXU). MPIO. TENANGO DEL VALLE: 1.5 km al este de Techuchulco, bosque de encino, 9-XI-1984 (ft), *J. D. Tejero Díez 2020* (IZTA). MPIO. TLALMANALCO: 3 km al sur de San Rafael, bosque mesófilo, 2500 m s. n. m., 3-X-1982 (ft), *M. Hernández R. 396* (MEXU, UAMIZ**). MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la presa, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 1-XI-2020 (ft), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 279*** (UAMIZ). MPIO. VILLA GUERRERO: bosque mesófilo de montaña, 2320 m s. n. m., 6-XII-1986 (ft), *M. Benitez Soto 11* (IZTA). MPIO. ZACUALPAN: Cerro Corona, bosque de encino, 2000-2500 m s. n. m., 1-II-1954 (st), *E. Matuda 30320* (MEXU).
Altitud: 1950 - 2520 m s. n. m.
Fenología: Fértil de agosto a febrero.
DRYOPTERIDACEAE
Elaphoglossum schmitzii (Mett. ex Kunh) Martínez-Bec. & A. Vasco
Especímenes examinados: MPIO. CHAPA DE MOTA: Cerro de las Ánimas, bosque de encino, 2625 m s. n. m., 24-X-2009 (ft), *C. Trejo Díaz 227* (MEXU). MPIO. COATEPEC HARINAS: A 3 km de Coatepec Harinas rumbo a Cochisquila, bosque mesófilo, 2050 m s. n. m., 17-I-1986 (st), *D. Tejero-Díez 2272* (MEXU). MPIO. HUIXQUILUCAN: Cerca de Santiaguito, bosque de encino, 2500 m s. n. m., 9-X-1974 (ft), *J. Rzedowski 32262* (MEXU). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la presa, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 1.XI-2020 (st)**, ***I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 280*** (UAMIZ). MPIO. VILLA GUERRERO: Km 54.5 a Villa Guerrero (pte. Sta. María), bosque mesófilo, 2160 m s. n. m., 6-IX-1985 (ft), *D. Tejero-Díez 2148* (MEXU).
Altitud: 2050 - 2625 m s. n. m.

Fenología: Fértil durante septiembre y noviembre.

POLYPODIACEAE

Pleopeltis madrensis (J. Sm.) A. R. Sm. & Tejero

Especímenes examinados: MPIO. AMECAMECA: Entrada a la cañada del cerro Venacho, 6 km al este de Amecameca, bosque mesófilo, 2900 m s. n. m., 20-IV-1976 (ft), *S. D. Koch 7661* (MEXU). MPIO. ATIZAPÁN: Sierra la Biznaga, 2350-2650 m s. n. m., 1-IX-1996 (ft) *S. Aguilar y K. Oceguera Salazar s.n.* (IZTA). MPIO. CHAPA DE MOTA: Cerro de las Ánimas, 3105 m s. n. m., 22-VIII-2009 (ft), *C. Trejo Díaz y D. Tejero Díez 155* (MEXU). MPIO. COATEPEC HARINAS: Parque las Truchas, 2970 m s. n. m., 31-X-1987 (ft), *N. Campos Salas 15* (MEXU). MPIO. DONATO GUERRA: Rumbo al llano de los Tres Gobernadores, por San Juan Xoconusco, bosque de encino, 2740 m s. n. m., 20-III-2005 (ft), *G. Cornejo Tenorio et al. 1031* (MEXU). MPIO. EL ORO: El Mogote, bosque de pino-encino, 2310 m s. n. m., 11-VIII-2003 (ft), *M. B. Jarquin Pacheco y S. Mendoza Mociño 52* (UAMIZ). MPIO. IXTAPALUCA: Estación experimental de investigación y enseñanza de Zoquiapan, 8 km al sur de Río Frío, arroyo Aculco, bosque de pino, 3250 m s. n. m., 20-VIII-1978 (ft), *R. Vega A. 430* (MEXU). MPIO. JILOTEPEC: Las Peñas, 2550 m s. n. m., 30-I-1983 (ft), *O. Aguillón G. 56* (IZTA). MPIO. LERMA: Salazar, 2800 m s. n. m., IX-1941 (ft), *E. Lyonnet 3371* (MEXU). MPIO. MALINALCO: San Simón el Alto, bosque de pino-encino, 2300 m s. n. m., 20-21-VIII-1988 (ft), *D. Tejero Díez y M. Castillo 2833* (MEXU). MPIO. NICOLÁS ROMERO: Caja de Agua Progreso, 2450 m s. n. m., 6-IX-980 (ft), *A. Ventura A. 3655* (FCME). MPIO. OCUILAN: Km 4-11 carr. Zempoala-Huitzilac, 2700 m s. n. m., 20-X-1987 (ft), *J. Castañeda Robles 792* (MEXU). MPIO. SAN SIMÓN DE GUERRERO: 3 km de La Cumbre hacia Temascaltepec, 1770 m s. n. m., 26-VII-2013 (ft), *J. Rojas Gutiérrez et al. 5474* (FCME). MPIO. TEMASCALAPA: matorral de encino, 2950 m s. n. m., 9-VIII-1980 (ft), *M. Castilla y D. Tejero 1120* (IZTA). MPIO. TEMASCALCINGO: Cerro Altamirano, bosque de encino, 2400 m s. n. m., 16-IX-2009 (ft), *G. Cornejo Tenorio y M. A. Salinas Melgoza 1617* (MEXU). MPIO. TEMASCALTEPEC: 12 km adelante de Temascaltepec, rumbo a Valle de Bravo, 2 km después de Godínez, bosque mesófilo, 2000 m s. n. m., 28-IX-1990 (ft), *J. Santana C. et al. 109* (UAMIZ). MPIO. TENANCINGO: Puente Santa María, entre Santa Ana y Villa Guerrero, 2130 m s. n. m., 26-I-1990 (ft) *D. Lagunes y D. Tejero Díez s.n.* (IZTA). MPIO. TENANGO DEL VALLE: Km 3 de la desviación a San Pedro Tlanisco, 2700 m s. n. m., 18-I-1985 (ft), *M. L. Campos Nasser 9* (IZTA). MPIO. TEPOTZOTLÁN: Loma del Esclavo, 21 km al este de Tepotzotlán, carretera Tepotzotlán-Villa del Carbón, bosque de encino, 2480 m s. n. m., 18-XI-1995 (ft), *I. Oble y M. Flores 42* (UAMIZ). MPIO. TLALMANALCO: 4 km al este de San Rafael, bosque mesófilo, 2750 m s. n. m., 27-X-1974 (ft), *J. Rzedowski 32448* (MEXU). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la presa, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 1-XI-2020 (ft), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 278*** (UAMIZ). MPIO. VILLA DEL CARBÓN: 2600 m s. n. m., 27-XII-1980 (ft), *E. A. Ezquivel Romero 5* (IZTA). MPIO. ZACUALPAN: Km 6 carretera Zacualpan-Sultepec, 2240 m s. n. m., 5-XII-1982 (ft), *L. Calderón C. 22* (IZTA).

Altitud: 1770 - 3250 m s. n. m.

Fenología: Fértil todo el año.

Pleopeltis polylepis (Roem. ex Kunze) T. Moore var. *interjecta* (Weath.) E. A. Hooper

Especímenes examinados: MPIO. AMECAMECA: 1 km al noreste de San Antonio, base del Iztaccíhuatl, bosque mesófilo, 2850 m s. n. m., 21-X-1967 (ft), *D. Aldana A. 61* (MEXU). MPIO. ATIZAPÁN: sierra la Biznaga, bosque de encino, 2350-2650 m s. n. m., X-1996 (ft), *S. Aguilar R. N. & N. Chávez Olguín 82* (IZTA). MPIO. CHAPA DE MOTA: Cerro las Ánimas, bosque de encino, 3100 m s. n. m., 22-VIII-2009 (ft), *C. Trejo Díaz 156* (MEXU). MPIO. COACALCO DE BERRIOZÁBAL: 5 km al S de Coacalco, vertiente N de la Sierra de Guadalupe, 2600 m s. n. m., 17-VI-1973 (ft), *J. Rzedowski 30753* (ENCB). MPIO. COATEPEC HARINAS: Parque de las Truchas, 2070 m s. n. m., 31-X-2008 (ft), *N. Campos S. 1* (MEXU). MPIO. EL ORO: El Mogote, 2370 m s. n. m., 11-VIII-2003 (ft), *M. B. Jarquín Pacheco y S. Mendoza Mociño 39* (UAMIZ). MPIO. HUIXQUILUCAN: 2 km al N de San Bartolito, bosque de encino, 14-XII-1980 (ft), *P. Aguilar L. 198* (IZTA). MPIO. IXTAPALUCA: N slope of volcán Iztaccíhuatl, main road from hwy to Estación Experimental Zoquiapan, 8 km S of Río Frío, 3-4 km below Llano Grande, 3100-3200 m s. n. m.,

8-X-1983 (ft), *W. R. Anderson 12957* (MEXU). MPIO. JILOTZINGO: 2 km al NE de Espíritu Santo, 2550 m s. n. m., 1-I-1974 (ft), *Rzedowski 31631* (FCME). MPIO. LERMA: San Francisco Xochicuautla, 2750-2800 m s. n. m., 4-X-2015 (ft), *P. de la Fuente Garnica 12* (FCME). MPIO. NAUCALPAN DE JUÁREZ: Los Cuates, 1 km de la carretera a Toluca, matorral xerófilo, 22-XI-1977 (ft), *A. M. Gil R. s.n.* (IZTA). MPIO. NICOLÁS ROMERO: 10 km al oeste de Nicolás Romero, 2500 m s. n. m., 3-X-1976 (ft), *C. López V. 85* (ENCB). MPIO. OCUILAN: Camino de terracería Ocuilan-Cuernavaca, bosque mesófilo, 2230 m s. n. m., 23-VII-1987 (ft), *J. Castañeda Robles 150* (MEXU). MPIO. OTUMBA: matorral xerófilo, 2450 m s. n. m., 26-VII-1980 (ft), *M. Castilla y D. Tejero 488* (IZTA). MPIO. OZUMBA: Ozumba de Alzate, 13-VII-1993 (ft), *E. Linares 581* (MEXU). MPIO. SAN SIMÓN DE GUERRERO: 3 km de La Cumbre hacia Temascaltepec, 1770 m s. n. m., 26-VII-2013 (ft), *J. Rojas Guitérrez et al. 5476* (FCME). MPIO. TEMASCALCINGO: Cerro Altamirano, reserva de la biósfera Mariposa Monarca, bosque de encino, 2550 m s. n. m., 26-VI-2005 (ft), *M. A. Salinas Melgoza et al. 367* (MEXU). MPIO. TEMASCALTEPEC: Temascaltepec, bosque de pino-encino, 2070 m s. n. m., 23-XI-1981 (ft), *M. M. Nava Nava 8* (IZTA). MPIO. TEPOTZOTLÁN: sierra de Alcaparrosa, bosque de *Quercus*, 2700-2800 m s. n. m., 28-VIII-1983 (st), *J. E. N. Reynoso 1251* (IZTA). MPIO. TLALMANALCO: a 2.5 km al este de San Rafael, bosque mesófilo de montaña, 2700 m s. n. m., 12-X-1975 (ft), *H. Arroyo Frías 64* (IZTAx2). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 1.5 km a partir de la entrada principal rumbo a la presa, en los alrededores de los almacenes, bosque de encino-pino, 2248 m s. n. m., 21-XI-2020 (ft), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 291*** (UAMIZ). MPIO. VILLA VICTORIA: lagunas del Carmen, parque nacional Bosencheve, bosque de *Abies religiosa*, 2850 m s. n. m., 15-X-1988 (ft), *J. D. Tejero Díez 2935* (IZTA).

Altitud: 1770 - 3200 m s. n. m.

Fenología: Fértil de junio a enero.

Pleopeltis rosei (Maxon) A. R. Sm. & Tejero

Especímenes examinados: MPIO. ALMOLOYA DE ALQUISIRAS: Aproximadamente 3 km al oeste de Plan de Vigas, 2 km al este de el Potrero, bosque de pino-encino, 2520 m s. n. m., 13-VIII-1989 (ft), *A. Espejo et al. 3830* (UAMIZ). MPIO. COATEPEC HARINAS: Chiltepec, 17-XII-1937 (ft), *E. Lyonnet 1997* (FCME, MEXU, UAMIZ). MPIO. IXTAPAN DEL ORO: El Salto de Ixtapan del Oro, 1700 m s. n. m., 13-IX-1986 (ft), *D. Tejero Díez y R. Moreno 2588* (MEXU). MPIO. MALINALCO: 5-7 km de la brecha de San Nicolás a Tenango de Degollado, 4 km al norte de Malinalco, matorral, 1600 m s. n. m., 12-VIII-1989 (ft), *D. Tejero Díez 3076* (MEXU). MPIO. OCUILAN: Km 13-16 Ocuilan-Cuernavaca (barranca Mexicapa), bosque mesófilo, 2150-2200 m s. n. m., 29-30-VII-1988 (ft), *D. Tejero Díez e I. Aguirre O. 2800* (MEXU). MPIO. SAN SIMÓN DE GUERRERO: 3 km de La Cumbre hacia Temascaltepec, 1770 m s. n. m., 26-VII-2013 (ft), *J. Rojas Gutiérrez et al. 5473* (FCME). MPIO. SULTEPEC: 12.4 km al SSW de Sultepec, rumbo a Amatepec, 2300 m s. n. m., 16-XI-1986 (ft), *D. Tejero Díez y M. Torres Z. 2673* (MEXU). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la presa, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 1-XI-2020 (ft), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 281*** (UAMIZ). MPIO. ZACUALPAN: Cerro Mamatla, 8 km al suroeste de Zacualpan, bosque mesófilo, 2370 m s. n. m., 4-VIII-1986 (ft), *J. D. Tejero Díez 2100* (IZTA, MEXU).

Altitud: 1600 - 2520 m s. n. m.

Fenología: Fértil de julio a diciembre.

Polypodium plesiosorum Kunze

Especímenes examinados: MPIO. IXTAPALUCA: Km 30 carretera libre México-Puebla, bosque de pino, 2350 m s. n. m., 7-III-1982 (ft), *R. Cuéllar O. 24* (MEXU). MPIO. IXTAPAN DEL ORO: El Salto de Ixtapan del Oro, bosque de encino, 1700 m s. n. m., 13-IX-1986 (ft), *J. D. Tejero Díez 2593* (UAMIZ). MPIO. TEJUPILCO: Rincón de Ugarte, bosque de encino, 1500 m s. n. m., 18-IX-2011 (ft), *I. Reyes Jaramillo 261* (UAMIZ). MPIO. TENANCINGO: Salto Santa Ana, bosque de pino-encino, 2160 m s. n. m., 22-IV-2000 (ft), *D. Tejero Díez y A. Rojas 4066* (MEXU, UAMIZ). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la presa, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 25-IX-2020 (ft), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 271*** (UAMIZ). MPIO. VILLA

DEL CARBÓN: El Plan, bosque de encino-pino, 2460 m s. n. m., 23-IX-1985 (ft), *F. González M. 2* (IZTA). MPIO. VILLA GUERRERO: Santa Ana Tenancingo, bosque mesófilo de montaña, 2400 m s. n. m., 20-I-1988 (ft), *A. Rodríguez Gil 3* (IZTA).
Altitud: 1500 - 2460 m s. n. m.
Fenología: Fértil de septiembre a abril.
Polypodium subpetiolatum Hook.
Especímenes examinados: MPIO. AMECAMECA: 1 km al este de San Antonio, bosque mesófilo, 2500 m s. n. m., 1-X-1978 (ft), *V. B. Sierra 3* (UAMIZ). MPIO. HUEHUETOCA: Cerro Sincoque, 2400 m s. n. m., (ft), *F. Arreguín 107* (FCME). MPIO. EL ORO: El Mogote, 2370 m s. n. m., 11-VIII-2003 (ft), *M. B. Jarquín Pacheco y S. Mendoza Mociño 40* (UAMIZ). MPIO. NICOLÁS ROMERO: Miguel Negrete, matorral, 2200 m s. n. m., 30-IX-1978 (ft), *A. Ventura A. 3343* (FCME, UAMIZ). MPIO. OCUILAN: Carretera Ocuilan-Cuernavaca, km 13 El Toto, 2100 m s. n. m., 21-VII-1987 (ft), *I. Luna & M. Escamilla 506* (FCME). MPIO. TEMASCALTEPEC: Real de Arriba, 11-X-1981 (ft), *G. León A. 227* (UAMIZ). MPIO. TEPOTZOTLÁN: 10 km al oeste de Tepotzotlán, bosque de encino, 2400 m s. n. m., 30-X-1983 (ft), *R. A. Torres M. 185* (UAMIZ). MPIO. TLALMANALCO: 3 km al sur de San Rafael, bosque mesófilo, 2500 m s. n. m., 3-X-1982 (ft), *J. J. Morales C. s.n.* (UAMIZ). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la presa, en el sendero, bosque de pino-encino, 2420 m s. n. m., 25-IX-2020 (ft), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 275*** (UAMIZ).
Altitud: 2100 - 2500 m s. n. m.
Fenología: Fértil de julio a octubre.
LILIOPSIDA
BROMELIACEAE
Catopsis nutans (Sw.) Griseb.
Especímenes examinados: MPIO. IXTAPAN DE LA SAL: Sobre la avenida frente al hotel Ixtapan, 1900 m s. n. m., 29-IX-1990 (fr), *M. Flores Cruz y A. Espejo 265* (UAMIZ). MPIO. TEJUPILCO: Alrededores de Rincón de Ugarte, Tejupilco de Hidalgo, bosque de encino, 1500 m s. n. m., 31-VIII-1996 (fl), *A. Espejo y A. R. López-Ferrari 5548bis* (UAMIZ). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 18 km al S de Valle de Bravo rumbo a Temascaltepec (sobre la carretera), a 0.4 km a partir de la entrada principal rumbo a la laguna 8, bosque de encino-pino, 2195 m s. n. m., 21-XI-2020 (fr), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 290*** (UAMIZ). Mpio. ZACUALPAN: Cerro Corona, bosque de encinos, 2000-2500 m s. n. m., 1-II-1954 (fr), *E. Matuda et al. 30360* (MEXU).
Altitud: 1300 – 2295 m s. n. m.
Fenología: Florece en agosto; Fructifica en febrero, septiembre y octubre.
**Tillandsia intumescens* L. B. Sm.
Especímenes examinados: MPIO. ALMOLOYA DE ALQUISIRAS: Aproximadamente 2.5 km al SE de Almoloya de Alquisiras sobre el camino Cuautenco-Totoltepec, bosque de pino-encino, 2100 m s. n. m., 16-IV-1992 (fl), *M. Flores Cruz y F. Riveros 774bis* (UAMIZ). MPIO. TEJUPILCO: Peñas Grandes (Largas), 10 km sobre el camino Cañadas de Nanchichitla-la Piaxtlera, bosque de pino-encino, ca. 2000 m s. n. m., 11-III-1992 (fl), *A. R. López Ferrari y A. Espejo 1645* (UAMIZx3). MPIO. TENANGO DEL VALLE: Tenango del Valle, bosque de encinos, 1700 m s. n. m., 15-II-1973 (st), *E. Matuda et al. 38533* (MEXU). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada el Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la presa, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 25-IX-2020 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 277*** (UAMIZx3). MPIO. ZACAZONAPAN: Cero Colorado, 2-VIII-1976 (fl), *E. Matuda et al. 38732* (ENCB). MPIO. ZACUALPAN: Tres Coronas, 1800 m s. n. m., 6-V-1969 (fl), *E. Matuda et al. 38648 (*MEXU*)*.
Altitud: 1700 – 2377 m s. n. m.
Fenología: Florece de marzo a septiembre.
**Tillandsia prodigiosa* (Lem.) Baker
Especímenes examinados: MPIO. ALMOLOYA DE ALQUISIRAS: Aprox. 3 km al W de Plan de Vigas, aprox. 2 km al E de el Potrero, bosque de pino-encino, 2520 m s. n. m., 13-VIII-1989 (fl), *A. Espejo et al. 3833a* (UAMIZ). MPIO AMANALCO: Km 45 carretera no. 1 Sn. Lucas, bosque de

Quercus-Pino,19-IV-1986, *M. E. Huidobro 178* (IZTAx2). MPIO. AMATEPEC: 0.5 km después de la desviación a La Goleta, sobre la carretera Amatepec-Sultepec, encino-pino, 2290 m s. n. m., 15-II-1992 (fl), *M. Flores Cruz et al. 705* (UAMIZ). MPIO. COATEPEC HARINAS: Huayanalco, bosque de pino, 2691 m s. n. m., 7-IX-2009 (fr), *N. Muñoz Cazares 265* (MEXU). MPIO. DONATO GUERRA: Camino a Llano Redondo, ejido San Juan Xoconuxco, bosque de *Abies religiosa*, 3050 m s. n. m., 26-XII-2005 (fl), *M. G. Cornejo Tenoio et al. 1899* (MEXU). MPIO. NICOLÁS ROMERO: Cahuacán, bosque de encino-pino, 3100 m s. n. m., 15-XI-1986 (fr), *Romero y Rojas s. n.* (IZTAx2, MEXU). MPIO. OCUILAN: Carr. Coatepec-Ocuilan, 3 km al N de Ocuilan, W del volcán Tezontle, bosque mesófilo de montaña, 29-IX-1991 (fl), *O. González y J. Miranda 629* (IZTA). MPIO. OTZOLOAPAN: Cerro de Pinal, bosque mixto de los pinos y encinos, 2300-2500 m s. n. m., 18-22-X-1954, *E. Matuda et al. 31763* (MEXUx2). MPIO. SULTEPEC: Km 52 al N de Sultepec, bosque de encino, 2380 m s. n. m., 18-V-1986 (fl), *M. E. Huidobro 218* (IZTAx2). MPIO. TEJUPILCO: Parque estatal Palos Prietos, río Palos Prietos, bosque mesófilo, 1640 m s. n. m., 26-I-1991 (fl), *G. Cortes Mata y D. Tejero 21* (IZTA). MPIO. TEMASCALTEPEC: Camino a San Lucas del Pulque, Santo Tomas el Pedregal, bosque de neblina, 2017 m s. n. m., 15-IX-2017 (fr), *L. Silva-Mijangos y J. D. Tejero 453* (UAMIZ). MPIO. TEPOTZOTLÁN: Sierra de Alcaparrosa, bosque de *Quercus*-Pino, 11-II-1984 (fl), *J. Nuñez R. 1711* (IZTAx2). MPIO. TEXCALTITLÁN: Ca. 3 km después de la desviación a Almoloya de Alquisiras, sobre la carretera Texcaltitlán-Sultepec, bosque de pino-encino, 2300 m s. n. m., 10-III-2007 (fl), *J. Ceja et al. 1809* (UAMIZ**). MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada el Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la presa, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 21-XI-2020 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 286*** (UAMIZ). MPIO. VILLA DE ALLENDE: 12 km después de Villa Victoria, carr. El Oro – Valle de Bravo, bosque de pino-encino, 2360 m s. n. m., 29-XI-1992 (fr), *M. Flores Cruz y F. Riveros 957* (UAMIZ). MPIO. VILLA GUERRERO: Carr. Tenancingo – Ixtapan de la Sal, Puente de Sta. María, 5 km al O de Villa Guerrero, bosque pino-encino-madroño, 2140 m s. n. m., 16-II-1986 (fl), *K. Baker et al. 19* (MEXU). MPIO. ZACUALPAN: Cerro Tres Coronas, bosque de encino, 2430 m s. n. m., 12-III-1992 (fl), *A. Espejo et al. 4723* (UAMIZ).

Altitud: 1640 – 3100 m s. n. m.

Fenología: Florece de todo el año; fructifica de septiembre a noviembre.

ORCHIDACEAE

**Arpophyllum spicatum* Lex.

Especímenes examinados: MPIO. DONATO GUERRA: San Miguel Xooltepec, 2455 m s. n. m., 21-I-2017 (fr), *L. Reyes-Tlapale s.n.* (MEXU). MPIO. OTZOLOAPAN: Cerro de Pinal, bosque mixto de los pinos y encinos, 2300-2500 m s. n. m., 18-22-X-1954 (fl), *E. Matuda 31756* (MEXU). MPIO. TEMASCALTEPEC: 2 km después de la desviación a Cieneguillas, 6 km de Carboneras, rumbo a Temascaltepec, bosque de pino-encino, 2230 m s. n. m., 20-X-1988 (fl), *A. R. López-Ferrari et al. 785* (UAMIZ). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la presa, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 25-IX-2020 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 269*** (UAMIZ).

Altitud: 2230 – 2500 m s. n. m.

Fenología: Florece en octubre; fructifica en enero.

**Epidendrum anisatum* Lex.

Especímenes examinados: MPIO. ALMOLOYA DE ALQUISIRAS: Las Peñas de Texcalco, 10 km al SE de Almoloya de Alqusiras, encinar, 2540 m s. n. m., 17-IV-1992 (fl), *M. Flores Cruz y F. Riveros 786* (UAMIZ). MPIO. COATEPEC HARINAS: San Luis a Tlapala, bosque de *Quercus*, 2096 m s. n. m., 21-I-2012, *F. D. Dorantes-Hernández et al. 462* (MEXU). MPIO. OCUILAN: 1.5 km W de Dr. Gustavo Baz, carr. Coatepec – Ocuilan, bosque mesófilo de montaña, 2580 m s. n. m., 5-IV-1990 (fl), *González 123* (IZTA). MPIO. TENANCINGO: Alrededores del convento del Santo Desierto del Carmen, bosque de encinos, 2400 m s. n. m., 11-III-1984 (fl), *A. Espejo 902* (MEXU, UAMIZ). MPIO. TEXCALTITLÁN: 3 km al S de Texcaltitlán, entrando por terracería rumbo a San Diego Cuautla, bosque mixto de *Juniperus-Quercus*, 3325 m s. n. m., 12-IV-1991 (fl), *M. E. Fraile et al. 169* (UAMIZ). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a**

partir de la entrada principal rumbo a la terraza, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 25-IV-2020 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 239* (UAMIZ). MPIO. ZACUALPAN: Cerro de Corona, 2000 m s. n. m., 2-3-V-1954 (fl), E. *Matuda et al. 30707* (MEXU).
Altitud: 2000 – 3325 m s. n. m.
Fenología: Florece de marzo a mayo.
**Erycina hyalinobulbon* (Lex.) N. H. Williams & M. W. Chase
Especímenes examinados: MPIO. ALMOLOYA DE ALQUISIRAS: Las Peñas de Texcalco, 10 km al SE de Almoloya de Alquisiras, encinar, 2540 m s. n. m., 12-IV-1992 (fr), *M. Flores Cruz y F. Riveros 787* (UAMIZ). MPIO. COATEPEC HARINAS: El Salto, San José del Progreso, bosque mesófilo de montaña, 2240 m s. n. m., 20-I-2012 (fl), *E. Rodríguez-Barquet et al. 332* (MEXU). MPIO. OCUILAN: Ahuatenco, bosque mesófilo de montaña, 1900 m s. n. m., 15-II-1991 (fl), *Castañeda 1407* (MEXU). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo al mirador del peñón, en la cima del mirador, bosque de pino-encino, 2364 m s. n. m., 17-II-2021 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 297*** (UAMIZ). MPIO. VILLA GUERRERO: Villa Guerrero, 1800 m s. n. m., I-1953 (fl), *E. Matuda et al. 28030* (MEXU).
Altitud: 1800 - 2540 m s. n. m.
Fenología: Florece de enero a febrero; fructifica en abril.
**Isochilus bracteatus* (Lex.) Salazar & Soto Arenas ex López-Ferr. & Espejo
Especímenes examinados: MPIO. COATEPEC HARINAS: Río Las Flores, km 13.5, carretera Méx. 12, rumbo a Chiltepec, bosque mesófilo de montaña, 2100 m s. n. m., 2-XII-2011 (fr), *E. Rodríguez-Barquet et al. 357* (MEXU). MPIO. OCUILAN: Terracería Ocuilán - Cuernavaca km 10-18, bosque mesófilo de montaña, 2230 m s. n. m., 4-IX-1988 (fr), *J. Castañeda R. 1331* (MEXUx2). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la terraza, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 25-IV-2020 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 240*** (UAMIZ). MPIO. ZACUALPAN: Cerro de Corona, bosque de encino, 2000-2500 m s. n. m., 1-II-1954 (st), *E. Matuda et al. 30353* (MEXU).
Altitud: 2000 - 2500 m s. n. m.
Fenología: Florece en abril; fructifica en septiembre y diciembre.
**Laelia autumnalis* (Lex.) Lindl.
Especímenes examinados: MPIO. COATEPEC HARINAS: San Miguel, bosque de *Quercus-Pinus*, 2310 m s. n. m., 30-X-2011 (fl), *E. Rodríguez-Barquet et al. 89* (MEXU). MPIO. ECATZINGO: Ecatzingo de Hidalgo, 2400 m s. n. m., 17-VIII-1994 (st), *E. Linares 849* (MEXU). MPIO. IXTAPAN DE LA SAL: Barranca Nenetzingo, entre el Abrojo y el puente Nenetzingo, carr. libre Toluca - Ixtapan, bosque mesófilo y de encino, 1850 m s. n. m., 22-XI-1998 (fl), *J. A. López S. y S. E. Hernández J. 1228* (MEXU). MPIO. MALINALCO: La Joya, comunidad de Monte Grande, selva baja caducifolia y bosque de pino-encino, 2090 m s. n. m., 5-XI-2011 (fl), *O. López Zamora 34* (MEXU). MPIO. OCUILAN: Alrededores de el Ahuehuete, camino La Marquesa - Chalma, bosque de encinos, 2150 m s. n. m., 17-XI-1974 (fl), *A. Espejo 165* (UAMIZ). MPIO. TEMASCALTEPEC: Temascaltepec, bosque de encino, 1600 m s. n. m., I-1977 (fl), *AMO s. n.* (IZTA). MPIO. TEPETLIXPA: San Esteban Tepetlixtla, 2340 m s. n. m., 5-XI-1993 (fl), *E. Linares 660* (MEXU). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la presa, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 1-XI-2020 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 283*** (UAMIZ).
Altitud: 1600 - 2400 m s. n. m.
Fenología: Florece de octubre a enero.
Oncidium reichenheimii (Linden & Rchb. f.) Garay & Stacy
Especímenes examinados: MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partur de la entrada principal rumbo a la presa, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 2-IV-2021 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 309* (UAMIZ).
Altitud: 2377 m s. n. m.

Fenología: Florece en abril.
Oncidium tigrinum Lex.
Especímenes examinados: MPIO. IXTAPAN DE LA SAL: Aguacatitlán, bosque de latifolios (*Quercus*), 1800 m s. n. m., 21-III-1978 (fl), *D. Tejero y J. Pastrana 16* (IZTA). MPIO. OCUILAN: Carr. Joquicingo - Malinalco, desv. Sta. Cruz Tezontepec - Chalma, bosque mesófilo, 2350 m s. n. m., 6-IV-1991 (fl), *O. González y J. Miranda 441* (IZTA). MPIO. SULTEPEC: Km 9 de la Carr. Terr. Sultepec - La Goleta, bosque mesófilo de montaña, 2300 m s. n. m., 23-II-1986 (fl), M. M. *Torres Zuñiga 465* (IZTA). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2.9 km a partir de la entrada principal rumbo a la zona del Tejocote, bosque de pino, 2422 m s. n. m., 21-XI-2020 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 288*** (UAMZ).
Altitud: 1800 – 2422 m s. n. m.
Fenología: Florece de noviembre a abril.
**Prosthechea squalida* (Lex.) Soto Arenas & Salazar
Especímenes examinados: MPIO. TEJUPILCO: Campo Amor, 9 km al W de Temascaltepec, bosque de pino-encino, 25-II-1974 (fl), *F. Gonzalez Medrano et al. 6870* (MEXU). MPIO. TEMASCALTEPEC: Parque universitario Las Orquídeas, centro universitario UAEM Temascaltepec de la Universidad Autónoma del Estado de México, km 67.5 carretera Toluca – Tejupilco, bosque de encinos, 1700 m s. n. m., 9-V-2014 (fl), *C. B. Monsalvo Jiménez 81* (MEXU). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo al mirador, bosque de encino-pino, 2369 m s. n. m., 25-IV-2020 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 245*** (UAMIZ).
Altitud: 1700 - 2369 m s. n. m.
Fenología: Florece de febrero a mayo.
**Prosthechea punctulata* (Rchb. f.) Soto Arenas & Salazar
Especímenes examinados: MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo al mirador, bosque de encino-pino, 2369 m s. n. m., 25-IV-2020 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 246* (UAMIZ).
Altitud: 2369 m s. n. m.
Fenología: Florece en abril.
**Rhynchostele aptera* (Lex.) Soto Arenas & Salazar
Especímenes de respaldo: MPIO. ALMOLOYA DE ALQUISIRAS: Las Peñas de Texcalco, 10 km al SE de Almoloya de Alquisiras, encinar, 2540 m s. n. m., 17-IV-1992 (fl), *M. Flores Cruz y F. Riveros 778* (UAMIZ). MPIO. COATEPEC HARINAS: El Salto, San José del Progreso, bosque de *Quercus-Pinus*, 2297 m s. n. m., 18-IV-2011 (fl), *P. Rodríguez et al. 131* (MEXU). MPIO. OCUILAN: Terracería Ocuilán - Cuernavaca, km 10-18, bosque mesófilo de montaña, 2300 m s. n. m., 12-XI-1987 (fr), *J. Castañeda Robles 937* (IZTA). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la terraza, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 25-IV-2020 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 238*** (UAMIZ).
Altitud: 2297 - 2540 m s. n. m.
Fenología: Florece en abril; fructifica en noviembre.
**Rhynchostele cervantesii* (Lex.) Soto Arenas & Salazar
Especímenes examinados: MPIO. ALMOLOYA DE ALQUISIRAS: La Sexta, bosque de pino-encino, 2515 m s. n. m., 17-IV-1992 (fl), *M. Flores Cruz y F. Riveros 777* (UAMIZ). MPIO. COATEPEC HARINAS: 3 km al NE de Coatepec Harinas, sobre el camino a Agua Amarga, bosque de *Pinus* y *Quercus*, 2300 m s.n.m. 18-III-1973 (fl), *Rzedowski 30343* (ENCB). MPIO. OCUILAN: 8 km después de Santa Martha rumbo a Ocuilan de Arteaga, bosque encino, 2420 m s. n. m. 9-III-1990 (fl), *E. Rojo Gomez et al. 4* (UAMIZ). MPIO. SULTEPEC: 9 km delante de Texcaltitlán, 6 km antes de Sultepec, bosque mesófilo de montaña, 2280 m s. n. m., 22-II-1991 (fl), *A. R. López Ferrari y A. Espejo 1444* (UAMIZ). MPIO. TEMASCALTEPEC: Socabón, 2320 m s. n. m. 20-II-1933 (fl), *G. B. Hinton 3300* (ENCB). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la presa, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 2-IV-2021 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 307***

(UAMIZ). MPIO. ZACUALPAN: Cerro de Corona, 2000 m s. n. m., 2-3-V-1954 (fl), *E. Matuda et al. 30708* (MEXU).
Altitud: 2000 - 2515 m s. n. m.
Fenología: Florece de febrero a mayo.
**Stelis oestlundiana* (L. O. Williams) Pridgeon & M. W. Chase
Especímenes examinados: MPIO. COATEPEC HARINAS: El Salto, San José del Progreso, bosque de *Quercus-Pinus*, 2297 m s. n. m., 18-IV-2011 (st), *P. Rodríguez-Sánchez et al. 126* (MEXU). MPIO. OCUILAN: Km 14.5 camino Ocuilan - Cuernavaca, bosque mesófilo, 2260 m s. n. m., 30-VII-1983 (fl), *A. Espejo 862* (UAMIZ). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la terraza, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2340 m s. n. m., 25-VI-2020 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 250*** (UAMIZ).
Altitud: 2260 - 2340 m s. n. m.
Fenología: Florece de junio a julio.
Stelis villosa (Knowles & Westc.) Pridgeon & M. W. Chase
Especímenes examinados: MPIO. SULTEPEC: Km 15 de la carretera de terracería Sultepec - Amatepec, bosque tropical caducifolio, 1800 m s. n. m., 28-VII-1985 (fl), *M. M. Torres Zuñiga 283* (IZTAx2). MPIO. TEMASCALTEPEC: Comunidad, 2610 m s. n. m., 7-VII-1932 (fl), *G. B. Hinton 969* (ENCB). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la terraza, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2340 m s. n. m., 25-VI-2020 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 251*** (UAMIZ).
Altitud: 1800 - 2610 m s. n. m.
Fenología: Florece en junio y julio.
**Trichocentrum pachyphyllum* (Hook.) R. Jiménez & Carnevali
Especímenes examinados: MPIO. COATEPEC HARINAS: 2 km al sur de Coatepec, hacia la carretera de Ixtapan de la Sal, bosque mesófilo, 2240 m s. n. m., 7-X-2009 (fl), *D. Tejero-Díez y O. Herrera-Corte 12* (MEXU). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la presa, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 2-IV-2021 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 308*** (UAMIZ).
Altitud: 2240 - 2377 m s. n. m.
Fenología: Florece en octubre y abril.
MAGNOLIOPSIDA
CACTACEAE
Disocactus speciosus (Cav.) Barthlott
Especímenes examinados: MPIO. AMECAMECA: El Salto, Amecameca, faldas del Iztaccíhuatl, 2580 m s. n. m., 24-I-1976 (fl), *L. Scheinvar y F. Sudzuki 2088* (MEXU). MPIO. ATLAUTLA: Cañada Cuizintla, 8 km al E de Atlautla, bosque de pino-encino, 2600 m s. n. m., 30-IV-2004 (fl), *A. García-Martínez D. et al. 15* (UAMIZ). MPIO. COATEPEC HARINAS: El Salto, Cruz de Piedra, bosque de encino-pino, 2160 m s. n. m., V (fl), *E. Rodríguez-Barquet et al. 367* (MEXU). MPIO. DONATO GUERRA: Cerro Pelón, el Capulín, bosque de encino, 2700 m s. n. m., 3-VI-2005 (fl), *G. Ibarra M. et al. 4597* (MEXU). MPIO. OCUILAN: Ocuilan de Arteaga, a 15 km de la desviación a Cuernavaca, bosque de pino-encino, 2200 m s. n. m., 9-III-1960 (fl), *R. Cerros Tlatilpa et al. 35* (UAMIZ). MPIO. OZUMBA: Ozumba, VI-1962 (fl), *D. Gold s. n.* (MEXU). MPIO. SULTEPEC: Entre Texcaltitlán y Sultepec, bosque de pino-encino, 2200 m s. n. m., 30-VI-1969 (fl), *E. Matuda 37661* (MEXU). MPIO. TEMASCALTEPEC: Temascaltepec, IV (fl), *L. Scheinvar 2133* (MEXU). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la terraza, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 25-IV-20202 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 242*** (UAMIZ).
Altitud: 2160 - 2700 m s. n. m.
Fenología: Florece de enero a junio.
CRASSULACEAE
**Echeveria fulgens* Lem.

Especímenes examinados: MPIO. AMANALCO: 1 km al S de San Juan Amanalco, bosque de encino, 2340 m s. n. m., XII (fl), *A. García-Mendoza 6123* (MEXU). MPIO. IXTAPAN DE LA SAL: Barranca Nenetzingo, entre el Abrojo y el puente Nenetzingo, carretera libre Toluca - Ixtapan, matorral, 1850 m s. n. m., XII (fl), *J. A. López S. y S. E. Hernández J. 1247* (MEXU). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la presa, en los alrededores de la presa, bosque de encino, 2377 m s. n. m., 21-XI-2020 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 287*** (UAMIZ).
Altitud: 1850 - 2377 m s. n. m.
Fenología: Florece en diciembre.
**Sedum tortuosum* Hemsl.
Especímenes examinados: **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la presa, en los alrededores de la presa, bosque de encino-pino, 2377 m s. n. m., 17-II-2021 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 299*** (UAMIZ). MPIO. ZACUALPAN: Cerro Corona, bosque de encino, 2000-2500 m s. n. m., II (fl), *E. Matuda 30362* (MEXU).
Altitud: 2000 - 2500 m s. n. m.
Fenología: Florece en febrero.
LENTIBULARIACEAE
Pinguicula moranensis Kunth
Especímenes examinados: MPIO. ALMOLOYA DE ALQUISIRAS: Ca. 3 km al oeste de Plan de Vigas y 2 km al este de el Potrero, bosque de pino-encino, 2520 m s. n. m., 13-VIII-1989 (fl), *A. Espejo 3822* (UAMIZ). MPIO. AMECAMECA: 1 km al noreste de Santo Tomás Atzingo, bosque de encino, 2450 m s. n. m., XI (fl), *B. Osorio 281* (MEXU). MPIO. CHALCO: Col. Agricola Manuel Avila Camacho, 2750 m s. n. m., 11-IV-1966 (fl), *Cruz Bolaños s.n.* (ENCB). MPIO. CHAPA DE MOTA: Rancho Las Ánimas, 2 km al sureste de Las Ánimas, camino de terracería a la Capilla, carretera Villa del Carbón - San Francisco de las Tablas, bosque de encino-pino, 2833 m s. n. m., 7-VII-2014 (fl), *A. Conde Alonso et al. 117* (UAMIZ). MPIO. COATEPEC HARINAS: Arroyo del crucero, loma Acuitlapilco, km 32, bosque mesófilo, 2239 m s. n. m., X (fl), *D. Tejero-Díez y F. Román-Carrar 27* (MEXU). MPIO. DONATO GUERRA: Camino a Llano Redondo, ejido San Juan Xoconuxco, bosque mesófilo, 2680 m s. n. m., XII (fr), *M. G. Cornejo Tenorio et al. 1803* (MEXU). MPIO. HUIXQUILUCAN: Huixquilucan, 2600 m s. n. m., VII (fl), *E. Matuda 21633* (MEXU). MPIO. LERMA: Santa María Tlalmimilolpan, 2800 m s. n. m., 20-VIII-1967 (fl), *J. Franco R. 33* (ENCB). MPIO. LUVIANOS: Nanchititla nature reserve, 1720 m s. n. m., X (fl), *F. Rivadavia et al. 1793* (MEXU). MPIO. NICOLÁS ROMERO: 7 km antes de Tlazala de Fabela, por la carretera a la presa Iturbide, bosque de encino-pino, 2450 m s. n. m. VIII (fl), *J. García et al. 1866* (MEXU). MPIO. OCUILAN: 15 km sobre la carretera Ocuilan - Cuernavaca, 6 km antes de Mexicapan, bosque mesófilo, 2185 m s. n. m., 9-VII-2006, *N. Martínez Correa et al. 51* (UAMIZ). MPIO. OZUMBA: 1 km al sur de Ozumba, 2250 m s. n. m., VI (fl), *D. Gold 173* (MEXU). MPIO. SAN RAFAEL: Trail near the base of Iztaccíhuatl, 3075 m s. n. m., 28-IX-2003 (st), *F. Rivadavia et al. 1786* (MEXU). MPIO. SULTEPEC: 1 km al sur de Sultepec, rumbo a San Miguel Totolmaloya, bosque mesófilo, 2200 m s. n. m., 27-IX-1990 (fl), *A. Espejo et al. 4230* (UAMIZ). MPIO. TEJUPILCO: Ca. 3 km por camino de terracería rumbo a Rincón de Ugarte, a partir del camino Tejupilco - Luvianos, bosque de encino, 1470 m s. n. m., 28-VII-1990 (fl), *J. Santana C. et al. 75* (UAMIZ). MPIO. TEMASCALTEPEC: Km 54 de la carretera Toluca - Temascaltepec, bosque de pino-encino, 2000 m s. n. m., 4-VII-1985 (fl), *A. Espejo et al. 1808* (UAMIZ). MPIO. TEMASCALCINGO: 1.38 km al oeste de la Mesa del Venado, ejido Gabino Vázquez, cerro Altamirano, bosque de pino-encino, 2876 m s. n. m., 27-VIII-2014 (fl), *D. Álvarez et al. 13558* (MEXU). MPIO. TEPOTZOTLÁN: 6 km al norte de Santiago Cuautlalpan, bosque de encino, 2400 m s. n. m., 10-VI-1976 (fl), *J. Rzedowski 36134* (MEXU). MPIO. TEXCOCO: 4 km de San Pablo Ixayoc, rumbo a la zona de escalada, bosque de encino-pino, 2856 m s. n. m., 6-VII-2019 (fl), *I. N. Gomez- Escamilla y B. E. Téllez-Baños 227* (UAMIZ). MPIO. TLALMANALCO: Cerro de la Cruz, VIII (fl), *F. Altamirano 5896* (MEXU). MPIO. TONATICO: Tonatico, 27-XII-1952 (fl), *E. Matuda 30342* (MEXU). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 2 km a partir de la entrada principal rumbo a la terraza, en los alrededores de la**

presa, bosque de encino, 2430 m s. n. m., 25-VI-2020 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 248* (UAMIZ). MPIO. VILLA GUERRERO: 5 km N of Villa Guerrero, ca. 2000 m s. n. m., 9-IX-1975 (fl), *K. Roe & E. Roe 1829* (ENCB). MPIO. ZACUALPAN: Entre Corona y Zacualpan, *E. Matuda 38690* (MEXU).
Altitud: 1470 - 3075 m s. n. m.
Fenología: Florece de abril a diciembre; fructifica en diciembre.
ONAGRACEAE
**Fuchsia fulgens* DC.
Especímenes examinados: MPIO. TEJUPILCO: Nanchititla, bosque de pino-encino, 1900 m s. n. m., V (fl), *E. Matuda 30868* (MEXU). MPIO. TEMASCALTEPEC: 6 km al noreste de Carboneras, camino a Toluca, bosque de pino, 2400 m s. n. m., 22-VI-1986 (fl), *A. Espejo y T. Chehaibar 2517* (UAMIZ**). MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 0.4 km a partir de la entrada principal rumbo a la laguna, bosque de encino, 2230 m s. n. m., 2-V-2020 (fl), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 247*** (UAMIZ).
Altitud: 1900 - 2400 m s. n. m.
Fenología: Florece en mayo y junio.
PIPERACEAE
Peperomia galioides Kunth
Especímenes examinados: MPIO. AMECAMECA: Aproximadamente 1 km al este de San Antonio, bosque mesófilo, 2500 m s. n. m., IX (fr), *L. Guzmán-Dávalos 1038* (MEXU). MPIO. COATEPEC HARINAS: Arroyo de Salastro, bosque mesófilo, 2250 m s. n. m., IX (fr), *N. Muñoz Cazares 107* (MEXU). MPIO. DONATO GUERRA: Cerro Pelón, el Capulín, bosque de encino, 2700 m s. n. m., VI (st), *G. Ibarra M. et al. 4609* (MEXU). MPIO. JILOTEPEC: Cerro de las Peñas, bosque de encino, 2500 m s. n. m., 11-XII-1982 (fr), *M. S. M. 90* (IZTA). MPIO. OCUILAN: Km 4-11 carretera Zempoala-Huitzilac, bosque de encino, 2750 m s. n. m., VII (fl), *J. Castañeda Robles 216* (MEXU). MPIO. SAN SIMÓN DE GUERRERO: 10 km después de Tejupilco hacia Temascaltepec, 1770 m s. n. m., 22-XI-2012 (fr), *J. Rojas Gutiérrez et al. 2522* (FCME). MPIO. SULTEPEC: Cercanías de Sultepec, 2260 m s. n. m., IX (fl), *E. Matuda 29205* (MEXU). MPIO. TEJUPILCO: Sierra de Nanchititla, bosque de encino, 1800 m s. n. m., I (fr), *F. González-Medrano et al. 5147* (MEXU). MPIO. TEMASCALTEPEC: 3 km sobre el camino Temascaltepec - Real de Arriba, vegetación secundaria derivada de bosque mesófilo, 1830 m s. n. m., 21-X-1988 (fr), *A. Espejo et al. 3375* (UAMIZ). MPIO. TEXCALYACAC: Un km al SSE de Texcalyacac, 2560 m s. n. m., 24-I-1989 (fr), *C. A. L. Bouchan y D. Tejero Díez 9* (IZTA). MPIO. TLALMANALCO: 4 km al sur de San Rafael, bosque mesófilo, 2500 m s. n. m., IX (fr), *J. Rzedowski 32218* (MEXU). **MPIO. VALLE DE BRAVO: En la reserva privada El Peñón, 18 km al sur de Valle de Bravo rumbo a Temascaltepec (sobre la carretera), 0.4 km a partir de la entrada principal rumbo a la laguna, bosque de encino-pino, 2195 m s. n. m., 21-XI-2020 (fr), *I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 289*** (UAMIZ).
Altitud: 1770 - 2750 m s. n. m.
Fenología: Florece de julio a septiembre; fructifica de septiembre a enero.

APÉNDICE 2

Especies de epífitas vasculares accidentales presentes en la reserva privada El Peñón, Valle de Bravo, Estado de México, México. Para cada especie se incluyen datos de especímenes de respaldo, floración y rango altitudinal en el área de estudio.

BEGONIACEAE
Begonia gracilis Kunth
Especímenes de respaldo: ***I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 274*** (UAMIZ).
Floración: septiembre.
Altitud: 2 377 m s. n. m.
CAPRIFOLIACEAE
Valeriana robertianifolia Briq.
Especímenes de respaldo: ***I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 270*** (UAMIZ).
Floración: septiembre.
Altitud: 2 377 m s. n. m.
LYTHRACEAE
****Cuphea jorullensis*** Kunth
Especímenes de respaldo: ***I. N. Gomez-Escamilla y B. E. Téllez-Baños 273*** (UAMIZ).
Floración: septiembre.
Altitud: 2 377 m s. n. m.

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

VARIACIÓN DE UMBRALES DNBR Y RBR EN LA DETECCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES EN EL ÁREA IZTACCÍHUATL-POPOCATÉPETL MÉXICO

VARIATION OF DNBR AND RBR THRESHOLDS IN FOREST FIRE DETECTION IN THE IZTACCIHUATL-POPOCATEPETL AREA, MEXICO

Cobo Muelas, E.S., P.M. López Serrano, D.J. Vega Nieva, J.J. Corral Rivas, J. López García, L.L. Manzo Delgado

VARIACIÓN DE UMBRALES DNBR Y RBR EN LA DETECCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES EN EL ÁREA IZTACCÍHUATL-POPOCATÉPETL MÉXICO
VARIATION OF DNBR AND RBR THRESHOLDS IN FOREST FIRE DETECTION IN THE IZTACCIHUATL-POPOCATEPETL AREA, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 55-73 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.3

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Variación de umbrales dnbr y rbr en la detección de incendios forestales en el área Iztaccíhuatl-Popocatépetl México

Variation of dnbr and rbr thresholds in forest fire detection in the Iztaccihuatl-Popocatepetl area, Mexico

Ederson Steven Cobo Muelas, Pablito Marcelo López Serrano, Daniel José Vega Nieva, Jose Javier Corral Rivas, José López García, Lilia de Lourdes Manzo Delgado

VARIACIÓN DE UMBRALES DNBR Y RBR EN LA DETECCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES EN EL ÁREA IZTACCÍHUATL-POPOCATÉPETL MÉXICO

VARIATION OF DNBR AND RBR THRESHOLDS IN FOREST FIRE DETECTION IN THE IZTACCIHUATL-POPOCATEPETL AREA, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 55-73. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.3

Ederson Steven Cobo-Muelas
Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. Río Papaloapan, Valle del Sur, 34120 Durango, México

Pablito Marcelo López-Serrano / p_lopez@ujed.mx
Daniel José Vega-Nieva
José Javier Corral-Rivas
Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad Juárez del Estado de Durango. Río Papaloapan y Boulevard Durango. Col. Valle del Sur C.P. 34120. Victoria de Durango, Durango. México

José López-García
Lilia de Lourdes Manzo-Delgado
Instituto de Geografía, Universidad Autónoma Nacional de México. Circuito de la Investigación Científica. Coyoacán. C.P. 04510 Ciudad de México, México

RESUMEN Los incendios forestales son perturbaciones que influyen en la composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas, forman parte de ciclos ecológicos cuya frecuencia y severidad pueden variar anualmente. El uso de sensores remotos e índices espectrales permite analizar la dinámica de los incendios a través de los índices NBR (Índice Normalizado de Quemas), dNBR (Índice Normalizado de Quemas Diferenciado) y índice RBR (Índice Normalizado de Quemas Relativizado). En este contexto, el objetivo del estudio fue determinar y analizar las variaciones espaciotemporales de umbrales dNBR y RBR para detectar áreas afectadas por incendios en el área natural Iztaccíhuatl-Popocatépetl para el periodo 2000 a 2012. Se utilizaron compuestos anuales de imágenes Landsat con percentil 10. Se calculó el índice RBR y dNBR a partir del NBR, los cuales permiten identificar áreas forestales afectadas por incendios. Se determinó la concordancia (K) entre áreas quemadas (AQ) y no quemadas (NOQ). Se ajustó un modelo lineal para el índice espectral con mejores métricas. Los resultados mostraron que los umbrales RBR se encuentran en un rango de 50 a 100 (k= 0.71 – 0.88), mientras que los umbrales dNBR están en un rango de 50 a 130 (k= 0.59 – 0.83). El modelo lineal explicó el 80% con un RMSE de 7.5 que representa la varianza total. Los resultados evidencian que el índice RBR ofrece una mayor precisión y consistencia que el dNBR para mapear áreas quemadas anuales, al presentar mayores valores de concordancia. La precisión y variación de los umbrales evidencia la importancia de incorporar otras variables explicativas, como factores climáticos y topográficos, que permitan fortalecer los análisis de en estudios multitemporales.

Palabras clave: incendios forestales, índices espectrales, coeficiente Kappa, umbral, Landsat.

Núm. 61: 55-73 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

ABSTRACT: Wildfires are disturbances that influence the composition, structure, and functioning of ecosystems, forming part of ecological cycles whose frequency and severity can vary annually. The use of remote sensors and spectral indices enables the analysis of wildfire dynamics through the Normalized Burn Ratio (NBR), Delta Normalized Burn Ratio (dNBR), and Relative Burn Ratio (RBR). In this context, the aim of the study was to determine and analyze the spatiotemporal variations of dNBR and RBR thresholds to detect areas affected by wildfires in the Iztaccihuatl-Popocatepetl natural area for the period 2000–2012. Annual Landsat image composites using the 10th percentile were utilized. The RBR and dNBR indices were derived from NBR, allowing the identification of forested areas affected by fires. Concordance (K) was calculated between burned (AQ) and unburned (NOQ) areas. A linear model was fitted for the spectral index with the best metrics. The results showed that RBR thresholds ranged from 50 to 100 (K = 0.71–0.88), while dNBR thresholds ranged from 50 to 130 (K = 0.59–0.83). These findings demonstrate that the RBR index provides higher accuracy and consistency than dNBR for annual burned-area mapping, as reflected by higher agreement values. The observed precision and variability in thresholds highlight the importance of incorporating additional explanatory variables, such as topographic and climatic factors, to strengthen multitemporal fire detection analyses.
Key words: Forest fires, Spectral indices, Kappa coefficient, Threshold, Landsat.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son un fenómeno recurrente a nivel mundial desde hace millones de años, provocados originalmente por causas naturales, como las descargas eléctricas, que todavía representan hasta el 50 % en determinadas regiones (Balch *et al.*, 2017). Sin embargo, en las últimas décadas se han visto intensificados por actividades antropogénicas, como la agricultura, la tala, los incendios intencionados y la expansión urbana. Estos eventos han actuado como un factor de perturbación frecuente en ecosistemas forestales, influyendo significativamente en su composición, estructura, dinámica y funcionamiento (Gallegos Rodríguez *et al.*, 2014; Kraus *et al.*, 2022). No obstante, en algunos ecosistemas como son los bosques templados los incendios forman parte integral del ciclo biológico que impacta directamente en la sucesión ecológica y el desarrollo de especies pirófitas (Nolan *et al.*, 2021; Bassaber-Zuñiga *et al.*, 2024).

Diversos estudios destacan la degradación de la cobertura vegetal por causas antrópicas, como cambios de uso de suelo, pero también señalan un deterioro asociado a la intensificación de sequías, fenómeno de El Niño y a la incidencia de incendios forestales, factores que disminuyen el vigor de la vegetación (Zuluaga Gómez *et al.*, 2021). De acuerdo con Jones *et al.* (2022), la superficie de cobertura natural afectada por incendios oscila entre 3 y 5 millones de kilómetros cuadrados anuales. Estos cambios contribuyen a crear condiciones favorables para incendios más frecuentes y de mayor extensión generando graves impactos ambientales como alta mortalidad de especies, aumento de la erosión y de emisiones de CO_2 (Van Mantgem *et al.*, 2018; Neger *et al.*, 2022; Cisneros-Vaca *et al.*, 2023; Gajendiran *et al.*, 2024). En este sentido, las características ambientales de ciertas regiones influyen en la magnitud de los incendios, ya que algunos ecosistemas son más susceptibles a incendiarse (Smichowski *et al.*, 2022), por lo tanto, es importante conocer la dinámica espacio-temporal de incendios anuales en ciertas regiones y su detección a través de imágenes satelitales e índices espectrales.

Por otro lado, el uso de los sensores remotos ha permitido evidenciar de manera efectiva la distribución e impacto de los incendios forestales (Barmpoutis *et al.*, 2020; Manzo-Delgado & López-García, 2020). La combinación de imágenes satelitales de alta resolución y datos de campo, facilitan una mejor comprensión de la distribución y ocurrencia espacial de los incendios en ecosistemas, como se ha documentado en España y México (Zúñiga-Vásquez *et al.*, 2017; Fernández-García *et al.*, 2018). Los datos capturados por los sensores remotos son procesados mediante algoritmos aplicados a las imágenes satelitales de diferente temporalidad, lo que permite identificar y evaluar el impacto del fuego en las coberturas vegetales (Chuvieco *et al.*,

2005; Nolè A *et al.*, 2022; Sánchez *et al.*, 2023). Dichos procesos, son realizados con índices espectrales de vegetación, que son ampliamente utilizados para estudiar diversos aspectos, principalmente en relación con el estado de las plantas y respuesta a perturbaciones, ya que se basan en la interpretación de la firma espectral de los objetos en la superficie terrestre los cuales interactúan con la radiación solar (Vargas-Sanabria & Campos-Vargas, 2020).

La respuesta espectral de la vegetación antes y posterior a un incendio, evidencia el efecto del fuego en las hojas, ramas y troncos, permitiendo así la detección de áreas quemadas con índices espectrales (Manzo-Delgado & López-García, 2020). Entre los índices más utilizados para detectar y evaluar áreas quemadas se encuentran el NBR (Índice Normalizado de Quemas), dNBR (Índice Normalizado de Quemas Diferenciado) y índice RBR (Índice Normalizado de Quemas Relativizado), los cuales han demostrado buenos resultados en la precisión al evaluar áreas quemadas en ecosistemas forestales mediante umbrales, los cuales son un valor específico que clasifican las áreas quemadas (Flores-Rodríguez *et al.*, 2021). Se ha reportado que estos índices, comparados con otros índices como el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), tienen una mayor confiabilidad para detectar incendios. Esto se debe a que se utiliza una combinación de bandas del NIR (Infrarrojo Cercano) y SWIR (Infrarrojo de Onda Corta), que tienen mayor sensibilidad al fuego, que los índices basados en bandas NIR y Roja (Vlassova *et al.*, 2014). Como resultado, presentan una mejor respuesta espectral en términos de separabilidad de áreas quemadas (Chuvieco *et al.*, 2019). Sin embargo, es importante destacar que no existe un consenso claro entre los trabajos realizados sobre las debilidades y fortalezas específicas de los índices derivados del NBR (RBR, dNBR y el dNBR Relativizado [RdNBR]), su eficacia varía en relación con la severidad, el tipo de cobertura, la temporalidad y sobre todo con las condiciones climáticas (Barmpoutis *et al.*, 2020).

En algunos estudios, se han encontrado que las fluctuaciones en la precisión, coeficiente Kappa (K) y los respectivos umbrales, están relacionadas con el tipo de cobertura vegetal afectada y el clima después de un incendio, lo que ocasiona la regeneración de ciertas especies (Fornacca *et al.*, 2018; Flores-Rodríguez *et al.*, 2021). Sin embargo, los valores de los índices espectrales también dependen del tiempo transcurrido entre la ocurrencia del fuego y la adquisición de las imágenes satelitales, ya que la reflectancia varía conforme avanza la regeneración de la vegetación y se van reduciendo las evidencias de la quema (Key & Benson, 2006; French et al., 2008). Aunque la mayoría de estudios sobre detección de incendios se enfocan en análisis específicos o estacionales, existen investigaciones que utilizan series temporales anuales, aunque son todavía escasas. Por ejemplo, un estudio en la sabana del sur de Burkina Faso realizó un análisis de áreas quemadas utilizando imágenes Landsat e índices espectrales entre el 2000 y 2016, evidenciando la viabilidad del monitoreo anual de incendios (Liu *et al.*, 2021).

En este sentido es importante evaluar como varían anualmente los umbrales obtenidos con los índices RBR y dNBR, ya que estas variaciones influyen en la delimitación y precisión de detección de incendios forestales. La comparación entre ambos índices permite identificar cual ofrece mayor confiabilidad y precisión para representar la extensión de áreas afectadas anuales, como un método importante para una gestión más efectiva en la respuesta a los incendios forestales. Para reducir la influencia de la variabilidad temporal y de valores atípicos en los datos, esta investigación utilizó el percentil 10 en la descarga de las imágenes satelitales, lo que permite trabajar con los valores más bajos y representativos de cada año, minimizando el efecto de nubes, sombras o reflectancia extrema, y enfocándose en la condición mínima observada de la vegetación, relevante para la evaluación de incendios anuales. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar cómo cambian los umbrales de dNBR y RBR a lo largo del tiempo y del espacio, utilizando datos de los sensores Landsat 5 y 7 entre el periodo 2000 y 2012 en el Área Natural Protegida Iztaccíhuatl-Popocatépetl y zonas adyacentes. Enfocándose en la detección anual de áreas quemadas, lo que permite construir series temporales suficientemente largas para analizar patrones representativos de los eventos de incendio a lo largo de los años, en una zona que combina bosques de coníferas, encinos y praderas de alta montaña, ofrece un escenario representativo para analizar la dinámica de los incendios forestales en distintos tipos de cobertura y condiciones ecológicas.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

El área de estudio se localiza en el Eje Neovolcánico Transversal, específicamente en la zona de los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatépetl al sureste de la Ciudad de México (López-García, 2019). Esta región se ubica en la confluencia de los estados de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala (Figura 1). El área en estudio abarca el Área Natural Protegida (ANP) Iztaccíhuatl-Popocatépetl y áreas adyacentes, con una superficie total de 153,394 ha, dentro de la cual se evaluaron diferentes incendios ocurridos entre los años 2000 y 2012. Este periodo fue seleccionado para generar una serie histórica que permitiera analizar, a escala anual, las variaciones de los umbrales de RBR y dNBR en la delimitación de áreas quemadas, asegurando un número suficiente de eventos representativos para estudiar los cambios temporales consistentes en la zona.

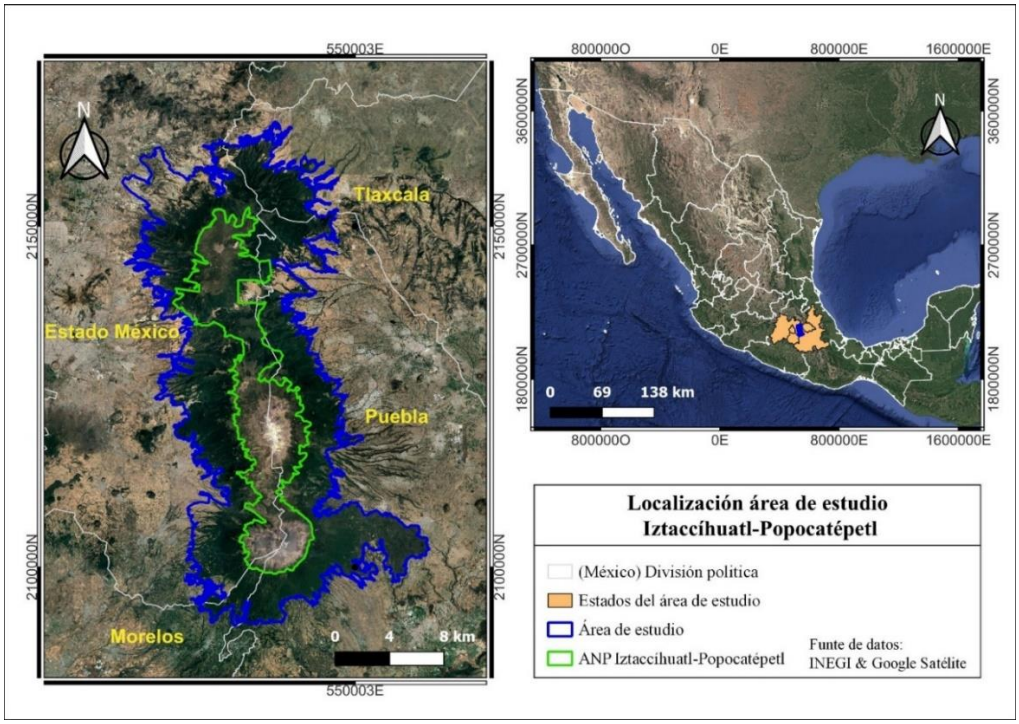


Figure 1. Location of the Iztaccihuatl-Popocatepetl study area.
Figura 1. Localización área de estudio Iztaccíhuatl-Popocatépetl.

Las características ecológicas del área de estudio donde se encuentran los volcanes Iztaccíhuatl-Popocatépetl, incluye una gran diversidad de climas y vegetación, en donde alberga ecosistemas de alta montaña de tipo templado subhúmedo, con un rango altitudinal que oscila entre los 2589 a 5454 msnm, con predominancia de bosques de coníferas y encinos, así como pastizales y matorrales subalpinos, que hacen parte de las 55 especies de pinos y 138 de encinos del país (Arriola Padilla *et al.*, 2014; López-García, 2019). Entre las comunidades vegetales que predominan esta área, destacan los bosques de pino, pino-encino, oyamel, páramo de altura y el zacatonal (Luna-Rosales *et al.*, 2007). El área en estudio incluye al parque nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl y presenta una variada tenencia de tierras que incluye ejidos, comunidades, propiedades privadas y terrenos federales. Además, constituye el remanente más importante de bosques de coníferas y praderas de alta montaña en el centro de México, lo que resalta su importancia ecológica y su valor para la conservación (Almeida-Leñero *et al.*, 2015; Quiroz-Ibarra *et al.*, 2020). Estas características hacen que el área sea un modelo representativo para

estudiar los incendios forestales en un entorno con diversidad vegetal y tenencia de tierras, permitiendo analizar de manera anual e histórica la variación de umbrales en incendios forestales bajo estas condiciones.

Datos e imágenes satelitales

Los polígonos de entrenamiento de áreas quemadas para este estudio fueron recopilados de García (2019). Sin embargo, estos polígonos no se emplearon directamente; previamente fueron filtrados y validados mediante imágenes satelitales en color RGB, el índice BAI (Índice de Área Quemada), el NBR y los puntos de calor MODIS C6.1. Este procedimiento permitió delimitar con precisión las áreas que efectivamente correspondían a incendios y descartar aquellas que no presentaban evidencia de quema, optimizando así la calidad de los polígonos utilizados en los análisis posteriores. Debido a que la cantidad de polígonos de entrenamiento de áreas quemadas variaron entre los años y con ello la superficie, se estableció un criterio anual para estandarizar los análisis: para cada año se definieron dos categorías con superficie equivalente entre área quemada (AQ) y área no quemada (NOQ). Esta división equitativa permitió comparar estadísticamente de manera consistente las condiciones de cada año y analizar las diferencias en los umbrales espectrales de las zonas afectadas por incendios.

Table 1. Burned area polygons analyzed within the study area.
Tabla 1. Polígonos analizados de área quemada en el área de estudio.

Id	Año	Superficie (ha)	Número de Polígonos
1	2000	3,548	56
2	2001	5,063	43
3	2002	1,816	28
4	2003	5,233	53
5	2005	2,382	42
6	2006	7,318	50
7	2008	448	9
8	2009	10,979	63
9	2011	8,123	68
10	2012	263	18

Se utilizaron compuestos anuales de imágenes de los satélites Landsat 5 y 7 con una resolución espacial de 30 metros para los respectivos años de estudio. Descargadas a través de la plataforma Google Earth Engine (GEE), utilizando la colección 2, debido a que incluye corrección atmosférica y mejores datos de reflectancia, específicamente las series LANDSAT/LT05/C02/T1_L2 y LANDSAT/LE07/C02/T1_L2. A partir de estas colecciones, se descargaron y procesaron compuestos anuales del periodo de estudio 2000 a 2012, mediante una versión modificada del código automatizado de GEE (Parks *et al.*, 2018). Este proceso se utilizó tanto para la composición de bandas como para el cálculo del índice NBR pre y post incendio de cada año. En el NBR pre incendio se verificó que los polígonos de entrenamiento no hubieran sido afectados por incendios en el año anterior, asegurando que representaran áreas no quemadas antes del evento. La configuración de descarga de las imágenes satelitales incluyó el percentil 10, es decir, los valores más bajos de cada compuesto anual, lo que permite capturar la condición mínima observada de la vegetación y los datos más representativos para el análisis de áreas quemadas.

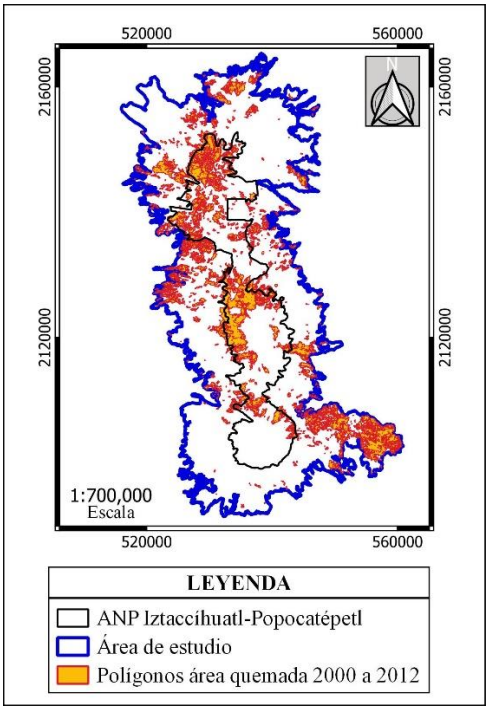


Figure 2. Training polygons of burned areas between 2000 and 2012.
Figura 2. Polígonos de entrenamiento de áreas quemadas entre el periodo 2000 y 2012.

Así mismo, se utilizaron datos de puntos de calor obtenidos del sensor MODIS C6.1 para cada año evaluado, aunque tienen una resolución espacial de 1 km y capturan la mayoría de incendios. Estos puntos detectan anomalías de calor en la superficie terrestre y se emplearon como referencia complementaria para validar algunos polígonos de entrenamiento y áreas mapeadas como quemadas. El área de estudio fue filtrada para excluir zonas agrícolas, asentamientos humanos y el cono volcánico desértico. Esta filtración, realizada mediante capas temáticas geoespaciales, asegurando que los polígonos utilizados correspondieran exclusivamente a áreas forestales susceptibles a incendios.

Índices espectrales

La firma espectral de la vegetación sana se caracteriza por una alta reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) y una baja reflectancia en el infrarrojo de onda corta (SWIR) del espectro electromagnético. En contraste, la firma espectral de la vegetación quemada muestra un comportamiento opuesto. Para cuantificar estas diferencias y obtener los valores del Índice dNBR y RBR estos se calcularon a partir del índice NBR pre y post. Posteriormente, a partir de las imágenes satelitales obtenidas de Landsat se realizó una extracción de los valores de estos índices con el fin de tener una heterogeneidad espacial de los datos. Utilizando puntos de muestreo a 30 metros de distancia dentro de los polígonos delimitados de AQ y en las áreas NOQ se seleccionaron puntos aleatorios de áreas forestales no perturbadas. Estos puntos seleccionados fueron de la misma proporción de AQ para cada año de estudio. Este proceso permitió una comparación precisa y homogénea de las características espectrales entre las zonas afectadas y no afectadas por los incendios.

Para el Índice NBR, se procesaron los valores de cada pixel seleccionado de las imágenes satelitales Landsat mediante la reflectancia de las bandas NIR y SWIR que permite diferenciar la respuesta espectral entre la vegetación sana y quemada, mediante la siguiente formula (García & Caselles, 1991):

$$NBR = ((NIR - SWIR))/((NIR + SWIR))$$

Donde: NIR es el infrarrojo cercano (Near Infrared) y el $SWIR$ es el infrarrojo de onda corta (Short Wave Infrared), siendo para Landsat 5 y 7 (banda 4 y banda 7).
El Índice dNBR (Delta Normalized Burn Ratio) se calculó para medir la diferencia entre las condiciones de la vegetación antes y después del incendio, este índice se obtiene mediante la siguiente ecuación (Miller & Thode, 2007):

$$dNBR = (NBR_{pre} - NBR_{post})\ x\ 1000$$

Esta ecuación es la diferencia de los NBR, donde NBR_{pre} hace referencia al valor antes del incendio y $NBR_{\square\square\square\square}$ hace referencia al valor después del incendio.
El índice RBR (Relative Burn Ratio) el cual se calcula a partir del dNBR y NBR, permite cuantificar y mapear áreas quemadas, en función de los cambios de reflectancia de la vegetación. Este índice es usado para evaluar el impacto de los incendios en los ecosistemas forestales, ya que proporciona información detallada sobre la extensión y severidad de las áreas afectadas. A continuación, se presenta la ecuación utilizada para calcular el RBR (Parks *et al.*, 2014):

$$RBR = dNBR\ /\ (NBR_{\square\square\square} + 1.001)$$

Donde: $dNBR$ es la diferencia de $NBR_{pre\ y\ post}$.El NBR es la diferencia entre el $NIR - SWIR$ y se suma *1.001* al denominador para garantizar que este nunca sea cero. Esta adición evita que la ecuación produzca valores infinitos o resultados erróneos.

Análisis estadístico
La exactitud de los índices espectrales para la detección de áreas quemadas, fue evaluado mediante una matriz de confusión (método K), construida a partir de los datos observados (polígonos de entrenamiento) y los valores predichos según cada percentil de RBR (calculados a partir de los valores observados) para representar la distribución real de los datos y establecer los umbrales de clasificación. Para ello, se calcularon percentiles separados para cada categoría (P01–P50 para AQ y P55–P99 para NOQ), generando umbrales que reflejan tanto la variabilidad espacial dentro del año como la variación temporal entre años. A partir de esta matriz, se calcularon las métricas: precisión (porcentaje de aciertos sobre el total de píxeles), la sensibilidad (capacidad de identificar correctamente las áreas quemadas), la especificidad (capacidad de identificar correctamente las áreas no quemadas) y el índice Kappa, que proporciona una medida más robusta de concordancia entre la clasificación predicha y los datos de referencia.
El uso del coeficiente Kappa (K) permitió evaluar objetivamente la precisión de índices espectrales como el dNBR y RBR en la detección perturbaciones forestales, brindando información valiosa sobre su desempeño y confiabilidad para este tipo de análisis (Valdez-Zavala *et al.*, 2019; Flores-Rodríguez *et al.*, 2021). La matriz de confusión con el método de K, permitió medir la concordancia. Este coeficiente analiza la proporción de concordancias observadas sobre el total de observaciones y varía en un rango de -1 a +1, donde valores más cercanos a +1 indican una mayor concordancia, mientras que valores próximos a cero reflejan una menor de concordancia (Amaya & Chuvieco, 2012). La fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$K = \frac{n\sum_{i=1}^{k} n_{ii} - \sum_{i=1}^{k} n_{i+}n_{+j}}{n^2 - \sum_{i=1}^{k} n_{i+}n_{+j}}$$

Donde n es el número total de validación de pixeles en la matriz, $n_{\square\square}$ es el número de observaciones del elemento en la fila i y la columna, $n_{\square\square}$ número de pixeles clasificados en la categoría i (no quemado) y j (quemado), ni son las observaciones de la fila y n_{+j} son las observaciones en la columna.
Para analizar la distribución de los valores del índice RBR y dNBR en áreas quemadas y no quemadas, se generaron gráficos de densidad de Kernel para estimar la distribución de

probabilidad de los valores en cada grupo. Así mismo, para evaluar el comportamiento y el potencial explicativo de los umbrales del índice espectral con mejor desempeño, se ajustó un modelo de regresión lineal simple para explorar la relación entre los umbrales y los valores del índice RBR. Si bien el número de muestras es reducido, cada año incluye superficies y número de polígonos distintos, lo que aporta variabilidad espacial y temporal significativa y fortalece la representatividad de los 10 años analizados. Para la evaluación del modelo se determinó el coeficiente de determinación (R^2) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE), calculándose estos como:

$$R^2 = \frac{SQ_{residuo}}{SQ_{Total\ corregida}}$$

Donde: SQ□□□□□□□□ es la suma de cuadrados del residuo y $SQ_{Total\ corregida}$ es la suma de cuadrados total corregida para la media.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(y_{□} - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

Dónde: $y_{□}$ es el valor observado, $\hat{y}_{□}$ es el valor estimado por los modelos y n es el número de observaciones.

RESULTADOS

Los resultados del análisis del índice RBR muestran una variabilidad en la precisión de detección de AQ y NOQ, con umbrales entre 50 y 100 a lo largo del periodo de estudio. Estos valores presentaron una precisión entre 85.3% (mínima en 2008) y 95.3% (máxima en 2001). Por su parte el índice Kappa, que mide la concordancia entre la clasificación del modelo y la observada, vario entre 0.71 (mínimo en 2005 y 2008) y 0.88 (máximo en 2003). En cuanto a los errores de clasificación la omisión fluctuó entre 9.1% a 21.5%, mientras que la comisión varió entre 1.6% a 13.2% de comisión. Donde el año 2008 presentó los valores más altos y el año 2003 con los valores más bajos de omisión y comisión (Tabla 2).

Estos valores presentaron una precisión entre 85.3% (mínima en 2008) y 95.3% (máxima en 2001). Por su parte, el índice Kappa varió entre 0.71 (mínimo en 2005 y 2008) y 0.88 (máximo en 2003), reflejando la concordancia ajustada por azar.

Table 2. Performance metrics for RBR thresholds.
Tabla 2. Métricas de desempeño para umbrales RBR.

Año	Precisión %	Umbrales RBR	Valores Kappa	Sensibilidad	Especificidad
2000	93.8	60	0.82	0.888	0.939
2001	95.3	90	0.81	0.906	0.908
2002	93.1	50	0.84	0.898	0.946
2003	94.4	90	0.88	0.909	0.984
2005	85.3	100	0.71	0.823	0.889
2006	90.5	80	0.80	0.865	0.954
2008	85.3	90	0.71	0.785	0.868
2009	90.5	50	0.81	0.872	0.944
2011	93.9	80	0.88	0.904	0.980
2012	90.5	70	0.81	0.866	0.952

El índice dNBR a lo largo del periodo de estudio, también presentó una variabilidad en los datos obtenidos (Tabla 3). Sin embargo, con los valores en las métricas más bajos en comparación con RBR. La precisión de clasificación osciló entre 79.3% a 91.5%, con su valor máximo en el 2003 y su mínimo en el 2008. La concordancia de los datos con los valores de K se ubicó entre 0.59 y 0.83. Respecto a los errores de clasificación, la omisión (Sensibilidad) fluctuó entre 9.4% a 23.2% y la comisión (Especificidad) entre 5.1% a 17.6%. Finalmente se puede evidenciar que el índice dNBR presenta un menor desempeño en las métricas de detección de áreas quemadas anuales frente al RBR.

Table 3. Performance metrics for dNBR thresholds.
Tabla 3. Métricas de desempeño de umbrales dNBR.

Año	Precisión %	Umbrales dNBR	Valores Kappa	Sensibilidad	Especificidad
2000	89.5	90	0.79	0.861	0.937
2001	88.5	130	0.77	0.873	0.898
2002	91.1	80	0.82	0.879	0.949
2003	91.5	100	0.83	0.906	0.924
2005	83.2	130	0.67	0.813	0.855
2006	84.9	120	0.70	0.823	0.88
2008	79.3	120	0.59	0.768	0.824
2009	89.8	50	0.80	0.905	0.892
2011	88.6	120	0.77	0.876	0.897
2012	87.3	90	0.75	0.857	0.892

Los gráficos de densidad muestran la distribución de los datos de NOQ y AQ para los índices analizados (Figura 3). El RBR presenta una mayor separación entre NOQ y AQ con una mayor concentración de los datos, lo cual sugiere un mejor desempeño en comparación con el dNBR, que presenta una superposición más significativa para ambas categorías y una dispersión de los datos. Por lo tanto, una menor superposición disminuye la probabilidad en los errores de clasificación y establecer un umbral claro para la clasificación de áreas afectadas por incendios.

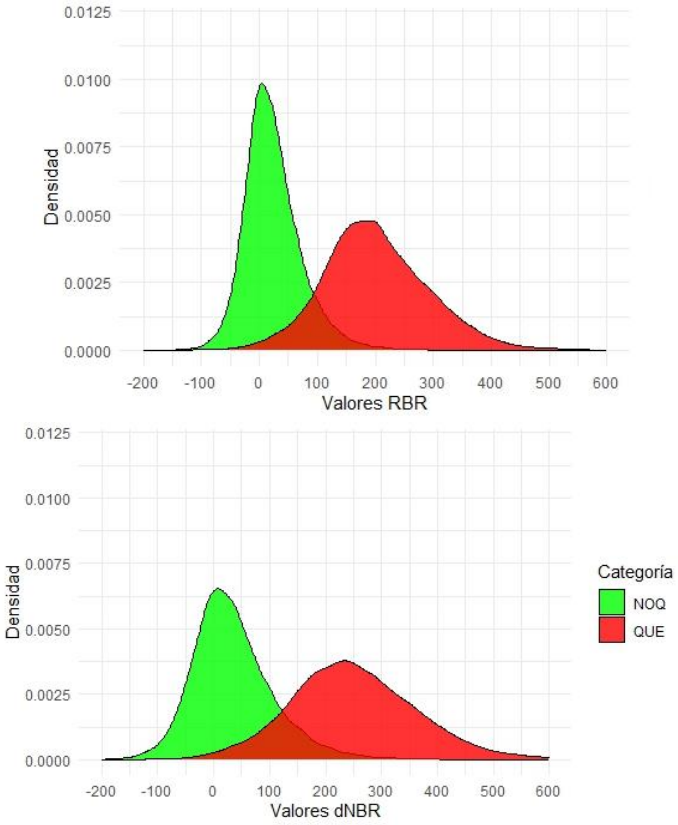


Figure 3. Comparison of the density distributions of the RBR and dNBR indices in burned (AQ) and unburned (NOQ) areas.
Figura 3. Comparación de las distribuciones de densidad de los índices RBR y dNBR en áreas quemadas (AQ) y no quemadas (NOQ).

El análisis de la relación entre los umbrales RBR de área quemada y los percentiles que van de P01 a P99, se encontró una correlación lineal positiva (r=0.90) entre el P70 y los umbrales anuales. Así mismo, en la Figura 4, se muestra el ajuste del modelo lineal, el cual explicó el 80% de la variabilidad total (R^2 = 0.80; RMSE = 7.4). Este comportamiento podría estar relacionado con cambios en la condición de la vegetación entre años, como periodos de sequía que inducen cambios fenológicos, las cuales se reflejan valores del RBR.

El análisis de los residuales del modelo lineal ajustado, muestra que los datos se distribuyen alrededor de la línea de referencia en cero. Sin embargo, se observa que la varianza de los residuales tiende a aumentar a medida que aumentan los valores predichos, indicando la presencia de heterocedasticidad. Aunque este patrón sugiere que la suposición de homocedasticidad no se cumple completamente, los residuales extremos identificados no parecen afectar de manera significativa la relación lineal entre las variables ni la interpretación general del modelo. Cabe destacar que, aunque el análisis se realizó con datos correspondientes a solo 10 años, cada año incluyó múltiples polígonos y superficies de distinta extensión, lo que aporta variabilidad espacial significativa y permite calcular los umbrales del índice RBR de manera representativa para cada año. Esta variabilidad permite estimar los umbrales de manera representativa para cada año, lo que reduce el riesgo de regresiones espurias, aunque se recomienda interpretar los resultados con cautela debido al tamaño temporal limitado.

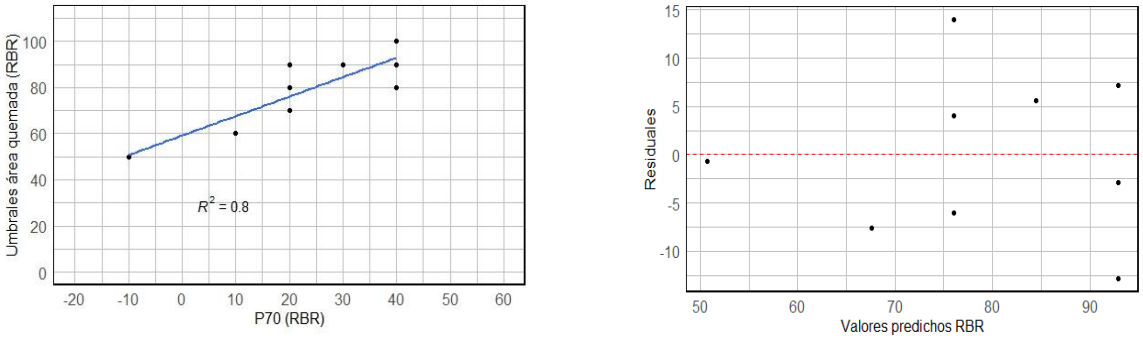


Figure 4. Scatter plot showing the linear model fit between the 70th percentile of RBR (P70, X-axis) and the burned area thresholds (Y-axis), accompanied by a residuals plot against the predicted values.
Figura 4. Diagrama de dispersión del ajuste del modelo lineal entre el percentil 70 de RBR (P70, eje X) y los umbrales de área quemada (eje Y), junto con el gráfico de residuales frente a las predicciones.

Mapeo de área quemada

El mapa de área quemada para los 2000 al 2012 de los índices RBR y dNBR (Figura 5 y 6) muestran las áreas afectadas por incendios resaltadas en color amarillo, mientras que las áreas no quemadas aparecen en color negro. Además, se integra los puntos de calor y área de entrenamiento que permiten apreciar y explicar visualmente los errores de omisión y comisión en la clasificación.

Estas variables permiten una evaluación más detallada de la precisión en ambos índices, identificando zonas donde se puede haber omitido áreas quemadas o donde se han clasificado incorrectamente áreas que no lo están presentando errores de comisión.

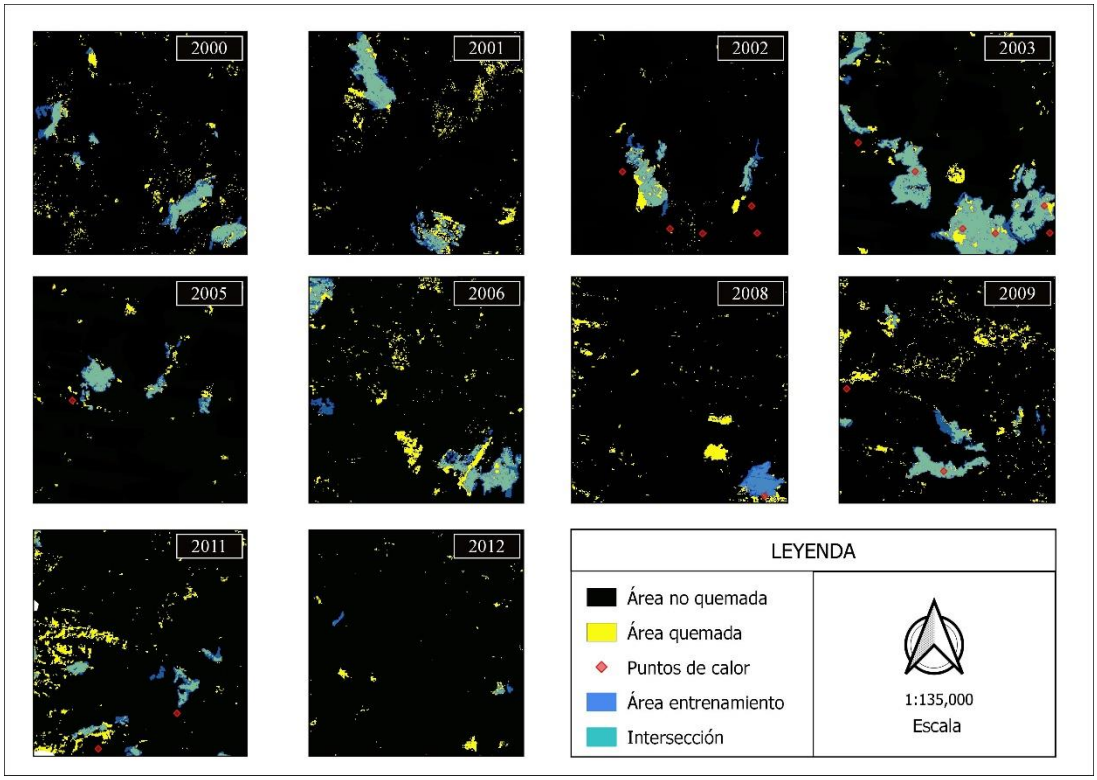


Figure 5. RBR thresholds for burned (AQ) and unburned (NOQ) areas for the study period between 2000 and 2012.
Figura 5. Umbrales RBR de área quemada (AQ) y no quemado (NOQ) para el periodo de estudio entre el 2000 y 2012.

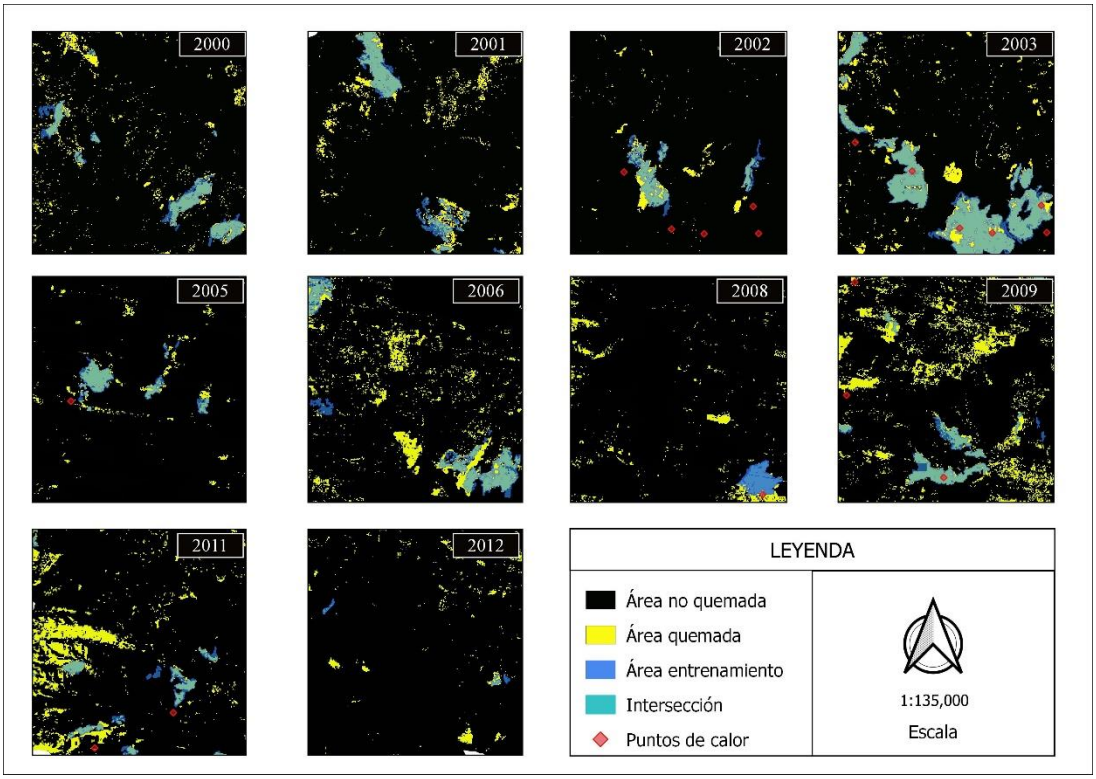


Figure 6. dNBR thresholds for burned (AQ) and unburned (NOQ) areas for the study period between 2000 and 2012.
Figura 6. Umbrales dNBR de área quemada (AQ) y no quemado (NOQ) para el periodo de estudio entre el 2000 y 2012.

Al analizar los mapas de área quemada RBR y dNBR se observan las diferencias en el mapeo, así como los errores en la clasificación para los respectivos índices. Donde a pesar de que el RBR tiene umbrales más bajos (50 a 100) respecto al dNBR (50 a 130), el RBR sigue siendo más eficiente en el mapeo de incendios anuales, tal como se evidencia en la Figura 4 y 5 y en las Tablas 2 y 3. Además, se evidencia que existen puntos de calor donde posiblemente hubo incendios los cuales explican las zonas de comisión en el mapeado para los diferentes años. Así mismo es importante mencionar que la variabilidad de los umbrales puede estar relaciona con las épocas de sequía, según en el periodo de estudio donde la vegetación de áreas no quemadas presenta cambios fenológicos con la sequedad debido a las condiciones de temperaturas altas y bajas precipitaciones, elevando los umbrales y sobreestimando las áreas quemadas.

DISCUSIÓN

Mapeo de área quemada

Las áreas afectadas por el fuego mapeadas con imágenes Landsat y el uso de umbrales de RBR anuales, para detectar incendios mediante percentiles específicos, fue importante para capturar la variabilidad espacial y temporal, manteniendo la confiabilidad. Con este enfoque, la precisión para ambos índices se encontró entre 79.3% y 95.3%, con un coeficiente Kappa de 0.59 a 0.88. Estos valores son consistentes a lo reportado por Mallinis *et al.* (2018), quienes con el uso de imágenes Landsat en la detección de áreas quemadas, se alcanzó una precisión del 92% y un coeficiente Kappa de 0.85, lo que respalda la fiabilidad de este sensor y justifica su elección en el presente estudio. En el caso de los índices derivados del NBR, se ha encontrado que el RBR y el dNBR calculados a partir de imágenes Landsat tiene un buen desempeño para el monitoreo

de incendios (Howe *et al.*, 2022). Esto demuestra la confiabilidad de las imágenes Landsat para el monitoreo de la vegetación, teniendo una ventaja en la clasificación de áreas quemadas, en conjunto con la optimización de algoritmos e índices espectrales que mejoran la detección. Por lo tanto, el análisis de series de tiempo con imágenes Landsat, permite desarrollar métodos específicos de detección temporal, a partir del comportamiento espectral de las áreas de estudio, aportando información importante sobre los impactos del fuego y la dinámica de regeneración (Chuvieco *et al.*, 2019). En este sentido la validación de mapas de incendios requiere metodologías flexibles que permitan ajustar umbrales a la realidad espacial y temporal de cada región.

Variabilidad de umbrales

El estudio muestra que los umbrales de RBR oscilan entre 50 y 100, mientras que para el dNBR estuvieron entre 50 y 130. Estos valores son similares en algunas investigaciones con imágenes Landsat e índices espectrales, donde reportan umbrales que varían de 35 a los 400 (Botella-Martínez & Fernández-Manso, 2017; Viedma *et al.*, 2020; Holsinger *et al.*, 2022). Sin embargo, las diferencias entre estudios pueden atribuirse al enfoque metodológico, la severidad, la geografía, las condiciones del suelo y el tipo de ecosistemas, que influyen en la información percibidas por los satélites (Parks *et al.*, 2014; Jiménez *et al.*, 2016). Debido a que los índices espectrales específicos de vegetación, reportan el estado de salud de las coberturas vegetales en un periodo determinado. Lo cual puede influir en la no discriminación entre daños causado por fuego, sequias u otros cambios fenológicos (Flores-Rodríguez *et al.*, 2021). De hecho, se ha encontrado que las fluctuaciones anuales en la precipitación, tiene influencia en los valores de los índices de vegetación (Galicia *et al.*, 2014). Como por ejemplo en condiciones de clima cálido y sequía pueden inducir cambios fenológicos negativos (Allen *et al.*, 2015). Lo que reduce los valores NBR pre y post incendio y aumenta la probabilidad de que áreas no afectadas sean clasificadas erróneamente como quemadas (Choat *et al.*, 2018). Este fenómeno provoca un alto potencial en errores de clasificación en la detección de áreas afectadas por el fuego (Anaya *et al.*, 2018). Por lo tanto, aunque los índices espectrales representan una herramienta valiosa, es necesario contextualizar los umbrales en función de las condiciones ecológicas y climáticas de cada región, con el fin de mejorar la confiabilidad en la detección de áreas afectadas por el fuego. La variabilidad observada en los umbrales para ambos índices sugiere que el desempeño de cada índice espectral depende tanto de las condiciones del año evaluado como de la sensibilidad propia de cada métrica encontrada. En general, el RBR mostró umbrales relativamente más bajos y mejor rendimiento que el dNBR, lo que coincide con estudios que destacan su mayor capacidad para discriminar áreas afectadas por incendios, comportamiento similar a los hallados por Botella-Martínez & Fernández-Manso (2017), donde el índice presentó umbrales más bajos, pero con mejores métricas para la delimitación de áreas quemadas con el RBR. Este comportamiento también se relaciona con las características del fuego y el tipo de cobertura, ya que en impactos bajos ocasionados por el incendio y en paisajes heterogéneos el RBR tiende a presentar valores más bajos en comparación con otros índices (NDVI, dNBR, RdNBR) (Gómez-Sánchez *et al.*, 2017; Konkathi & Shetty, 2019). De esta manera, resulta fundamental considerar las características de cada región, el impacto del fuego y el tipo de cobertura en la determinación de umbrales, lo que refuerza la necesidad de metodologías adaptativas en lugar de valores fijos.

El índice RBR tiende a mostrar una mayor precisión que el dNBR, lo que sugiere una mayor capacidad de discriminación. Comportamiento similar a lo reportado en otra investigación, aunque en esos casos la precisión del RBR fue más baja entre 66% y 70.5%, donde resaltan que factores como el tipo de clima, la extensión y la frecuencia de los incendios pueden influir significativamente en la delimitación de áreas quemadas (Parks *et al.*, 2014; Flores-Rodríguez *et al.*, 2021). En términos de errores de clasificación, el RBR tiende a presentar menores tasas de omisión y comisión en comparación con el dNBR, aunque ambos índices pueden verse afectados por la extensión de los incendios y la variabilidad ambiental, considerando que el estudio se basa en detección anual de incendios. Estos resultados coinciden con investigaciones, donde se reporta que el RBR puede sobreestimar áreas quemadas hasta en un 8.2% y subestimar áreas no quemadas en un 7.2% (Alcântara & Fernandes, 2020). Esta menor discriminación espectral durante temporadas prolongadas, como es el caso de este estudio, se relaciona con la influencia de factores

ambientales y ecológicos a lo largo del periodo, como eventos climáticos, regeneración de la vegetación y cambios en el material quemado, que pueden generar confusión con áreas afectadas por estrés no relacionado con el fuego (De Luca *et al.*, 2022). A pesar de estas limitaciones, el RBR ha demostrado ser un índice relativamente preciso en diferentes tipos de vegetación, incluyendo pastizales, bosques de coníferas, mixtos y de transición (Flores-Rodríguez *et al.*, 2021; Fotakidis *et al.*, 2023). En el área de estudio predominan bosques de coníferas y encinos, donde la investigación también refleja la capacidad del índice RBR para discriminar áreas quemadas en ecosistemas con alta diversidad de especies.

En general, para los años evaluados, se observa una variación significative en la superficie quemada y en los umbrales utilizados. La eficiencia del índice RBR se ve reflejado una R^2 alta y una raíz del error cuadrático medio (RMSE) relativamente baja, lo que indica que el índice captura adecuadamente la variabilidad de los datos. Este comportamiento es coherente con lo reportado por Gale *et al.*, (2022), quienes también encontraron un buen ajuste del RBR al delimitar áreas quemadas, respaldando su utilidad como un índice confiable para el monitoreo de incendios en distintos tipos de vegetación. El comportamiento del modelo lineal del RBR sugiere que, durante ciertos periodos, los cambios fenológicos de la vegetación podrían influir en los valores del RBR, posiblemente reflejando variaciones en la salud y densidad de la cobertura vegetal. Esta influencia puede modificar los índices, dando lugar a umbrales más altos para la identificación de áreas quemadas en algunos años. La variación en los umbrales y en la precisión del índice podría estar relacionada con factores fenológicos y ambientales que afectan la vegetación. Estudios previos han mostrado que la vegetación experimenta cambios significativos a lo largo del año, lo que puede afectar la precisión en la delimitación de áreas quemadas (Key & Benson, 2006; Parks *et al.*, 2014; Flores-Rodríguez *et al.*, 2021). Estos hallazgos resaltan la importancia de desarrollar métodos adecuados que consideren las condiciones regionales y temporales, incluyendo la integración de datos climáticos, para mejorar el desempeño de los índices de detección de áreas quemadas.

CONCLUSIONES

El uso de imágenes Landsat en conjunto con los índices espectrales RBR y dNBR y analizados mediante el percentil 10, calculados a partir de las bandas del infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR), muestra una variabilidad en sus umbrales y precisión a lo largo de los años analizados, esto influenciado posiblemente por la superficie de área quemada anual y las condiciones ambientales que pudieran influir en ese periodo. La variabilidad de estos umbrales para detectar áreas quemadas anuales para los índices RBR y dNBR, muestran diferencias en las métricas de desempeño a lo largo de los años, alternando periodos de alta efectividad y otros con algunas dificultades en la detección. Esto confirma la solidez de este sensor y su idoneidad para el monitoreo de incendios forestales en diferentes periodos y coberturas vegetales.

La detección de áreas afectadas por incendios forestales a través del índice RBR presentó mejores resultados en el mapeo, precisión y errores de clasificación de área quemada en comparación con el dNBR, el cual las métricas fueron más bajas. Confirmando su utilidad como herramienta confiable para el monitoreo de incendios en ecosistemas de coníferas, encinos y vegetación mixta. Estos resultados resaltan la necesidad de ajustar los umbrales de clasificación según las características del sitio y el periodo de análisis, con el fin de mejorar la precisión y reducir los errores en la identificación de áreas quemadas.

Finalmente, los umbrales encontrados en este estudio son comparables a los reportados en otros estudios que utilizan imágenes de Landsat, aunque varían según el enfoque, como la vegetación, las condiciones climáticas y el tiempo transcurrido desde el incendio. Siendo importante tener en cuenta en la interpretación de los resultados no solo el fuego, sino también otras variables que afectan el desarrollo de las plantas. En consecuencia, resulta fundamental tener en cuenta las condiciones específicas de cada periodo y la vegetación al aplicar metodologías de detección de áreas afectadas por incendios, con el fin de mejorar la precisión y fiabilidad de los resultados obtenidos para estimar áreas afectadas por incendios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración brindada por el proyecto PAPIIT IN304123 de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), así como el apoyo proporcionado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI, anteriormente CONACYT), que hicieron posible la realización de este estudio.

LITERATURA CITADA

Alcântara, E. F. de, & Fernandes, R. D. O. (2020). Mapeamento e análise dos níveis de severidade de áreas de queimadas no semiárido Brasileiro com o uso técnicas de geoprocessamento. *Revista de Geografía*, *37*(3), 148. https://doi.org/10.51359/2238-6211.2020.245683

Allen, C. D., Breshears, D. D., & McDowell, N. G. (2015). On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, *6*(8). https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1

Almeida-Leñero, Jl., Giménez de Azcárate, J., González-Trápaga, T., & Cleef, A. M. (2015). Vegetación alpina de los volcanes Popocatépetl, Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca. In I. Luna, J. J. Morrone, & D. Espinosa (Eds.), *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana* (pp. 179–198). FES- Zaragoza-CONABIO. https://www.researchgate.net/publication/40099917

Amaya, J. A., & Chuvieco, E. (2012). Accuracy Assessment of burned area products in the Orinoco Basin. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, *78*, 53–60. https://doi.org/10.14358/PERS.78.1.53

Anaya, J. A., Sione, W. F., & Rodríguez-Montellano, A. M. (2018). Identificación de áreas quemadas mediante el análisis de series de tiempo en el ámbito de computación en la nube. *Revista de Teledetección*, 61–73. https://doi.org/10.4995/raet.2018.8618

Arriola Padilla, V. J., Martínez Estrada, E., Ortega-Rubio, A., Pérez Miranda, R., & Gijón Hernández, A. R. (2014). Deterioro en áreas naturales protegidas del centro de México y del Eje Neovolcánico Transversal. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes*, *60*, 37–49. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67431160005

Balch, J. K., Bradley, B. A., Abatzoglou, J. T., Chelsea Nagy, R., Fusco, E. J., & Mahood, A. L. (2017). Human-started wildfires expand the fire niche across the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *114*(11), 2946–2951. https://doi.org/10.1073/pnas.1617394114

Barmpoutis, P., Papaioannou, P., Dimitropoulos, K., & Grammalidis, N. (2020). A review on early forest fire detection systems using optical remote sensing. *Sensors (Switzerland)*, *20*(22), 1–26. https://doi.org/10.3390/s20226442

Bassaber-Zuñiga, A. I., Maldonado Villegas, M. M., Curiel-Guevara, S., Rojas-Arias, M. L., & Valdez-Rosas, J. S. (2024). Revisión de causas, consecuencias y medidas de respuesta frente a los incendios forestales: un enfoque en el estado de jalisco. *E-CUCBA*, *11*(21), 100–114. https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi21.327

Botella-Martínez, M. A., & Fernández-Manso, A. (2017). Estudio de la severidad post-incendio en la comunidad Valenciana comparando los índices dNBR, RdNBR y RBR a partir de imágenes Landsat 8. *Revista de Teledetección*, *2017*(49), 33–47. https://doi.org/10.4995/raet.2017.7095

Choat, B., Brodribb, T. J., Brodersen, C. R., Duursma, R. A., López, R., & Medlyn, B. E. (2018). Triggers of tree mortality under drought. *Nature*, *558*(7711), 531–539. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0240-x

Chuvieco, E., Mouillot, F., van der Werf, G. R., San Miguel, J., Tanasse, M., Koutsias, N., García, M., Yebra, M., Padilla, M., Gitas, I., Heil, A., Hawbaker, T. J., & Giglio, L. (2019). Historical background and current developments for mapping burned area from satellite

Earth observation. *Remote Sensing of Environment*, *225*, 45–64. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.013

Chuvieco, E., Ventura, G., Martín, M. P., & Gómez, I. (2005). Assessment of multitemporal compositing techniques of MODIS and AVHRR images for burned land mapping. *Remote Sensing of Environment*, *94*(4), 450–462. https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.11.006

Cisneros-Vaca, C., Calahorrano, J., Abarca, M., & Manzano, M. (2023). Detección semiautomática de áreas quemadas en Chimborazo-Ecuador utilizando medias compuestas de dNBR con umbrales ajustados. *Revista de Teledetección*, *2023*(62), 89–99. https://doi.org/10.4995/raet.2023.19428

De Luca, G., Silva, J. M. N., & Modica, G. (2022). Regional-scale burned area mapping in Mediterranean regions based on the multitemporal composite integration of Sentinel-1 and Sentinel-2 data. *GIScience and Remote Sensing*, *59*(1), 1678–1705. https://doi.org/10.1080/15481603.2022.2128251

Fernández-García, V., Quintano, C., Taboada, A., Marcos, E., Calvo, L., & Fernández-Manso, A. (2018). Remote sensing applied to the study of fire regime attributes and their influence on Post-Fire greenness recovery in Pine Ecosystems. *Remote Sensing*, *10*(5). https://doi.org/10.3390/rs10050733

Flores-Rodríguez, A. G., Flores-Garnica, J. G., González-Eguiarte, D. R., Gallegos-Rodríguez, A., Zarazúa-Villaseñor, P., & Mena-Munguía, S. (2021). Análisis comparativo de índices espectrales para ubicar y dimensionar niveles de severidad de incendios forestales. *Investigaciones Geográficas UNAM*, *106*. https://doi.org/10.14350/rig.60396

Fornacca, D., Ren, G., & Xiao, W. (2018). Evaluating the best spectral indices for the detection of burn scars at several post-fire dates in a Mountainous Region of Northwest Yunnan, China. *Remote Sensing*, *10*(8). https://doi.org/10.3390/rs10081196

Fotakidis, V., Chrysafis, I., Mallinis, G., & Koutsias, N. (2023). Continuous burned area monitoring using bi-temporal spectral index time series analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *125*. https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103547

French, N. H. F., Kasischke, E. S., Hall, R. J., Murphy, K. A., Verbyla, D. L., Hoy, E. E., & Allen, J. L. (2008). Using Landsat data to assess fire and burn severity in the North American boreal forest region: An overview and summary of results. *International Journal of Wildland Fire*, *17*(4), 443–462. https://doi.org/10.1071/WF08007

Gajendiran, K., Kandasamy, S., & Narayanan, M. (2024). Influences of wildfire on the forest ecosystem and climate change: A comprehensive study. In *Environmental Research* (Vol. 240). Academic Press Inc. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117537

Gale, M. G., Cary, G. J., Yebra, M., Leavesley, A. J., & Van Dijk, A. I. J. M. (2022). Comparison of contrasting optical and LiDAR fire severity remote sensing methods in a heterogeneous forested landscape in south-eastern Australia. *International Journal of Remote Sensing*, *43*(7), 2559–2580. https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2064197

Galicia, L., Cuevas Fernández, M. L., González Ramírez, L. M., & Couturier, S. (2014). Detección de cambio ambiental en selvas y bosques de México con percepción remota: un enfoque multiescalar de espacio y tiempo. *Interciencia*, *39*(6), 368–374. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33931213002

Gallegos Rodríguez, A., Alberto González Cueva, G., Gerardo Cabrera Orozco, R., Marcelli Sánchez, C., & Hernández Álvarez, E. (2014). Efecto de la recurrencia de incendios forestales en la diversidad arbórea. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *5*(24). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322014000400010&script=sci_arttext

García, M. J. L., & Caselles, V. (1991). Mapping burns and natural reforestation using thematic mapper data. *Geocarto International*, *6*(1), 31–37. https://doi.org/10.1080/10106049109354290

García Sampayo, J. C. (2019). *Teledetección de áreas quemadas asociadas a incendios forestales en la Sierra Nevada México (1998-2017)* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. http://132.248.9.195/ptd2019/abril/0788060/0788060.pdf

Gómez-Sánchez, E., de las Heras, J., Lucas-Borja, M., & Moya, D. (2017). Ajuste de metodologías para evaluar severidad de quemado en zonas semiáridas (SE peninsular): incendio Donceles 2012. *Revista de Teledetección*, *2017*(49), 103–113. https://doi.org/10.4995/raet.2017.7121

Holsinger, L. M., Parks, S. A., Saperstein, L. B., Loehman, R. A., Whitman, E., Barnes, J., & Parisien, M. A. (2022). Improved fire severity mapping in the North American boreal forest using a hybrid composite method. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, *8*(2), 222–235. https://doi.org/10.1002/rse2.238

Howe, A. A., Parks, S. A., Harvey, B. J., Saberi, S. J., Lutz, J. A., & Yocom, L. L. (2022). Comparing Sentinel-2 and Landsat 8 for Burn Severity Mapping in Western North America. *Remote Sensing*, *14*(20). https://doi.org/10.3390/rs14205249

Jiménez, A. M., Urrego, L. E., & Toro, L. J. (2016). Evaluación del comportamiento de incendios de la vegetación en el norte de Antioquia (Colombia): Análisis del paisaje. *Colombia Forestal*, *19*(2), 161–180. https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.2.a03

Jones, M. W., Abatzoglou, J. T., Veraverbeke, S., Andela, N., Lasslop, G., Forkel, M., Smith, A. J. P., Burton, C., Betts, R. A., van der Werf, G. R., Sitch, S., Canadell, J. G., Santín, C., Kolden, C., Doerr, S. H., & Le Quéré, C. (2022). Global and Regional Trends and Drivers of Fire Under Climate Change. In *Reviews of Geophysics* (Vol. 60, Issue 3). John Wiley and Sons Inc. https://doi.org/10.1029/2020RG000726

Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index, and remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. In R. E. Lutes, J. F. Keane, C. H. Caratti, Key N.C., S. Benson, Sutherland L.J., & Gangi. (Eds.), *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. https://doi.org/10.4996/fireecology.0202034

Konkathi, P., & Shetty, A. (2019). Assessment of burn severity using different fire indices: a case study of Bandipur National Park. *Recent Advances in Geoscience and Remote Sensing: Technologies, Standards and Applications (TENGARSS)*. https://doi.org/10.1109/TENGARSS48957.2019.8976036

Kraus, D., Wohlgemuth, T., Castellnou, M., & Conedera, M. (2022). Fire in Forest Ecosystems: Processes and Management Strategies. In T. Wohlgemuth, A. Jentsch, & R. Seidl (Eds.), *Disturbance Ecology* (Springer, Vol. 32, pp. 143–171). https://doi.org/10.1007/978-3-030-98756-5_7

Liu, J., Maeda, E. E., Wang, D., & Heiskanen, J. (2021). Sensitivity of spectral indices on burned area detection using landsat time series in savannas of southern Burkina Faso. *Remote Sensing*, *13*(13). https://doi.org/10.3390/rs13132492

López-García, J. (2019). Changes in forest cover in Sierra Nevada, Mexico, 1994–2015. *Journal of Maps*, *15*(2), 418–424. https://doi.org/10.1080/17445647.2019.1603125

Luna-Rosales, B. S., Barba-Alvarez, A., Romero-Tirado, R., Pérez-Toledano, E., Perea-Morales, O., Padrón-Hernández, S., Sierra-Jiménez, H., De la Cruz, R., & Jardón-Sánchez, D. (2007). Diversidad de Orquídeas en el "Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatépetl" (México) y sus áreas de influencia. *Lankesteriana International Journal on Orchidology*, *7*(1–2), 56–59. https://www.redalyc.org/pdf/443/44339813011.pdf

Mallinis, G., Mitsopoulos, I., & Chrysafi, I. (2018). Evaluating and comparing sentinel 2A and landsat-8 operational land imager (OLI) spectral indices for estimating fire severity in a mediterranean pine ecosystem of Greece. *GIScience and Remote Sensing*, *55*(1), 1–18. https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1354803

Manzo-Delgado, L. L., & López-García, J. (2020). Análisis espacial y temporal de áreas quemadas en 1998, 2003 y 2015 en la Reserva de la Biosfera Montes Azules, Chiapas, México. *Bosque (Valdivia)*, *41*(1), 11–24. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002020000100011

Miller, J. D., & Thode, A. E. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, *109*(1), 66–80. https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.006

Recibido:
10/abril/2025

Aceptado:
26/noviembre/2025

Neger, C., de Manzo Delgado, L. L., & Galicia Sarmiento, L. (2022). La investigación geográfica de los incendios forestales en México: una perspectiva bibliométrica y territorial. *Investigaciones Geográficas*, *108*. https://doi.org/10.14350/rig.60488

Nolan, R. H., Collins, L., Leigh, A., Ooi, M. K. J., Curran, T. J., Fairman, T. A., Resco de Dios, V., & Bradstock, R. (2021). Limits to post-fire vegetation recovery under climate change. *Plant Cell and Environment*, *44*(11), 3471–3489. https://doi.org/10.1111/pce.14176

Nolè, A., Rita, A., Spatola, M. F., & Borghetti, M. (2022). Biogeographic variability in wildfire severity and post-fire vegetation recovery across the European forests via remote sensing-derived spectral metrics. *Science of the Total Environment*, *823*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153807

Parks, S. A., Dillon, G. K., & Miller, C. (2014). A new metric for quantifying burn severity: The relativized burn ratio. *Remote Sensing*, *6*(3), 1827–1844. https://doi.org/10.3390/rs6031827

Parks, S. A., Holsinger, L. M., Voss, M. A., Loehman, R. A., & Robinson, N. P. (2018). Mean composite fire severity metrics computed with Google Earth Engine offer improved accuracy and expanded mapping potential. *Remote Sensing*, *10*(6). https://doi.org/10.3390/rs10060879

Quiroz-Ibarra, A., Torres-Lima, P., & Conway-Gómez, K. (2020). Community adaptive capacity in Peri-urban natural protected areas: A case study near Mexico City. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(11). https://doi.org/10.3390/su12114416

Smichowski, H., Montiel, M. del R., Romero, V., Kowalewski, M., & Contreras, F. I. (2022). Evaluación de incendios en áreas periurbanas de la ciudad de Corrientes (Argentina) durante el año 2020. *Papeles de Geografía*, *67*, 151–167. https://doi.org/10.6018/geografia.486441

Valdez-Zavala, K. M., Bravo-Peña, L. C., & Manzo-Delgado, L. L. (2019). Áreas quemadas y cambio de uso del suelo en el suroeste de Chihuahua (México) durante el periodo 2013-2017: Identificación con el índice Normalized Burn Ratio (NBR). *Acta Universitaria*, *29*(2007–9621). https://doi.org/10.15174/au.2019.2418

Van Mantgem, P. J., Falk, D. A., Williams, E. C., Das, A. J., & Stephenson, N. L. (2018). Pre-fire drought and competition mediate post-fire conifer mortality in western U.S. National Parks. *Ecological Applications*, *28*(7), 1730–1739. https://doi.org/10.1002/eap.1778

Vargas-Sanabria, D., & Campos-Vargas, C. (2020). Comparación multitemporal de áreas quemadas en un bosque seco tropical utilizando el índice de área quemada (IAQ). *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, *17*(41), 29–36. https://doi.org/10.18845/rfmk.v17i41.5280

Viedma, O., Chico, F., Fernández, J. J., Madrigal, C., Safford, H. D., & Moreno, J. M. (2020). Disentangling the role of prefire vegetation vs. burning conditions on fire severity in a large forest fire in SE Spain. *Remote Sensing of Environment*, *247*. https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111891

Vlassova, L., Pérez-Cabello, F., Mimbrero, M. R., Llovería, R. M., & García-Martín, A. (2014). Analysis of the relationship between land surface temperature and wildfire severity in a series of landsat images. *Remote Sensing*, *6*(7), 6136–6162. https://doi.org/10.3390/rs6076136

Zuluaga Gómez, O. A., Patiño Quinchía, J. E., & Valencia Hernández, G. M. (2021). Modelos implementados en el análisis de tiempo de temperatura superficial e índices de vegetación: una propuesta taxonómica en el contexto de cambio climático global. *Revista de Geografía Norte Grande*, *78*, 323–344. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022021000100323

Zúñiga-Vásquez, J. M., Cisneros-González, D., Pompa-García, M., Rodríguez-Trejo, D. A., & Pérez-Verdín, G. (2017). Spatial modeling of forest fires in Mexico: an integration of two data sources. *Bosque*, *38*(3), 563–574. https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000300014

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS SOBRE BOSQUES DE GALERÍA EN MÉXICO: ENFOQUES, CLASIFICACIÓN, GÉNEROS ARBÓREOS ASOCIADOS E IMPORTANCIA ECOLÓGICA

REVIEW OF STUDIES ON GALLERY FORESTS IN MEXICO: RESEARCH APPROACHES, CLASSIFICATION, ASSOCIATED ARBOREAL GENERA, AND ECOLOGICAL IMPORTANCE

Carranza Ojeda, C.J., J.A. Reyes Agüero, C.A. Muñoz Robles, A. van't Hooft, J.A. Flores Cano, J. Villanueva Díaz

REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS SOBRE BOSQUES DE GALERÍA EN MÉXICO: ENFOQUES, CLASIFICACIÓN, GÉNEROS ARBÓREOS ASOCIADOS E IMPORTANCIA ECOLÓGICA.
REVIEW OF STUDIES ON GALLERY FORESTS IN MEXICO: RESEARCH APPROACHES, CLASSIFICATION, ASSOCIATED ARBOREAL GENERA, AND ECOLOGICAL IMPORTANCE.

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 75-99 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.4

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Núm. 61: 75-99 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Revisión de los estudios sobre bosques de galería en México: enfoques, clasificación, géneros arbóreos asociados e importancia ecológica

Review of studies on gallery forests in Mexico: research approaches, classification, associated arboreal genera, and ecological importance

Cynthia Judith Carranza Ojeda, Juan Antonio Reyes Agüero, Carlos Alfonso Muñoz Robles, Anuschka van't Hooft, Jorge Alberto Flores Cano, José Villanueva Díaz

REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS SOBRE BOSQUES DE GALERÍA EN MÉXICO: ENFOQUES, CLASIFICACIÓN, GÉNEROS ARBÓREOS ASOCIADOS E IMPORTANCIA ECOLÓGICA.

REVIEW OF STUDIES ON GALLERY FORESTS IN MEXICO: RESEARCH APPROACHES, CLASSIFICATION, ASSOCIATED ARBOREAL GENERA, AND ECOLOGICAL IMPORTANCE

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 75-99. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.4

Cynthia Judith Carranza Ojeda https://orcid.org/0009-0000-8631-6708
Programa Multidisciplinario de Posgrados en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Manuel Nava #201, 2do. Piso, Zona Universitaria, C.P. 78000, San Luis Potosí, S.L.P., México

Juan Antonio Reyes Agüero https://orcid.org/0000-0002-5977-7039
Jardín botánico El Izotal del Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México

Carlos Alfonso Muñoz Robles https://orcid.org/0000-0003-4744-3602
Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Altair No. 200, Col. Del Llano, C.P. 78377 San Luis Potosí, S.L.P., México

Anuschka van't Hooft https://orcid.org/0000-0002-3742-9121
Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Industrias #101-A Fracc. Talleres CP 78399, San Luis Potosí, S.L.P.

Jorge Alberto Flores Cano https://orcid.org/0000-0002-2142-3040
Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Carretera San Luis - Matehuala Km. 14.5, Ejido Palma de la Cruz, 78321, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México

José Villanueva Díaz https://orcid.org/0000-0001-8211-1203
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Gómez Palacio, Durango. 35140

RESUMEN: Los bosques de galería son ecosistemas esenciales, que brindan diversos servicios ecosistémicos, los cuales desempeñan un papel crucial en la conservación de los ríos. No obstante, la identificación y estimación de su superficie han sido limitadas debido a la ambigüedad en su definición y su tamaño reducido e imperceptible en sistemas de información geográfica. Estos bosques, ubicados en las riberas de los ríos, son especialmente vulnerables a las actividades humanas. En este estudio, se revisaron 108 planes de manejo de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y 82 documentos relevantes publicados entre 1960 y 2023, en los que se identificaron solo 18 planes que aportaron información sobre las especies clave y/o la extensión de estos ecosistemas y 35 documentos que abordan específicamente los bosques de galería, principalmente en el norte y centro del país. Históricamente, las investigaciones iniciales se enfocaron en aspectos ecológicos, de distribución y clasificación, en tanto que, estudios recientes, aunque escasos, destacan el análisis de la calidad de estos ecosistemas mediante índices específicos y la necesidad de implementar legislación ambiental. Este trabajo subraya la urgencia de desarrollar planes de manejo que promuevan la conservación y manejo sostenible

Núm. 61: 75-99 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

de los bosques de galería, además, se propone un método para su identificación y los géneros de árboles que pueden encontrarse en ellos.
Palabras clave: Bosques de galería, características ecológicas, características biológicas, conservación y manejo, delimitación, distribución.
ABSTRACT: Gallery forests are essential ecosystems that provide a wide range of ecosystem services and play a crucial role in river conservation. However, their identification and surface estimation have been limited due to ambiguity in their definition and their small, often imperceptible size in geographic information systems. These forests, located along riverbanks, are especially vulnerable to human activities. In this study, 108 management plans from Natural Protected Areas (NPA) and 82 relevant documents published between 1960 and 2023 were reviewed. Among these, only 18 plans included information about key species and/or the extent of these ecosystems, and 35 documents specifically addressed gallery forests, mainly in northern and central Mexico. Historically, early research focused on ecological aspects, distribution, and classification, whereas recent, although limited, studies emphasize the assessment of ecosystem quality through specific indices and the need to implement environmental legislation. This work highlights the urgent need to develop management plans that promote the conservation and sustainable use of gallery forests and additionally proposes a method for their identification and the genera of trees typically found in those ecosystems.
Key words: Biological characteristics, conservation and management, delimitation, distribution, ecological characteristics, gallery forest.

INTRODUCCIÓN

La vegetación leñosa que se desarrolla a lo largo de riberas de ríos, arroyos y otros cuerpos lóticos, se conoce como bosques de galería, bosques ribereños o bosques riparios (Alanís Flores *et al*., 1997). El término "galería" hace referencia al túnel natural formado por el dosel de los árboles, que asemeja el pasadizo de una mina (Lincoln *et al*., 2009). Por otro lado, el adjetivo "ripario", derivado del latín *riparia*, se refiere a la vegetación que crece en la ribera de un río (Real Academia de la Lengua, 2001), lo que subraya la estrecha asociación de estos ecosistemas con los cursos de agua dulce.

Desde una perspectiva geobotánica, Font Quer (1953), define el concepto de "galería" como la disposición de la vegetación en una franja longitudinal a lo largo de un accidente geográfico, como un río o un lago, en contraste con la vegetación preclímax dominante en la región.

De manera similar, Rzedowski (1978), describe a "los bosques de galería" como comunidades leñosas que se desarrollan a lo largo de corrientes de agua más o menos permanentes y los incluye como parte de la "vegetación acuática y subacuática". Esta característica estructural y ecológica coincide con la definición de Beard (1955), quien los describe como corredores de vegetación asociados a ríos o humedales y destaca su importancia en paisajes escasamente arbolados, como sabanas, pastizales o desiertos.

El flujo del río y los cauces, ya sean perennes o intermitentes, proporcionan las condiciones necesarias para que las especies leñosas de estos bosques alcancen notables dimensiones en términos de altura y diámetro, lo que los contrasta fuertemente con las áreas secas circundantes (Alanís Flores *et al*., 1997). La altura de estos bosques puede superar los 40 m, con una mezcla de árboles perennifolios y caducifolios. Aunque en ocasiones forman agrupaciones densas, estos bosques suelen presentar una distribución irregular, con árboles muy espaciados a lo largo de las riberas (Rzedowski, 1978).

Las comunidades riparias forman franjas de vegetación más o menos estrechas que desempeñan un papel ecológico, hidrológico y de biodiversidad fundamental para la conservación de los ríos (Meli *et al*., 2017), constituyen un ecotono entre los ambientes acuáticos y terrestres (Naiman & Décamps, 1997). Se postula que desde los cambios climáticos del Pleistoceno, hace 2.59 millones de años, los bosques de galería han sido refugios para la flora y la fauna, ya que proporcionan

condiciones más favorables por la disponibilidad de agua, en contraste con tipos de vegetación más secos (Meave *et al*., 1991).

Actualmente, estos bosques funcionan como refugios para especies de hábitats adyacentes y actúan como corredores biológicos para especies migratorias y residentes. En épocas críticas proveen agua y alimento para la subsistencia de la flora y la fauna tanto en zonas frías (Granados *et al*., 2006), como en secas y especialmente durante eventos de sequía (Guevara *et al*., 2008).

Durante la temporada cálida, el dosel de los árboles intercepta la radiación solar y su sombra atempera las aguas del río (Williams, 1993), lo que proporciona un microclima regulador para el entorno acuático. Sus raíces fortalecen las riberas y evitan la erosión al reducir la velocidad de los cauces, lo que permite el flujo lento de los sedimentos río abajo y facilita la obtención de sustancias suspendidas y nutrientes necesarios en los ecosistemas circundantes (Junk, 1993).

Estos bosques de ambientes fluviales experimentan variaciones ambientales significativas, ya que se adaptan a periodos de inundación y a épocas secas con caudales disminuidos o incluso, ausentes. En resumen, los servicios ecosistémicos importantes que proporcionan son la regulación ambiental, al mitigar inundaciones, recargar acuíferos, mantener caudales durante la época seca, purificar el agua y controlar la erosión (Corredor Camargo *et al*., 2012).

Además, los bosques de galería son altamente susceptibles a factores antropógenos como el cambio de uso de suelo, debido a que son transformados en áreas para la producción de cultivos y la cría de ganado; son afectados por descargas de aguas residuales de origen urbano e industrial, la construcción de infraestructura como carreteras y presas, y por la desviación de parte o la totalidad de su caudal para el riego, minería, recreación, deforestación y diversas actividades para producción forestal. Estas actividades antropógenas intensifican la erosión del suelo y provocan un aumento en la deposición de sedimentos en el río, lo que propicia su eutroficación (Fajardo *et al*., 2000).

A pesar de su relevancia ecológica, en México se carece de una revisión integral sobre el estado actual, las características ecológicas, el aprovechamiento y los problemas ambientales de los bosques de galería. Con base en lo anterior, surgen las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuáles son los enfoques, limitaciones y posibilidades de los estudios disponibles sobre estos ecosistemas en México?, ¿Qué criterios ecológicos y biológicos son esenciales para su definición y delimitación?, ¿Cuáles son los géneros vegetales más representativos y los patrones de clasificación asociados a distintos tipos de clima y paisaje?, y ¿De qué manera el conocimiento existente, puede contribuir a establecer lineamientos para su manejo y conservación? En este contexto, el objetivo general de este trabajo es revisar y analizar la información científica disponible sobre los bosques de galería en México, con el propósito de identificar los principales enfoques de estudio, reconocer los criterios ecológicos y biológicos empleados o propuestos para su delimitación, caracterizar su clasificación ecológica y climática, y destacar los géneros vegetales más representativos asociados a estos ecosistemas, a fin de proporcionar una base conceptual y aplicada que contribuya a su manejo y conservación sustentable.

MATERIALES Y MÉTODOS

La revisión bibliográfica sobre los bosques de galería en México se realizó como un análisis cualitativo y descriptivo de la literatura científica y técnica disponible, con el propósito de identificar los enfoques de estudio, los criterios ecológicos y biológicos empleados, así como los géneros vegetales más representativos asociados a estos ecosistemas.

La búsqueda de información se llevó a cabo en bases de datos especializadas, incluyendo Web of Science, Scopus, Google Scholar, JStor, SciELO, Elsevier y Dialnet, además de repositorios de tesis de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Universidad Autónoma de Chapingo, instituciones en las que se han desarrollado investigaciones relevantes sobre el tema.

Se utilizaron combinaciones de palabras clave en español e inglés, tales como *"riparian forest"*, *"bosque ripario"*, *"bosque de galería"*, *"gallery forest"*, *"bosque de vega"* y *"México"*. El periodo de búsqueda abarcó de 1960 a 2023, con el fin de incluir tanto estudios clásicos como trabajos recientes, publicados en español, inglés y portugués.

Núm. 61: 75-99 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Durante la etapa de selección, se aplicaron criterios de inclusión que consideraron únicamente los trabajos desarrollados en el territorio mexicano y que abordaran aspectos ecológicos, florísticos, estructurales, hidrológicos o de manejo. Se descartaron los artículos que no correspondían geográficamente a México o que trataran los bosques riparios de manera tangencial.

Los trabajos válidos fueron descargados y organizados mediante el gestor de referencias Mendeley. Posteriormente, se realizó una lectura completa y análisis de contenido para identificar los principales enfoques temáticos de cada estudio. En una primera clasificación, los artículos se agruparon según su enfoque dominante (florístico, estructural, hidrológico, legal o de manejo). Sin embargo, varios estudios abordaban más de un tema, por lo que se efectuó una reclasificación iterativa, integrando los trabajos con afinidades conceptuales o metodológicas en categorías temáticas más amplias. Las categorías fueron las siguientes: 1) florística, estructura y diversidad ecológica; 2) procesos hidrogeológicos, calidad de agua y servicios ecosistémicos; 3) legislación y políticas de conservación, aprovechamiento y manejo sustentable. Cada publicación fue además codificada según su ámbito climático general (árido, templado o tropical) y por la presencia de información sobre géneros dominantes, criterios de delimitación o propuestas metodológicas. Esta organización permitió establecer patrones de estudio y vacíos de conocimiento en distintas regiones del país.

Adicionalmente, se revisaron los planes de manejo de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), con el propósito exclusivo de identificar si en estos documentos se reconoce la existencia, delimitación o manejo de los bosques de galería. Esta revisión tuvo un carácter complementario y no constituyó un análisis cuantitativo o normativo.

Finalmente, la información fue sistematizada en matrices temáticas y geográficas, lo que permitió detectar tendencias de investigación, coincidencias conceptuales y vacíos de información. La estructura de los resultados se organizó siguiendo los objetivos específicos del estudio, garantizando coherencia entre la metodología aplicada y los hallazgos presentados.

RESULTADOS

1. Enfoques de estudio y tendencias de investigación sobre los bosques de galería en México.

La revisión bibliográfica permitió identificar un total de 82 trabajos científicos y 108 documentos técnicos y de gestión relacionados con los bosques de galería en México, publicados entre 1960 y 2023. En los primeros años, los estudios tuvieron un carácter fundamentalmente descriptivo, enfocados en la composición florística y la estructura de la vegetación dentro de los que destacan los trabajos pioneros de Beard (1955) y Rzedowski (1978). Estos autores contribuyeron a establecer las primeras nociones sobre la distribución, composición y función de los bosques ribereños, considerados parte de la vegetación acuática y subacuática (Miranda & Hernández, 1963; Rzedowski, 1978).

Durante las décadas siguientes, el número de investigaciones aumentó gradualmente, aunque con un marcado sesgo hacia regiones templadas y semiáridas, donde la presencia de estos ecosistemas genera contrastes fisonómicos notables frente a la vegetación circundante (Alanís Flores *et al*., 1997). Los estudios más recientes han incorporado enfoques ecológicos, hidrológicos y de conservación, destacando la importancia funcional de estos bosques en la recarga de acuíferos, la estabilización de cauces y la conectividad del paisaje (Galindo González & Sosa, 2003; Graham, 2002; Meli *et al*., 2017; Ponce Javana, 2005).

El análisis de tendencias temporales muestra tres periodos principales de desarrollo del conocimiento. El primero, entre 1960 y 1995, caracterizado por una fase exploratoria con énfasis en descripciones locales y florísticas, donde predominaron tesis y reportes institucionales de universidades regionales (Flores Rodríguez, 1992).

El segundo periodo, de 1996 a 2005, se distingue por la integración de análisis estructurales, ecológicos e hidrológicos, reflejando la incorporación de nuevas técnicas de medición y la influencia de enfoques de ecología de riberas (Alanís Flores *et al*., 1997; Galindo González &

Núm. 61: 75-99 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Sosa, 2003; Graham, 2002; Treviño Garza *et al*., 2001). Finalmente, el tercer periodo, de 2006 a 2023, muestra un aumento en estudios interdisciplinarios que abordan servicios ecosistémicos, cambio de uso de suelo, restauración ecológica, respuesta hidroclimática y fragmentación de hábitats, muchos de ellos enmarcados dentro de políticas de conservación y manejo de cuencas (Castro López, 2019; Corredor Camargo *et al*., 2012; Martínez Sifuentes *et al*., 2021; Villanueva Díaz *et al*., 2012).

A pesar del crecimiento en el número de publicaciones, persisten vacíos de información en regiones tropicales y áridas, donde los bosques de galería son menos estudiados o mal definidos. La concentración de estudios en el centro y norte del país sugiere un sesgo académico e institucional, vinculado principalmente con la disponibilidad de infraestructura de investigación y a la facilidad de acceso. Además, se observa una fragmentación temática, ya que pocos trabajos integran simultáneamente aspectos florísticos, hidrológicos y de manejo. La mayoría de los estudios se concentran en enfoques florísticos y estructurales, seguidos por trabajos sobre procesos ecológicos e hidrológicos, con menor representación de estudios de servicios ecosistémicos y de manejo o legislación ambiental.

Las investigaciones más recientes han ampliado el rango de análisis al incluir la variabilidad espacial y temporal de estos ecosistemas, el papel de los bosques de galería en la conectividad biológica y su función como corredores ecológicos entre ambientes terrestres y acuáticos (De la Lanza *et al*., 2018),

Algunos trabajos han incorporado herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) y modelado ambiental, aunque todavía de manera incipiente, con limitaciones derivadas de la resolución espacial de los mapas y de la ausencia de criterios taxonómicos homogéneos para delimitar estos ecosistemas (Martínez Sifuentes *et al*., 2021).

En general, los estudios revisados reflejan un interés creciente por la multifuncionalidad de los bosques de galería, pero también una falta de estandarización en los enfoques metodológicos y en las definiciones conceptuales. Esta falta de consenso impide la integración de resultados entre regiones y dificulta la formulación de políticas de conservación efectivas a escala nacional.

En la Figura 1 se muestra la evolución temporal de los estudios sobre bosques de galería en México, donde se observan los picos de producción científica en el periodo 2010-2020, así como la diversificación de los enfoques temáticos y metodológicos empleados. (ver Figura 1)

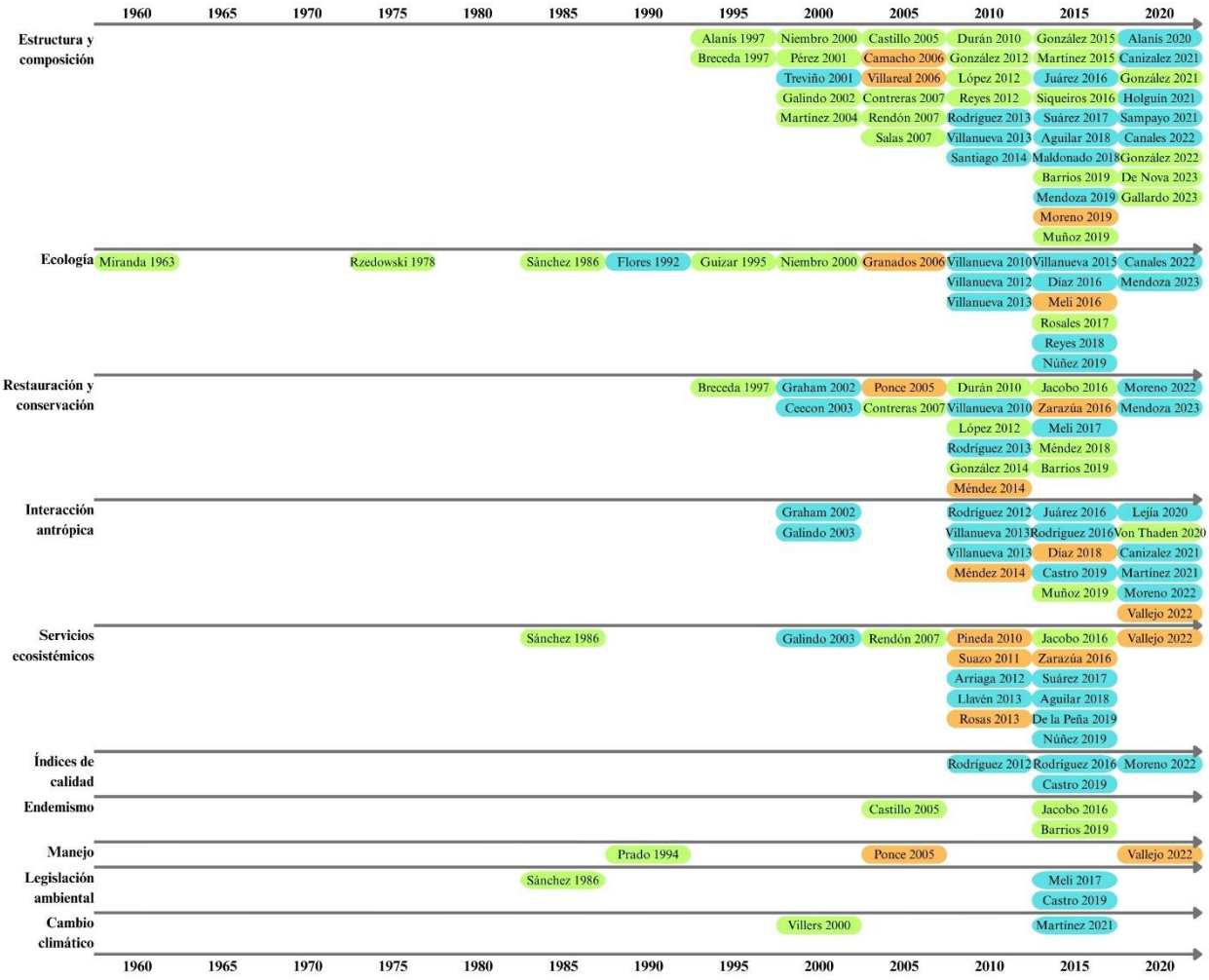


Figura 1. Línea del tiempo de las principales publicaciones sobre bosques de galería en México (1963–2023), clasificadas por enfoque temático: estructura y composición, ecología, restauración y conservación, interacción antrópica, servicios ecosistémicos, índices de calidad, endemismo, manejo, legislación ambiental y cambio climático. Los colores indican el tipo de vegetación abordada: azul, estudios centrados exclusivamente en bosques de galería; verde, estudios sobre vegetación en general que mencionan los bosques de galería; y naranja, estudios sobre vegetación riparia que incluyen a los bosques de galería.

Figure 1. Timeline of major publications on gallery forests in Mexico (1963–2023), classified by thematic approach: structure and composition, ecology, restoration and conservation, human interaction, ecosystem services, quality indices, endemism, management, environmental legislation, and climate change. Colors indicate the type of vegetation addressed: blue, studies focused exclusively on gallery forests; orange, studies on riparian vegetation that include gallery forests; and green, studies on general vegetation that mention gallery forests**.**

2. Criterios ecológicos y biológicos empleados o propuestos para la delimitación de los bosques de galería

Los criterios utilizados para reconocer y delimitar los bosques de galería en México presentan una amplia variación entre autores y regiones, reflejando tanto diferencias en los objetivos de investigación como en las condiciones ecológicas locales. En la mayoría de los casos, las

delimitaciones se basan en criterios fisiográficos y florísticos, que distinguen a estos ecosistemas por su ubicación adyacente a cuerpos de agua, la presencia de especies leñosas adaptadas a la saturación del suelo y su fisonomía contrastante con respecto de la vegetación circundante (Alanís Flores *et al*., 1997; Beard, 1955; Granados *et al*., 2006; Rzedowski, 1978).

Entre los criterios ecológicos más empleados, destacan la proximidad al cauce principal o a los afluentes, la frecuencia e intensidad de las inundaciones, la disponibilidad de humedad edáfica, y el tipo de sustrato o material aluvial que favorece el establecimiento de la vegetación leñosa (Fajardo *et al*., 2000; Meli *et al*., 2017; Santiago Pérez *et al*., 2014). En regiones templadas, los bosques de galería se reconocen por la presencia de suelos profundos, saturados y ricos en materia orgánica, mientras que en regiones áridas o semiáridas, su delimitación depende más de la profundidad freática y la persistencia del flujo base (Morales Casique *et al*., 2016; Villanueva Díaz *et al*., 2012).

En cuanto a los criterios biológicos, la identificación de especies indicadoras ha sido una herramienta recurrente. Géneros como *Populus*, *Salix*, *Taxodium*, *Alnus*, *Ficus* e *Inga* son comúnmente empleados para caracterizar estos ambientes, dado su requerimiento de humedad constante y su papel estructural en la conformación del dosel (Aguilar Luna *et al*., 2018; Junk, 1993; Rzedowski, 1978; Santiago Pérez *et al*., 2014; Williams, 1993).

Sin embargo, la composición florística varía sustancialmente entre regiones; por ejemplo, mientras *Salix bonplandiana* y *Populus fremontii* dominan en cuencas áridas del norte (Alanís Rodríguez *et al*., 2020), *Taxodium mucronatum* y *Alnus acuminata* son típicos de zonas templadas húmedas, y *Ficus cotinifolia* e *Inga vera* lo son en áreas tropicales húmedas (Guevara *et al*., 2008; Meave *et al*., 1991; Santiago Pérez *et al*., 2014).

Diversos estudios proponen criterios mixtos, combinando información florística, hidrológica y geomorfológica. En estos casos, la delimitación se fundamenta en gradientes de humedad o inundación estacional, la presencia de especies adaptadas a condiciones anóxicas y la relación altitudinal con respecto al cauce. Otros autores incorporan parámetros cuantitativos, como la cobertura arbórea, densidad de tallos, ancho del corredor ripario o la pendiente del terreno (Corredor Camargo *et al*., 2012; Meli *et al*., 2017; Morales Casique *et al*., 2016). No obstante, los umbrales utilizados varían entre estudios, lo que impide la comparación directa o la construcción de modelos predictivos robustos.

A nivel conceptual, varios autores han señalado la necesidad de establecer criterios ecológicos unificados para reconocer estos ecosistemas en inventarios nacionales y programas de manejo (Aguilar Luna *et al*., 2018; Alanís Flores *et al*., 1997). En la práctica, la delimitación suele depender de observaciones de campo y de la interpretación visual de imágenes satelitales o cartografía topográfica, sin una definición estándar sobre el ancho o la extensión longitudinal mínima que debe cumplir un bosque de galería. Esta falta de uniformidad ha derivado en que, en algunos casos, se confundan con vegetación riparia o con franjas de selva mediana adyacentes a cauces temporales (Fajardo *et al*., 2000; Granados *et al*., 2006; Rzedowski, 1978).

La revisión de los planes de manejo de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), evidenció que la mayoría de los documentos no reconocen explícitamente los bosques de galería como una categoría diferenciada de vegetación, sino que los incluyen bajo denominaciones generales como “vegetación ribereña”, o como parte del “bosque mesófilo de montaña” o de la “selva mediana” (González Ocampo *et al*., 2014). Solo en algunos casos, como en los planes de manejo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda y el Parque Nacional El Chico, se identifican zonas de vegetación asociadas a riberas, aunque sin definir criterios ecológicos específicos para su delimitación o manejo.

Este panorama resalta la carencia de lineamientos metodológicos comunes que permitan reconocer los bosques de galería a nivel nacional. Si bien existe consenso en torno a su asociación con cuerpos de agua permanentes o intermitentes y a su función ecológica como corredores biológicos, aún se requiere avanzar hacia la formulación de indicadores estandarizados. La sistematización de criterios ecológicos y biológicos, junto con el uso de herramientas geoespaciales, podría contribuir a la generación de mapas temáticos consistentes y a su inclusión explícita en políticas públicas de conservación.

Núm. 61: 75-99 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

La Figura 2 presenta un árbol de decisión propuesto para la identificación de bosques de galería, elaborado con base en los criterios ecológicos y biológicos documentados en la literatura revisada, mostrando las rutas de clasificación más comunes según el tipo de clima, régimen de flujo y composición florística.

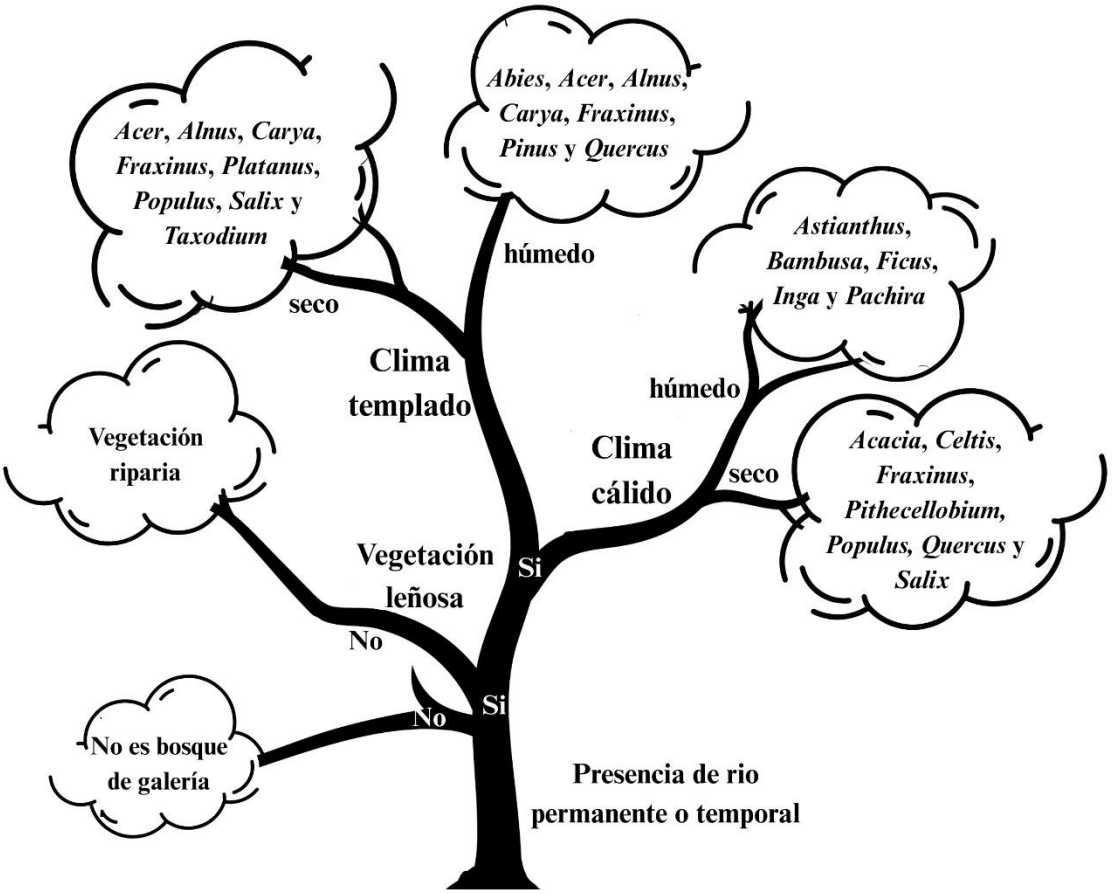


Figura 2. Árbol de decisión propuesto para la identificación de bosques de galería en México, elaborado con base en los criterios ecológicos documentados en la literatura. El esquema integra variables hidrológicas (presencia de ríos permanentes o temporales), tipo de vegetación leñosa y condiciones climáticas, asociando los principales géneros vegetales característicos de cada ambiente.
Figure 2. Decision tree proposed for the identification of gallery forests in Mexico, based on ecological criteria documented in the literature. The diagram integrates hydrological variables (presence of permanent or temporary rivers), woody vegetation type, and climatic conditions, linking the main plant genera characteristic of each environment.

3. Clasificación ecológica y climática de los bosques de galería en México

La revisión bibliográfica permitió identificar una gran variabilidad ecológica y climática entre los bosques de galería distribuidos en el territorio nacional. Estos ecosistemas se desarrollan a lo largo de ríos y arroyos con corrientes perennes o de régimen intermitente, desde zonas áridas hasta regiones tropicales húmedas, y presentan adaptaciones estructurales y florísticas particulares que reflejan las condiciones hidrológicas y climáticas locales (Alanís Rodríguez *et al*., 2020; Santiago Pérez *et al*., 2014).

Los estudios revisados agrupan a los bosques de galería en tres grandes contextos ecológicos y climáticos: árido-semiárido, templado-húmedo y tropical-húmedo. Cada uno de estos grupos muestra diferencias notables en composición vegetal, estructura, fenología y dinámica hidrológica (Alanís Rodríguez *et al*., 2020; Villanueva Díaz *et al*., 2012).

En las regiones áridas y semiáridas, los bosques de galería se asocian principalmente con cauces intermitentes o ríos estacionales que mantienen humedad subterránea durante gran parte del año. Estos bosques presentan una estructura abierta, con una cobertura arbórea discontinua y una notable adaptación de las especies a la escasez de agua. Los géneros dominantes incluyen *Populus*, *Salix*, *Neltuma* (antes *Prosopis*), *Fraxinus* y *Celtis*, que desarrollan raíces profundas para acceder al nivel freático (Alanís Rodríguez *et al*., 2020; Canizales Velázquez *et al*., 2021). Las especies *Salix bonplandiana* y *Populus fremontii* son particularmente representativas en los ríos de las cuencas del Mezquital, Yaqui y Balsas, donde la vegetación ribereña contrasta visiblemente con los matorrales xerófilos circundantes (Canizales Velázquez *et al*., 2021; Holguín Estrada *et al*., 2021). La estacionalidad hídrica determina un patrón de actividad fisiológica marcado: durante la temporada seca, la mayoría de las especies pierden parcialmente el follaje, reduciendo la transpiración; mientras que en la época de lluvias se observa un rápido rebrote foliar y emergencia de plántulas a lo largo de los márgenes arenosos (Sampayo Maldonado *et al*., 2021).

En las regiones templadas, los bosques de galería se caracterizan por una estructura más densa, un dosel superior que alcanza alturas de entre 20 y 40 m, y una composición dominada por especies caducifolias y perennifolias. Los géneros *Taxodium*, *Alnus*, *Platanus*, *Fraxinus* y *Juglans* predominan en estos ambientes, donde la humedad del suelo es alta y el flujo de agua suele ser perenne (Santiago Pérez *et al*., 2014). Estos ecosistemas se ubican principalmente en las cuencas del Lerma-Chapala, Río Grande de Santiago y Río Atoyac a altitudes intermedias entre 1500 y 2500 m (Ponce Javana, 2005), así como en el río San Pedro Mezquital en el estado de Durango (Villanueva Díaz, Stahle, *et al*., 2013) y en el río Sabinas de Tamaulipas (Villanueva Díaz *et al*., 2014) La combinación de pendientes suaves, suelos aluviales profundos y alta disponibilidad de agua permite el desarrollo de especies de gran porte, con troncos anchos y raíces extensas que estabilizan las riberas. *Taxodium mucronatum*, conocido como “ahuehuete”, constituye una de las especies más emblemáticas de este tipo de bosque, asociada a corrientes permanentes en valles templados.

Por su parte, los bosques de galería de regiones tropicales húmedas se encuentran en las planicies costeras y valles intermontanos del Golfo de México y del Pacífico Sur, donde las precipitaciones anuales superan los 1500 mm y los ríos mantienen caudales estables. Estas comunidades presentan una alta diversidad florística y una estructura estratificada con árboles de gran altura, lianas y epífitas abundantes (Castillo Campos *et al*., 2005; De Nova *et al*., 2023; Mendoza Cariño & Quevedo Nolasco, 2019). Los géneros más frecuentes son *Ficus*, *Inga*, *Celtis*, *Guazuma* e *Hibiscus*, además de especies asociadas a la selva mediana o alta perennifolia. En este contexto, los bosques de galería funcionan como ecotonos que conectan ambientes riparios y selvas tropicales, favoreciendo el flujo genético y la movilidad de fauna asociada (De Nova *et al*., 2023).

El análisis geográfico de las publicaciones muestra una concentración espacial de los estudios en la región central del país, especialmente en los estados de Hidalgo, Querétaro, Estado de México y Puebla, con una menor representación de investigaciones en las regiones norte y sur (Aguilar Luna *et al*., 2018; González Ocampo *et al*., 2014; Santiago Pérez *et al*., 2014).

La Figura 3 ilustra la distribución de los estudios sobre bosques de galería en México, donde se observa que los sitios más documentados coinciden con cuencas de alta densidad poblacional y mayor accesibilidad. En contraste, las zonas tropicales del sureste y las áridas del noroeste permanecen poco exploradas, a pesar de albergar bosques de galería con características ecológicas singulares (Rodríguez Téllez *et al*., 2012, 2016; Sampayo Maldonado *et al*., 2021).

La información disponible sugiere que la clasificación ecológica de los bosques de galería en México debe considerar no solo el gradiente climático, sino también variables geomorfológicas e hidrológicas, como la estabilidad del cauce, el régimen de flujo y la conectividad con acuíferos subterráneos (Castro López, 2019; Meli *et al*., 2017; Morales Casique *et al*., 2016). Esta perspectiva integradora permitiría distinguir con mayor precisión las unidades ecológicas y

Núm. 61: 75-99 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

facilitar la elaboración de inventarios comparativos entre regiones. Sin embargo, la ausencia de una tipología estandarizada continúa siendo un obstáculo para su reconocimiento en programas nacionales de manejo y conservación (Sánchez Silva, 1986).

En términos funcionales, cada tipo de bosque de galería cumple un papel distintivo dentro del paisaje: los de regiones áridas actúan como refugios de biodiversidad en ambientes extremos; los de zonas templadas mantienen el equilibrio hídrico y térmico de las cuencas; y los tropicales representan corredores de alta productividad biológica (Núñez Avellaneda *et al*., 2019; Villanueva Díaz, Constante García, *et al*., 2013).

A pesar de su relevancia, la limitada cobertura de estudios impide evaluar su estado de conservación a nivel nacional (De la Lanza *et al*., 2018; Martínez Sifuentes *et al*., 2021). La Figura 3 muestra la distribución espacial de los estudios revisados y la ubicación de los principales tipos de bosque de galería en México, diferenciados por su clasificación ecológica y climática. (ver Figura 3).

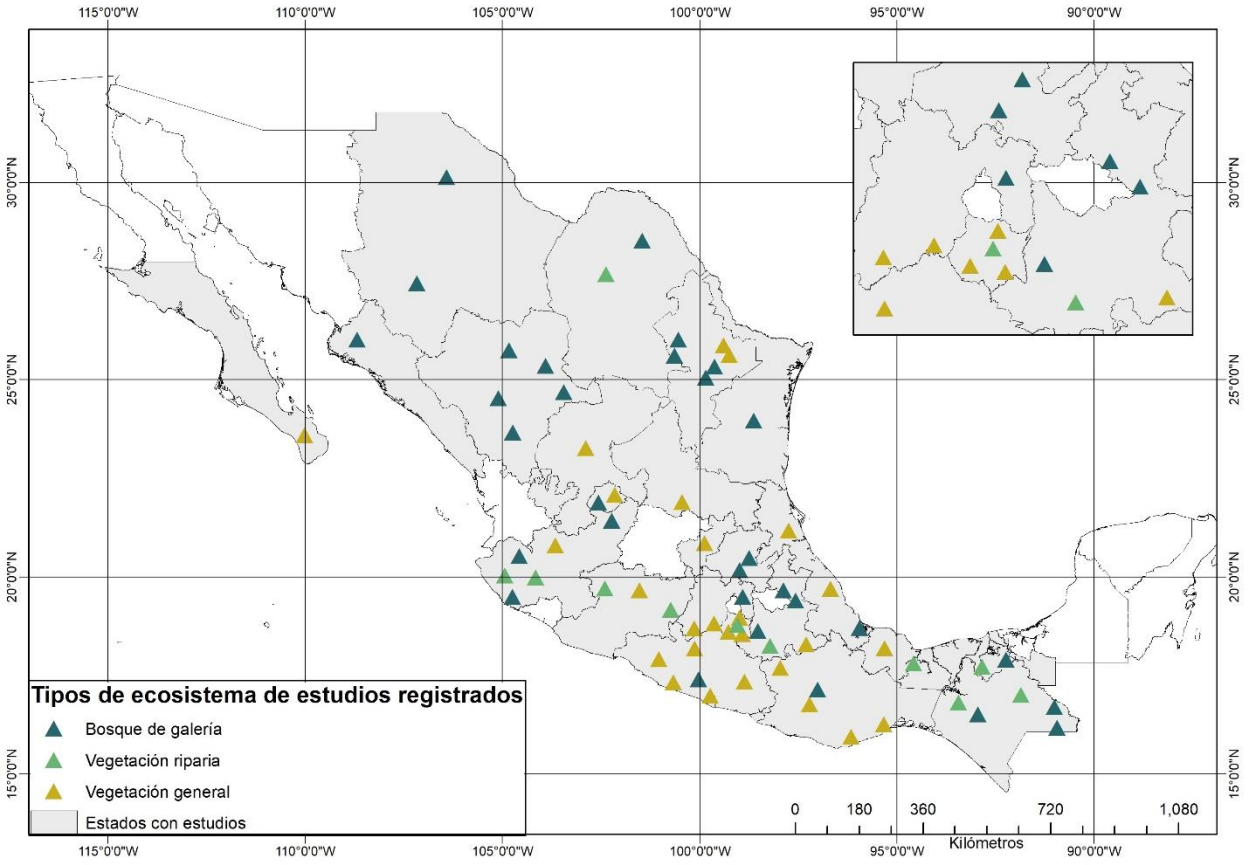


Figura 3. Distribución geográfica de los estudios sobre bosques de galería en México. Los símbolos indican el tipo de ecosistema abordado en cada publicación: azul, estudios centrados exclusivamente en bosques de galería; verde, estudios sobre vegetación riparia que incluyen bosques de galería; y amarillo, estudios sobre vegetación general que mencionan estos ecosistemas. El recuadro muestra con mayor detalle la concentración de investigaciones en la región centro del país.

Figure 3. Geographic distribution of studies on gallery forests in Mexico. Symbols indicate the type of ecosystem addressed in each publication: blue, studies focused exclusively on gallery forests; green, studies on riparian vegetation that include gallery forests; and yellow, studies on general vegetation that mention these ecosystems. The inset highlights the higher concentration of studies in the central region of the country.

Núm. 61: 75-99 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

4. Géneros y especies más representativas asociadas a los bosques de galería en México

El análisis florístico de los estudios revisados muestra una alta diversidad de taxa asociados a los bosques de galería a lo largo del gradiente climático nacional. La síntesis elaborada en este trabajo (Cuadro 1 y Anexo 1) compila más de 100 géneros distribuidos desde ambientes árido-semiáridos hasta templados y tropicales; esta riqueza refleja la plasticidad ecológica de la vegetación riparia y su adaptación a variaciones de humedad, inundación y luminosidad (Rzedowski, 1978; Sánchez Silva, 1986). En términos fisonómicos, los bosques de galería rara vez son monoespecíficos y se caracterizan por conjuntos heterogéneos con árboles, arbustos, trepadoras y epífitas (Sánchez Silva, 1986).

A escala nacional, se repiten géneros núcleo que funcionan como buenos descriptores de estos ecosistemas. En climas templados y templado-secos predominan *Platanus*, *Populus*, *Salix* y *Taxodium*; en regiones templado-frescas son comunes *Acer*, *Alnus*, *Carya* y *Fraxinus*; mientras que en ambientes cálidos y húmedos destacan *Astianthus*, *Bambusa*, *Ficus*, *Inga* y *Pachira* (Rzedowski, 1978; Sánchez Silva, 1986). Estos patrones se observan tanto en compilaciones de alcance nacional como en estudios de sitio: por ejemplo, en Sierra de Quila (Jalisco) se documenta un gradiente templado–cálido con presencia de *Alnus*, *Quercus*, *Salix* y otros géneros mesófilos en la parte alta, y taxa de afinidad cálido-húmedos en la parte baja (Santiago Pérez *et al*., 2014); en Allende (Nuevo León) el bosque de galería templado seco se caracteriza por los géneros *Taxodium*, *Platanus*, *Carya*, y *Fraxinus* (Alanís Rodríguez *et al*., 2020); mientras que en el río Xaltatempa (Puebla) se registran *Abies*, *Alnus*, *Platanus* y *Quercus* en condiciones templado-húmedas (Aguilar Luna *et al*., 2018).

La evidencia por áreas naturales específicas refuerza la recurrencia de estos géneros en esos ambientes. En el Área de Protección de Recursos Naturales Valle de Bravo (Edo. de México) se reportan *Alnus acuminata*, *Fraxinus uhdei*, *Salix humboldtiana* y *Taxodium mucronatum*; en el Parque Nacional (PN) San Pedro Mártir (Baja California), *Populus fremontii* y *Salix* spp.; en el PN Barranca del Cupatitzio (Michoacán), están *Alnus*, *Ficus*, *Inga*, *Platanus*, *Populus*, *Salix* y *Taxodium*; en el PN El Sabinal (Nuevo León) se documentan *Celtis laevigata*, *Fraxinus uhdei* y *Taxodium mucronatum*; y en PN Cumbres de Monterrey (Nuevo León) aparecen *Platanus occidentalis*, *Populus tremuloides*, *Salix nigra* y *Taxodium mucronatum* (Cuadro 1). Para ambientes tropicales húmedos en Chiapas, se registran con frecuencia *Ficus*, *Inga*, *Licania* y *Bravaisia*, entre otros (RB Montes Azules; APFF Cascada Azul).

Además, estudios estructurales y florísticos confirman el peso de estos géneros en la conformación del dosel y la dinámica de los corredores riparios: en Nuevo León, *Taxodium mucronatum*, *Platanus occidentalis*, *Populus* y *Salix* presentan altos valores de importancia ecológica (Treviño Garza *et al*., 2001); en el río Fuerte (Sinaloa) se documentan la diversidad y estructura propias del bosque de galería (Sampayo Maldonado *et al*., 2021); y en el noroeste de México se ha evaluado la variación altitudinal de la composición (Holguín Estrada *et al*., 2021). El ahuehuete (*Taxodium mucronatum*) destaca como elemento emblemático y bioindicador de ambientes riparios permanentes, con amplia evidencia dendrocronológica e incluso modelación de idoneidad de hábitat para su conservación (Martínez-Sifuentes *et al*., 2021; Villanueva Díaz *et al*., 2012; Villanueva Díaz, *et al*., 2013). Finalmente, el árbol de decisión propuesto integra estos géneros diagnósticos para la identificación práctica en campo (Figura 3).

Núm. 61: 75-99 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Cuadro 1. Áreas Naturales Protegidas (ANP) de México con presencia registrada de bosques de galería o vegetación riparia asociada. Se indican el nombre y tipo de ANP, ubicación geográfica, cuenca o río principal, géneros o especies dominantes, extensión reportada y tipo de clima correspondiente según la clasificación de Köppen modificada por García (2004).
Table 1. Natural Protected Areas (ANP) in Mexico with recorded presence of gallery forests or associated riparian vegetation. The table shows the name and type of ANP, geographic location, main basin or river, dominant genera or species, reported area, and climate type according to the Köppen classification modified by García (2004).

ANP Nombre	**Estado Municipios**	**Cuenca/Río**	**Géneros/Especies dominantes**	**Extensión (ha)**	**Clima**
APRN Zona Protectora Forestal los terrenos constitutivos de las cuencas de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec	Estado de México: Valle de Bravo.	El Arenal	*Alnus acuminata*, *Cyperus sp.*, *Fraxinus uhdei*, *Oreopanax xalapensis*, *Prunus serotina* var. *salicifolia*., *Salix humboldtiana*, *Taxodium distichum* var. *mexicanum* y *Typha domingensis.*	83.54	C(w2)(w)(i')g Templado subhúmedo.
PN San Pedro Mártir	Baja California: San Felipe, San Quintín y Ensenada.	Ríos El Salado, Rosario, Santo Domingo, San Simón, San Rafael, Vallecitos, La Tasajera, Corona, San Pedro, Alcatráz.	*Populus fremontii* y *Salix* spp.	Sin información	C(E)s(x') Templado semifrío subhúmedo.
PN Cascada de Bassaseachi	Chihuahua: Ocampo.	Ríos Duraznos, Basaseachic	*Acer carpinifolium*, *Alnus glutinosa*, *Barkleyanthus salicifolius*, *y Pithecellobium dulce*.	Sin información	C(w2) x Templado subhúmedo.
PN Barranca del Cupatitzio	Michoacán: Nuevo Parangaricutiro y Uruapan.	Río Cupatitzio	*Alnus*, *Astianthus*, *Bambusa*, *Carya*, *Ficus*, *Fraxinus*, *Acer*, *Inga*, *Pachira*, *Platanus*, *Populus*, *Salix* y *Taxodium*.	4.2	A)C(m) (w) Semicálido húmedo.
PN El Sabinal	Nuevo León: Cerralvo	Río Benavides y manantial "ojito de agua".	*Celtis laevigata*, *Ehretia anacua*, *Fraxinus uhdei*, *Ligustrum lucidum*, *Quercus* sp. y *Taxodium distichum* var. *mexicanum*.	8	BS1(h') (x') Semiárido cálido.
PN Cumbres de Monterrey	Nuevo León: Ramos	Red hidrológica del río Bravo, río Ramos.	*Platanus occidentalis*, *Populus tremuloides*, *Salix nigra* y *Taxodium distichum* var. *mexicanum.*	Sin información	BS1h(x') Semiárido semicálido.
PN Benito Juárez	Oaxaca: Oaxaca de Juárez, San Andrés Huayapam y Tlalixtac de Cabrera.	Río Atoyac-Verde.	*Alnus jorullensis*, *Annona cherimola*, *Cornus excelsa*, *Salix bonplandiana* y *Taxodium distichum* var. *mexicanum.*	Sin información	BS1kw Semiárido templado.
PN Cofre de Perote o Nauhcampatépetl	Veracruz: Perote, Ayahualulco, Ixthuacán de Los Reyes y Xico.	Ríos Nautla, Jamapa y Atoyac.	*Pinus patula*, *Pinus pseudostrobus* y *Quercus laurina*.	Sin información	Cb'(m)(f) Semifrío húmedo.

Núm. 61: 75-99 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

APFF Cascada Azul	Chiapas: Salto de Agua, Chilón y Tumbala.	Región Hidrológica: Grijalva-Villahermosa. Ríos Pichucalco, Almandro y Tulipa.	*Cecropia obtusifolia*, *Cecropia peltata*, *Ceiba aesculifolia*, *Ceiba pentandra*, *Ficus cotinifolia*, *Ficus pertusa*, *Inga* spp., *Licania platypus*, *Nectandra glandulosa*, *Nectandra* sp. y *Tabebuia rosea*.	104.36	Af(m)wi'g Cálido húmedo.
APFF Boquerón de Tonalá	Oaxaca: Santo Domingo Tonalá y San Marcos Arteaga.	Región Hidrológica: Balsas. Río El Salado	*Astianthus viminalis*, *Ficus* spp. y *Taxodium distichum* var. *mexicanum.*	Sin información	C[wo] Templado subhúmedo.
APFF Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui	Sonora: Álamos; Sinaloa: Choix;	Río Cuchujaqui.	*Taxodium distichum* var. *mexicanum*.	Sin información	BS 1 hw Semicálido seco.
RB Sierra la Laguna	Baja California Sur: La Paz y Los Cabos.	Cuenca: Valle de la Laguna.	*Erythea brandegeei*, *Populus brandegeei* var. *glabra*, *Quercus brandegeei* y *Washingtonia robusta*.	Sin información	BW(h') hw(e) Semiárido cálido.
RB El Triunfo	Chiapas: Villa Corzo, Pijijiapan, La Concordia, Ángel Albino Corzo, Montecristo de Guerrero, Siltepec, Escuintla, Acacoyagua y Mapastepec.	Cuenca: Alto Grijalva.	*Alnus acuminata*, *Cornus excelsa*, *Cuphea hyssopifolia*, *Fraxinus chiapensis*, *Platanus chiapensis*, *Populus arizonica*, *Salix* spp., y *Taxodium distichum* var. *mexicanum*.	Sin información	Aw2(w)igw" Cálido subhúmedo.
RB Montes Azules	Chiapas: Ocosingo, Las Margaritas y Maravilla Tenejapa.	Usumacinta y Salinas.	*Bravaisia integerrima*, *Ficus glabrata*, *Inga* sp., *Licania platypus*, *Lonchocarpus* sp., *Pithecellobium arboreum*, *Platanus mexicana*, *Salix chilensis* y *Taxodium distichum* var. *mexicanum*.	Sin información	Af(m)wi'g Cálido húmedo.
RB Volcán Tacaná	Chiapas: Cacahoatán, Unión Juárez y Tapachula.	Cuencas de los ríos Suchiate, Coatán, Cahoacán y Cosalapa.	*El reporte no muestra información detallada sobre las especies. No obstante, en la parte media alta del volcán se encuentran coníferas, mientras que al pie del Tacaná predominan las palmas tropicales.	Sin información	A (c) m (w)ig Semicálido húmedo.

Núm. 61: 75-99 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

RB Sierra de Manantlán	Jalisco: Autlán de Navarro, Tuxcacuesco, Tolimán, Cuautitlán de García Barragán, El Grullo, Zapotitlán de Vadillo y Casimiro Castillo; Colima: Minatitlán, Comala y Villa de Álvarez.	Cuencas de los ríos Ayuquila-Armería, Marabasco y Purificación.	*Astianthus viminalis* y *Salix bonplandiana*.	Sin información	A (C)w Semicálido subhúmedo.
Tehuacán-Cuicatlán	Puebla: 18 municipios. Oaxaca: 32 municipios.	Cuenca del río Papaloapan	*Astianthus viminalis*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Ficus* sp., *Pithecellobium dulce*, *Salix bonplandiana* y *Taxodium distichum* var. *mexicanum*.	Sin información	A(C)(w2) (w) Semicálido húmedo.
Los Tuxtlas	Veracruz: Ángel R. Cabada, Santiago Tuxtla, San Andrés Tuxtla, Catemaco, Mecayapan, Tatahuicapan de Juárez, Soteapan y Pajapan.	Cuenca del río Papaloapan	*Begonia sousae*, *Inga sinacae*, *Mormodes tuxtlensis*, *Solenophora tuxtlensis* y *Thelypteris rhachyflexuosa*.	Sin información	A (c) m (w)ig Semicálido húmedo.

Núm. 61: 75-99 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

DISCUSIÓN

La bibliografía sobre bosques riparios, de galería o ribereños en México es escasa y dispersa. Hasta el año 2023, se encontraron 82 artículos, dentro de los cuales solo 35 abordaron temas específicos relacionados con estos ecosistemas. Para este artículo de revisión, se recopiló la mayor cantidad de información disponible sobre bosques de galería, analizándolos desde diversos enfoques, como estructura, composición florística, servicios ecosistémicos, evaluación del impacto antrópico, calidad riparia, legislación y cambio climático.

La evolución en el estudio de estos temas ha ido especializándose con el tiempo. Inicialmente, las investigaciones se centraron en la estructura y composición arbórea de estos ecosistemas a principios de este siglo (Treviño Garza *et al*., 2001). Posteriormente, se destacó la importancia de los servicios ecosistémicos (Arriaga Flores *et al*., 2012; Llaven Macías, 2013) y la necesidad de implementar planes de manejo y reformar la legislación ambiental, integrando factores sociales, económicos y ambientales con el objetivo de alcanzar un uso y manejo sustentable (Castro López, 2019; Martínez Sifuentes *et al*., 2021; Meli *et al*., 2017; Prado Renteria, 1994). Sin embargo, estos últimos temas han sido abordados de manera limitada, especialmente considerando la extensión y diversidad ecosistémica del país.

El uso de la clasificación de tipos de vegetación propuesta por Rzedowski (1978), ha sido crucial para la delimitación de los tipos de vegetación en estudios con distintas escalas. Sin embargo, solo ecosistemas de amplia extensión pueden distinguirse a nivel nacional (mapas a escala 1:250 000), esto ha invisibilizado la superficie y distribución de los bosques de galería dentro de la amplia categoría "vegetación acuática y subacuática" de Miranda y Hernández X., 1963). Por ejemplo, González-Ocampo *et al*. (2014), señalaron que la extensión de la vegetación acuática y subacuática en México abarcaba aproximadamente 2,601,064 ha; sin embargo, menciona que se desconoce con certeza cuánta de esta extensión es cubierta exclusivamente por los bosques de galería.

La investigación más reciente sobre la extensión y ubicación de estos ecosistemas fue realizada por Martínez-Sifuentes *et al*. (2021). Según este estudio, el área estimada de bosques de galería en México, dominada por *Taxodium mucronatum*, es de 48,958.5 ha. Sin embargo, es crucial tener en cuenta que esta estimación se basó en el uso exclusivo de dicha especie como indicadora clave en la distribución de estos bosques. Otros estudios han identificado especies adicionales clave como *Carya illinoinensis*, *Populus wislizenii*, *Platanus mexicana*, *P. occientalis*, *P. rzedowskii*, *Salix humboldtiana*, *S. nigra.* (Alanís Rodríguez *et al*., 2020; Canizales Velázquez *et al*., 2021; Treviño Garza *et al*., 2001), e incluso algunos bosques de galería, carecen de la presencia de *T. mucronatum* (Aguilar Luna *et al*., 2018). Por ello, para desarrollar modelos más precisos sobre la ubicación y extensión de estos bosques, es necesario considerar la estructura de la vegetación y modelar a partir de la distribución potencial de diversas especies indicadoras de manera integral.

Si se considera la identificación de especies clave como punto de partida para la modelación de la distribución potencial de los bosques de galería, los trabajos sobre estructura y composición se han enfocado en el centro-norte de México (Aguilar Luna *et al*., 2018; Alanís Rodríguez *et al*., 2020; Canizales Velázquez *et al*., 2021; Holguín Estrada *et al*., 2021), lo que deja en desventaja a otras zonas del país. Esta focalización zonal puede estar relacionada con la dificultad para delimitar los bosques de galería en relación con la vegetación circundante en zonas más húmedas y cálidas (Durán Ramírez *et al*., 2010).

La heterogeneidad de especies de galería, y su relación con las condiciones geográficas y climáticas, subraya la necesidad de una clasificación adecuada para su manejo y conservación. En México, Santiago-Pérez *et al*. (2014), distinguieron entre los bosques de galería templados húmedos y los bosques cálidos secos en la Sierra de Quila, Jalisco. Alanís-Rodríguez *et al*. (2020), definieron al bosque de galería templado y árido en Allende, Nuevo León. Esta clasificación climática es similar a la propuesta por Frankie *et al*. (1974), en Costa Rica, que clasifica estos ecosistemas con base en el régimen de precipitación. De manera similar, en Colombia, Cabrera-Amaya & Rivera-Díaz (2016), identificaron bosques de galería en llanura de tipo aluvial y de tipo eólico: el primero, formado a lo largo de los márgenes del río, acumula sedimentos durante

periodos de inundación (suelos más fértiles y húmedos); el segundo, desarrollado por acción del viento, presenta suelos más secos, menos fértiles y con mayor erosión.

Igualmente, en Cuba se ha descrito la relación de factores edáficos, es decir, exposición, tipo y profundidad del suelo, cantidad y tipo de nutrientes, y eventual presencia de metales pesados Gónzález-Torres (2005). En La Plata, Argentina se analizó como la distribución de especies epífitas y trepadoras está influenciada por las características climáticas de las ecorregiones estudiadas; por ejemplo, la provincia Paranense tiene precipitaciones abundantes y temperaturas cálidas mientras que la provincia Pampeana posee condiciones edáficas más secas (Guerrero *et al*., 2018).

A diferencia de los estudios sobre la estructura y composición de especies realizados en México, investigaciones en el estado de Nueva York, EE. UU., han evaluado, el estado de madurez sucesional (Keeton *et al*., 2007). En ese estudio se encontró que la complejidad estructural y la densidad de árboles vivos y muertos son indicios del estado de madurez de los bosques. Así, los sitios con mayor estado de madurez (árboles > 150 años) muestran densidades más altas de árboles grandes vivos (19 árboles/ha) y muertos (7 árboles/ha), además de mayor área basal (45 ± 14 m^2 ha^{-1}), frente a bosques menos maduros (80 a 15 años), con menor volumen de madera muerta más bajo (86 m^3) y densidades de 13 individuos ha^{-1} vivos y 2 individuos ha^{-1} muerto, y área basal de 19 ± 20 m^2 ha^{-1}. Dada la relevancia del estudio de ecosistemas riparios, es necesario profundizar en usos y aplicaciones de estudios florísticos y estructurales.

Los estudios florísticos en México han sido clave para visibilizar la importancia de conservar estos refugios de especies endémicas (Castillo Campos *et al*., 2005; Durán Ramírez *et al*., 2010), y documentar el registro de especies exóticas (Mendoza Cariño & Quevedo Nolasco, 2019).

La presencia y el impacto de especies exóticas en bosques de galería no ha sido cuantificada en México, a diferencia de países como Argentina, donde el 21% de las especies registradas en el río Lules, Tucumán, fueron especies exóticas. Además, su presencia se relacionó con el gradiente altitudinal: a mayores altitudes, donde el lecho seco es angosto e inaccesible, el impacto antropogénico disminuye y, por ende, se registró una menor presencia de especies introducidas (Sirombra & Mesa, 2010).

En México, los estudios sobre servicios ecosistémicos se han centrado en su papel como sustentadores de la biodiversidad (Arriaga Flores *et al*., 2012; De la Peña, 2019; Galindo González & Sosa, 2003; Graham, 2002; Granados *et al*., 2006; Llaven Macías, 2013; Rosas Espinoza *et al*., 2013; Suazo Ortuño *et al*., 2011). De manera similar, en EE. UU., también se ha observado este enfoque (Domínguez López & Ortega Álvarez, 2014; Farley *et al*., 1994; Merritt & Bateman, 2012). Sin embargo, otros servicios han sido escasamente abordados. Por ejemplo, sobre calidad de agua en el río Xaltatempa, Puebla (Aguilar Luna *et al*., 2018); de igual manera, solo la tesis de Suárez García (2017) cuantificó la alta capacidad que tiene el bosque de galería para capturar y almacenar CO_2, sobre todo las especies *Taxodium huegelii* y *Populus alba*, siempre y cuando el bosque esté conservado o poco perturbado. Estos aspectos también han sido poco estudiados a nivel global (Bin *et al*., 2009; Richardson *et al*., 2012). Esta carencia se refleja en la falta de legislación dirigida a la conservación de estos ecosistemas. No obstante, el uso de distintos índices de calidad ha abierto la oportunidad de desarrollar metodologías y planes de manejo adecuados en vías del manejo sustentable.

Es fundamental implementar políticas públicas y acciones de conservación más detalladas y específicas para proteger estos ecosistemas y sus funciones ecológicas, considerando los impactos negativos de las actividades humanas y la infraestructura hidráulica.

CONCLUSIONES

La integración de estudios realizados en regiones áridas, templadas y tropicales permite reconocer gradientes ecológicos y florísticos que evidencian la alta heterogeneidad de los bosques de galería en México. Este enfoque comparativo resalta convergencias funcionales —en particular, la recurrencia de géneros leñosos asociados al régimen de humedad, como *Populus*, *Salix*, *Taxodium*

e *Inga*— y muestra que, pese a la diversidad climática, estos ecosistemas comparten patrones estructurales y ecológicos vinculados con la disponibilidad hídrica y su función como corredores biológicos. La integración de factores climáticos, edáficos y geográficos resulta esencial para desarrollar una clasificación y delimitación más robustas, mientras que la consideración de la distribución potencial de sus especies clave permitiría afinar los modelos de localización, estudio y manejo. En conjunto, esta perspectiva nacional amplía la comprensión de los bosques de galería más allá de los estudios locales y proporciona un marco de referencia útil para su reconocimiento, conservación y ordenamiento ecológico.

No obstante, la revisión bibliográfica realizada revela diversas lagunas y desafíos en el conocimiento y manejo de estos ecosistemas. Aunque existen pocos estudios disponibles, se observa una evolución en el enfoque de investigación, que ha transitado desde descripciones básicas de estructura y composición hacia la valoración de servicios ecosistémicos y la formulación de planes de manejo y reformas legislativas orientadas a mitigar daños ambientales —como la contaminación, los cambios en el uso del suelo o la sobreexplotación de recursos hídricos—. Sin embargo, persiste la falta de estudios exhaustivos y cuantificados, especialmente en relación con el impacto de especies exóticas y de las actividades antrópicas sobre los servicios ecosistémicos que proveen. Estas limitaciones subrayan la urgencia de fortalecer la investigación interdisciplinaria y de generar políticas públicas específicas que garanticen la conservación y el uso sustentable de los bosques de galería en México.

LITERATURA CITADA

Aguilar Luna, J. M. E., Loeza Corte, J. M., García Villanueva, E., & Hernández Fernández, L. A. (2018). Arboreal vegetation structure and diversity in the gallery forest of the Xaltatempa River, Puebla, Mexico. *Madera y Bosques*, *24*(3), 1–11. https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431616

Alanís Flores, G. J., Cano y Cano, G., & Rovalo Merino, M. (1997). *Vegetación y flora de Nuevo León. Una guía botánico-ecológica* (G. J. Alanís Flores, G. Cano y Cano, & M. Rovalo Merino (eds.)). CEMEX.

Alanís Rodríguez, E., Rubio Camacho, E. A., Canizales Velázquez, P. A., Mora Olivo, A., Pequeño Ledezma, M. Á., & Buendía Rodríguez, E. (2020). Estructura y diversidad de un bosque de galería en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *11*(58), 134–153. https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.591

Arriaga Flores, J. C., Castro Arellano, I., Moreno Valdéz, A., & Correa Sandoval, A. (2012). Temporal niche overlap of a riparian forest bat assemblage in subtropical Mexico. *Revista Mexicana de Mastozoología (Nueva Época)*, *2*(1), 3. https://doi.org/10.22201/ie.20074484e.2012.2.1.18

Beard, J. S. (1955). Note on gallery forests. In *Ecology* (Vol. 36, Issue 2). http://www.jstor.org/stable/1933242

Bin, O., Landry, C. E., & Meyer, G. F. (2009). Riparian buffers and hedonic prices: A quasi-experimental analysis of residential property values in the neuse river basin. *American Journal of Agricultural Economics*, *91*(4), 1067–1079. https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2009.01316.x

Cabrera Amaya, D. M., & Rivera Díaz, O. (2016). Composición florística y estructura de los bosques ribereños de la cuenca baja del Río Pauto, Casanare, Colombia. *Caldasia*, *38*(1), 53–85. https://doi.org/10.15446/caldasia.v38n1.57829

Canizales Velázquez, P. ., Alanís Rodríguez, E., García García, S. ., Holguín Estrada, V. ., & 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

Castillo Campos, G., Medina Abreo, M. E., Dávila Aranda, P. D., & Zavala Hurtado, J. A. (2005). Contribución al conocimiento del endemismo de la flora vascular en Veracruz, México. *Acta Botánica Mexicana*, *17*(73), 19–57.

Castro López, D. (2019). *Riparian forest quality, land-use dynamics and their influence on macroinvertebrate communities. An evaluation of the ecological statuts of Pesquería River, N.E, México.* Universidad de Barcelona.

Corredor Camargo, E. S., Fonseca Carreño, J. A., & Páez Barón, E. M. (2012). Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano. *Revista de Investigación Agraria Y Ambiental*, *9*(1), 77–83. https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.22490/21456453.936

De la Lanza, G., González Villela, R., González Mora, I. D., & Hernández Pulido, S. (2018). Caudal ecológico de ciertos ríos que descargan al Golfo de México y al Pacífico Mexicano. *Ribagua*, *5*(1), 3–15. https://doi.org/10.1080/23863781.2018.1442187

De la Peña, E. I. (2019). *Importancia de las zonas riparias para la comunidad de murciélagos en el bosque tropical húmedo en el sureste de México, implicaciones de manejo y conservación* [Universidad Nacional Autónoma de México]. https://doi.org/10.1002/ece3.1375

De Nova, A., Enríquez Salaices-Valdez, E., Castillo Lara, P., Cilia López, V. G., Yáñez Espinosa, L., Gudiño Cano, A. K., & Vázquez Mendoza, S. (2023). Inventario florístico del Área Natural Protegida Parque Nacional El Potosí, San Luis Potosí, México. *Acta Botánica Mexicana*, *130*, 1–28. https://doi.org/10.21829/abm130.2023.2191

Domínguez López, M. E., & Ortega Álvarez, R. (2014). The importance of riparian habitats for avian communities in a highly human-modified Neotropical landscape. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *85*(4), 1217–1227. https://doi.org/10.7550/rmb.43849

Durán Ramírez, C. A., Fonseca Juárez, R. M., & Ibarra Manríquez, G. (2010). Estudio florístico de Ficus (Moraceae) en el estado de Guerrero, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *81*(2), 239–262. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2010.002.251

Fajardo, A., Veneklaas, E., Obregón, S., & Beaulieu, N. (2000). Los Bosques de Galería. Gupia para su apreciación y conservación. In *Centro Internacional de Agricultura Tropical*.

Farley, G. H., Ellis, L. M., Stuart, J. N., & Scott, J. (1994). Avian species richness in different-aged stands of riparian forest along the middle Rio Grande, New Mexico. In *Conservation Biology* (Vol. 8, Issue 4, pp. 1098–1108). https://doi.org/10.1016/0006-3207(96)83277-0

Flores Rodríguez, V. (1992). *Integración de los conocimientos sobre el Ahuehuete (Taxodium mucronatum) y algunas consideraciones acerca del bosque de galería en el distrito Sola de Vega, Oaxaca*.

Font Quer, P. (1953). *Diccionario de botánica*. Labor.

Frankie, G. W., Baker, H. G., & Opler, P. A. (1974). Comparative phenological studies of treelet and shrub species in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology*, *62*(3), 881–919. https://doi.org/10.2307/2259250

Galindo González, J., & Sosa, V. J. (2003). Frugivorous bats in isolated trees and riparian vegetation associated with human-made pastures in a fragmented tropical landscape. *Southwestern Naturalist*, *48*(4), 579–589. https://doi.org/10.1894/0038-4909(2003)048<0579:FBIITA>2.0.CO;2

González Ocampo, H. A., Cortés Calva, P., Iñiguez Dávalos, L. I., & Ortega Rubio, A. (2014). Las áreas naturales protegidas de México. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes*, *60*, 7–15.

Gónzález Torres, L. R. (2005). La vegetación serpentinícola de lomas de La Coca, Ciudad de La Habana. *Revista Del Jardín Botánico Nacional*, *25:26*(1982), 79–86.

Graham, C. (2002). Use of fruiting trees by birds in continuous forest and riparian forest remnants in Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico. *Biotrópica*, *34*(4), 589–597.

Granados, S., García, H., & Ríos, L. (2006). Ecología de las Zonas Ribereñas. *Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, *12*(1), 55–69. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62912107

Guerrero, E. L., Apodaca, M. J., Dosil Hiriart, F. D., & Alejandro Cabanillas, P. (2018). Análisis biogeográfico de los humedales del sistema fluvial del Río de la Plata basado en plantas trepadoras y epífitas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *89*(4), 1190–1200.

https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.4.2519

Guevara, G., Reinoso, G., García, J. E., Franco, L. M., García, L. J., Yara, D. C., Briñez, N., Ocampo, M. L., Quintana, M. I., Pava, D. Y., Flórez, N. Y., Ávila, M. F., Hernández, E. E., Lozano, L. A., Guapucal, M., Borrero, D. A., & Olaya, E. J. (2008). Aportes para el análisis de ecosistemas fluviales: una visión desde ambientes ribereños. *Tumbaga*, *3*(2008), 109–127. http://dialnet.unirioja.es/servlet/fichero_articulo?codigo=3994242

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

Junk, W. J. (1993). Wetlands of tropical South America. In *Wetlands of the world I* (Vol. 1, pp. 679–739). https://doi.org/10.1007/978-94-015-8212-4_14

Keeton, W. S., Kraft, C. E., & Warren, D. R. (2007). Mature and old-growth riparian forests: Structure, dynamics, and effects on adirondack stream habitats. *Ecological Applications*, *17*(3), 852–868. https://doi.org/10.1890/06-1172

Lincoln, R. J., Boxshall, G. A., & Clark, P. F. (2009). *Diccionario de Ecología, evolución y taxonomía.* Fondo de Cultura Económica.

Llaven Macías, V. (2013). Mamíferos de un bosque ribereño en la cuenca media del río Grijalva, Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana*, *29*(2), 287–303.

Martínez Sifuentes, A. R., Villanueva Díaz, J., De la Rosa, E. C., & Stahle, D. W. (2021). Modelado actual y futuro de la ideonidad de hábitat el Ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.): una propuesta para conservación en México. *Botanical Sciences*, *99*(4), 752–770. https://doi.org/10.17129/BOTSCI.2772

Meave, J., Kellman, M., Macdougall, A., & Rosales, J. (1991). Riparian habitats as tropical forest refugia. *Global Ecology & Biogeography Letters*, *1*(3), 69–76. https://doi.org/10.2307/2997492

Meli, P., Ruiz, L., Aguilar, R., Rabasa, A., Rey-Benayas, J. M., & Carabias, J. (2017). Bosques ribereños del trópico húmedo de México: Un caso de estudio and aspectos críticos para una restauración exitosa. *Madera y Bosques*, *23*(1), 181–193. https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311118

Mendoza Cariño, M., & Quevedo Nolasco, A. (2019). Lista florística del bosque de galería del río Metztitlán, Hidalgo, México. *Acta Botánica Mexicana*, *126*, 1–13. https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1495

Merritt, D. M., & Bateman, H. L. (2012). Linking stream flow and groundwater to avian habitat in a desert riparian system. *Ecological Applications*, *22*(7), 1973–1988. https://doi.org/10.1890/12-0303.1

Miranda, F., & Hernández, E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, *28*, 29–179.

Morales Casique, E., Guinzberg Belmont, J., & Ortega Guerrero, A. (2016). Regional groundwater flow and geochemical evolution in the Amacuzac River Basin , Mexico. *Hydrogeology*, *24*(7), 1873–1890. https://doi.org/10.1007/s10040-016-1423-x

Naiman, R. J., & Décamps, H. (1997). The ecology of interfaces: Riparian zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, *28*(October), 621–658. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621

Núñez Avellaneda, L. A., Castro, M. I., Mestre, G., & Lozano, L. (2019). Los bosques de galería conectores de vida. *Ámbito Investigativo*, *4*(1), 14–15. https://ciencia.lasalle.edu.co/ai/vol4/iss1/3/

Ponce Javana, P. C. (2005). *Propuesta de desarrollo rural sustentable en la cuenca del río Tizaac, en la mixteca poblana*.

Prado Renteria, X. (1994). *La gestión de un territorio subordinado del manejo del agua en Tarimbaro, Michoacán*.

Real Academia de la Lengua. (2001). *Diccionario de la lengua española.* (RAE 20).

Richardson, J. S., Naiman, R. J., & Bisson, P. A. (2012). How did fixed-width buffers become standard practice for protecting freshwaters and their riparian areas from forest harvest

Recibido:
1/mayo/2025

Aceptado:
28/noviembre/2025

practices? *Freshwater Science*, *31*(1), 232–238. https://doi.org/10.1899/11-031.1

Rodríguez Téllez, E., Domínguez Calleros, P. A., Pompo García, M., Quiroz Arratia, J. A., & Pérez López, M. E. (2012). Calidad del bosque de ribera del río El Tunal, Durango, México; mediante la aplicación del índice QBR. *Gayana. Botánica*, *69*(1), 147–151.

Rodríguez Téllez, E., García de Jalón, D., Pérez López, M. E., Torres Herrera, S. I., Ortiz Carrasco, R., Pompa García, M., Morales Montes, M., García García, D. A., Zamudio Castillo, E., & Vázquez Vázquez, L. (2016). Caracterización de la calidad ecológica del bosque de galería del río La Sauceda, Durango, México. *Hidrobiológica*, *26*(1), 35–40.

Rosas Espinoza, V. C., Rodríguez Canseco, J. M., Santiago Pérez, A. L., Ayón Escobedo, A., & Domínguez Laso, M. (2013). Distribution of some amphibians from central western Mexico: Jalisco. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *84*(2), 690–696. https://doi.org/10.7550/rmb.31945

Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México* (1ra. Edici). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Sampayo Maldonado, S., Moreno Aldaco, J. D., Lara Ponce, E., & Piña Ruíz, H. H. (2021). Diversidad y estructura del bosque de galería del río Fuerte, Sinaloa, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *8*(2), 1–13. https://doi.org/10.19136/era.a8n2.3046

Sánchez Silva, R. (1986). Vegetación en galería y sus relaciones hidrogeomorfológicas. In *Ingeniería Hidráulica en México* (pp. 70–78). Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.

Santiago Pérez, A. L., Ayón Escobedo, A., Rosas Espinoza, V. C., Rodríguez Zaragoza, F. A., & Toledo González, S. L. (2014). Estructura del bosque templado de galería en la Sierra De Quila, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *5*(24), 144–159. https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i24.326

Sirombra, M. G., & Mesa, L. M. (2010). Composición florística y distribución de los bosques ribereños subtropicales andinos del Río Lules, Tucumán, Argentina. *Revista de Biología Tropical*, *58*(1), 499–510. https://doi.org/10.15517/rbt.v58i1.5224

Suárez García, P. A. (2017). *Evaluación ecológica de la estructura vertical y valoración económica, por las prestación del servicio de captura de carbono, del bosque de galería asociado al río Hualahuises (Nuevo León, México)*. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Suazo Ortuño, I., Alvarado Díaz, J., & Martínez Ramos, M. (2011). Riparian areas and conservation of herpetofauna in a tropical dry forest in western Mexico. *Biotropica*, *43*(2), 237–245. https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2010.00677.x

Treviño Garza, E. J., Cavazos Camacho, C., & Aguirre Calderón, 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.

Villanueva Díaz, J., Cerano Paredes, J., Benavides, J. de D., Stahle, D. W., Estrada Avalos, J., Constante García, V., & Tostado Placencia, M. (2012). Reconstrucción de los niveles del lago de Chapala con series dendrocronológicas de *Taxodium mucronatum* Ten. *Revista Mexicana Científica Forestal*, *3*(14), 55–68.

Villanueva Díaz, J., Constante García, Vicenta Cerano Paredes, J., & Martínez Sifuentes, A. R. (2014). *La Cuenca San Martín y la situación del Ahuehuete (Taxodium mucronatum Ten.) en el río Sabinas, Coahuila.*

Villanueva Díaz, J., Constante García, V., Cerano Paredes, J., Estrada Ávalos, J., & Tostado Placencia, M. M. (2013). Impacto en las represas en *Taxodium mucronatum* Ten. en el río San Pedro-Mezquital, Durango. *Revista Mexicana Ciencias Forestales*, *4*(18), 44–55. https://doi.org/http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v4n18/v4n18a4.pdf

Villanueva Díaz, J., Stahle, D. W., Cerano Paredes, J., Estrada Ávalos, J., & Constante García, V. (2013). Respuesta hidrológica del sabino en bosques de galería del río San Pedro Mezquital, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *4*(20), 8–19. https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i20.366

Williams, M. (1993). Understanding wetlands. In *Wetlands: A threatened landscape* (p. 400).

Anexo 1. Lista con 100 especies leñosas en los bosques de galería en México (los nombres científicos en este Cuadro y en el texto se verificaron en la página World Flora Online: https://wfoplantlist.org y en la página Plants of the world: https://powo.science.kew.org).

Especie	Ubicación	Río	Referencia
Alnus acuminata Kunth	Estado de México	Texcoco	Díaz, 2016
	Puebla	Papaloteno	Maldonado, 2018
	Puebla	Xaltatempa	Aguilar, 2018
	San Luis Potosí	Sin información	de Nova, 2023
Alnus oblongifolia Torr.	Chihuahua	Las Tinajas	Holguín, 2021
Amphipterygium adstringens (Schltdl.) Schiede ex Standl.	Ciudad de México	Chalma y San Jerónimo	López, 2019
Asclepias curassavica L.	Puebla	Nexapa	Juárez, 2016
Astianthus viminalis(Kunth) Baill.	Guerrero	Balsas	González, 2012
Bauhinia coulteri J.F. Macbr.	San Luis Potosí	Sin información	Rzedowski, 1965
Brickellia laciniata A. Gray.	San Luis Potosí	Sin información	Rzedowski, 1965
Brosimum alicastrum Sw.	Veracruz	Tecolutla	Barrios, 2019
Buddleja cordata Kunth	Puebla	Papaloteno	Maldonado, 2018
Bursera grandifolia (Schltdl.) Engl.	Ciudad de México	Chalma y San Jerónimo	López, 2019
Bursera simaruba (L.) Sarg.	Querétaro	Tolimán	González, 2022
Capsicum frutescens L.	San Luis Potosí	Sin información	Rzedowski, 1965
Carica papaya L.	Hidalgo	Metztitlán	Mendoza, 2019
Carpodiptera cubensis subsp. *cubensis*	Veracruz	Tecolutla	Barrios, 2019
	Hidalgo	San Juan	Canales, 2022
Carya illinoinensis (Wangenh.) K.Koch	Michoacán	Lerma	Méndez, 2014
	Nuevo León	Allende	Alanís, 2020
	Querétaro	Tolimán	González, 2022
	San Luis Potosí	Sin información	Rzedowski, 1965
Carya ovata (Mill.) K. Koch	San Luis Potosí	Sin información	de Nova, 2023
Cascabela ovata (Cav.) Lippold	Morelos	Coatlán	González, 2015
Cascabela thevetia (L.) Lippold	Morelos	Coatlán	González, 2015
Cascabela thevetioides (Kunth) Lippold	Morelos	Coatlán	González, 2015
Casearia laetioides (A. Rich) Warb.	Veracruz	Tecolutla	Barrios, 2019
Cedrela odorata L.	Morelos	Balsas	Galindo, 2003
Ceiba pentandra (L.) Gaertn.	Morelos	Balsas	Galindo, 2003
Celtis laevigata Willd.	Nuevo León	Allende	Alanís, 2020
Cephalanthus occidentalis L.	Hidalgo	San Juan	Canales, 2022
Cephalanthus salicifolius Bonpl.	Tamaulipas	San Felipe	Arriaga, 2012
Chiococca alba (L.) Hitchc.	Guerrero	Taxco el Viejo	Martínez, 2004
	San Luis Potosí	Sin información	Rzedowski, 1965

Conzattia multiflora (B.L.Rob) Standl.	Guerrero	Taxco el Viejo	Martínez, 2004
Cordia dentata Poir.	Chiapas	Sabinal	Díaz, 2018
Couepia polyandra (Kunth) Rose.	Guerrero	El Peregrino	Gallardo, 2023
Cupania dentata Moc. & Sessé.	Veracruz	Tecolutla	Barrios, 2019
Dalembertia populifolia Baill.	Guerrero	Taxco el Viejo	Martínez, 2004
Damburneya ambigens (S.F.Blake) Trofimov.	Morelos	Balsas	Galindo, 2003
Kyrsteniopsis spinaciifolia (DC.) B.L.Turner	San Luis Potosí	Sin información	Rzedowski, 1965
Eysenhardtia polystachya (Ortega) Sarg.	Oaxaca	Río Grande	Flores, 1992
	Puebla	Papaloteno	Maldonado, 2018
Ficus americana Aubl.	Veracruz	Tecolutla	Barrios, 2019
Ficus aurea Nutt.	Guerrero	Sin información	Durán, 2010
Ficus cotinifolia Kunth.	San Luis Potosí	Sin información	Rzedowski, 1965
Ficus crocata Mart. ex Miq.	Guerrero	Sin información	Durán, 2010
Ficus lapathifolia (Liebm.) Miq.	Guerrero	Sin información	Durán, 2010
Ficus maxima Mill.	Ciudad de México	Chalma y San Jerónimo	López, 2019
Ficus membranacea C. Wright.	Guerrero	Sin información	Durán, 2010
Ficus pertusa Lf.	Guerrero	Sin información	Durán, 2010
Ficus petiolaris Kunth.	Guerrero	Sin información	Durán, 2010
	Puebla	Nexapa	Juárez, 2016
Ficus pringlei S. Watson.	Guerrero	Sin información	Durán, 2010
Ficus velutina Humb. & Bonpl. ex Willd.	Guerrero	Sin información	Durán, 2010
Fraxinus berlandieriana A. DC.	Nuevo León	Allende	Alanís, 2020
Fraxinus uhdei (Wenz) Lingelsh.	Hidalgo	San Juan	Canales, 2022
	Michoacán	Lerma	Méndez, 2014
Guazuma ulmifolia Lam.	Chiapas	Sabinal	Díaz, 2018
	Guerrero	Taxco el Viejo	Martínez, 2004
Hampea integerrima Schltdl.	Veracruz	Sin información	Castillo, 2005
Heimia salicifolia Link.	San Luis Potosí	Sin información	Rzedowski, 1965
Heliocarpus terebinthinaceus (DC.) Hochr.	Veracruz	Tecolutla	Barrios, 2019
Hesperocyparis lusitanica (Mill.) Bartel	Chihuahua	Las Tinajas	Holguín, 2021
	Hidalgo	San Juan	Canales, 2022
	Oaxaca	Río Grande	Flores, 1992
Inga vera subs. *eriocarpa* (Benth.) J.León.	Guerrero	Taxco el Viejo	Martínez, 2004
Ipomoea murucoides Roem. & Schult.	Michoacán	Lerma	Méndez, 2014
Juglans mollis Engelm.	San Luis Potosí	Sin información	Rzedowski, 1965
Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit.	Oaxaca	Río Grande	Flores, 1992

Lonchocarpus eriophyllus Benth.	Guerrero	Balsas	González, 2012
Lysiloma acapulcence (Kunth) Benth.	Michoacán	Lerma	Méndez, 2014
Lysiloma divaricatum (Jacq.) J.F.Macbr.	San Luis Potosí	Sin información	de Nova, 2023
Manilkara zapota (L.) P.Royen.	Veracruz	Tecolutla	Barrios, 2019
Microdesmia arborea (Seem.) Sothers & Prance.	Guerrero	El Peregrino	Gallardo, 2023
Myrcia chytraculia var *pauciflora (*O. Berg.) G.O.Burton & E.Lucas	Veracruz	Sin información	Castillo, 2005
Neltuma juliflora (Sw.) Raf.	San Luis Potosí	Sin información	Rzedowski, 1965
Neltuma leavigata (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Britton & Rose	Guerrero	Balsas	González, 2012
	Michoacán	Lerma	Méndez, 2014
Parathesis serrulata (Sw.) Mez.	Puebla	Xaltatempa	Aguilar, 2018
Parkinsonia aculeata L.	Querétaro	Tolimán	González, 2022
Parkinsonia praecox (Ruiz & Pav.) Hawkins	Guerrero	Balsas	González, 2012
Peltostigma pteleoides (Hook.) Walp.	San Luis Potosí	Sin información	Rzedowski, 1965
Pimenta dioica (L.) Merr.	Veracruz	Tecolutla	Barrios, 2019
Pinus durangensis Martínez	Chihuahua	Las Tinajas	Holguín, 2021
Pinus montezumae Lamb.	San Luis Potosí	Sin información	de Nova, 2023
Pinus patula Schiede ex Schltdl. & Cham.	Puebla	Xaltatempa	Aguilar, 2018
Pinus teocote Schied. ex Schltdl. & Cham.	Puebla	Papaloteno	Maldonado, 2018
	San Luis Potosí	Sin información	de Nova, 2023
Pistacia mexicana Kunth.	San Luis Potosí	Sin información	Rzedowski, 1965
Pithecellobium dulce (Roxb.) Benth.	Guerrero	Balsas	González, 2012
	Guerrero	Taxco el Viejo	Martínez, 2004
Platanus mexicana Moric.	Puebla	Xaltatempa	Aguilar, 2018
	Nuevo León	Allende	Alanís, 2020
	Tamaulipas	San Felipe	Arriaga, 2012
	Hidalgo	San Juan	Canales, 2022
	Puebla	Papaloteno	Maldonado, 2018
	San Luis Potosí	Sin Información	Rzedowski, 1965
Platanus racemosa Nutt.	Nuevo León	Camachito	Canizalez, 2021
Populus deltoides W.Bartram ex Marshall	Nuevo León	Camachito	Canizalez, 2021
Protium copal (Schltdl. & Cham.) Engl.	Veracruz	Tecolutla	Barrios, 2019
Prunus rhamnoides Koehne	San Luis Potosí	Sin información	de Nova, 2023
Prunus serotina Ehrh.	San Luis Potosí	Sin información	de Nova, 2023
Pseudolmedia glabrata (Liebm.) C.C.Berg	Morelos	Balsas	Galindo, 2003
Quercus eduardi Trel.	San Luis Potosí	Sin información	de Nova, 2023
Quercus polymorpha Schltdl. & Cham	San Luis Potosí	Sin información	de Nova, 2023

Quercus resinosa Liebm.	San Luis Potosí	Sin información	de Nova, 2023
Quercus rugosa Née.	Puebla	Papaloteno	Maldonado, 2018
	Puebla	Xaltatempa	Aguilar, 2018
Quercus virginiana Mill	Nuevo León	Allende	Alanís, 2020
Randia thurberi S. Watson.	Michoacán	Lerma	Méndez, 2014
Rauvolfia tetraphylla L.	Morelos	Coatlán	González, 2015
Salix gooddingii C.R.Ball.	Hidalgo	San Juan	Canales, 2022
Salix humboldtiana Willd.	Hidalgo	San Juan	Canales, 2022
	Michoacán	Lerma	Méndez, 2014
Sideroxylon palmeri (Rose) T.D.Penn	San Luis Potosí	Sin información	Rzedowski, 1965
Sideroxylon capiri (A.DC.) Pittier	Ciudad de México	Chalma y San Jerónimo	López, 2019
Solanum erianthum D.Don.	San Luis Potosí	Sin información	de Nova, 2023
Tabebuia rosea (Bertol.) DC.	Chiapas	Sabinal	Díaz, 2018
Taxodium distichum var, *mexicanum* (Carrière) Gordon & Glend.	Chiapas	Sabinal	Díaz, 2018
	Ciudad de México	Chalma y San Jerónimo	López, 2019
	Durango	Nazas	Lejía, 2020
	Guerrero	Taxco el Viejo	Martínez, 2004
	Hidalgo	San Juan	Canales, 2022
	Michoacán	Lerma	Méndez, 2014
	Morelos	Balsas	Galindo, 2002
	Nuevo León	Allende	Alanís, 2020
	Nuevo León	Ramos	González, 2021
	Oaxaca	Río Grande	Flores, 1992
	Puebla	Nexapa	Juárez, 2016
	Tamaulipas	San Felipe	Arriaga, 2012
	San Luis Potosí	Sin información	Rzedowski, 1965
Vachellia constricta (Benth.) Seigler & Ebinger	San Luis Potosí	Sin información	Rzedowski, 1965
Vachellia farnesiana (L.) Willd & Arn.	Michoacán	Lerma	Méndez, 2014
	San Luis Potosí	Sin información	Rzedowski, 1966
Vachellia pennatula (Schltdl. & Cham.) Seigler & Ebinger	Michoacán	Lerma	Méndez, 2014
Vitex mollis Kunth	Guerrero	Taxco el Viejo	Martínez, 2004

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE PROVISIÓN EN COMUNIDADES DE PUEBLOS OTOMÍ Y MATLAZINCAS DEL ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

PROVISION OF ECOSYSTEM SERVICES IN INDIGENOUS COMMUNITIES IN THE STATE OF MEXICO, MEXICO

White-Olascoaga, L., D. García-Mondragón, C. Zepeda-Gómez

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE PROVISIÓN EN COMUNIDADES DE PUEBLOS OTOMÍ Y MATLAZINCAS DEL ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO
PROVISION OF ECOSYSTEM SERVICES IN INDIGENOUS COMMUNITIES IN THE STATE OF MEXICO, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 101-114 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.5

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

POLIBOTÁNICA

Núm. 61: 101-114 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Servicios ecosistémicos de provisión en comunidades de pueblos Otomí y Matlazincas del Estado de México, México

Provision of ecosystem services in indigenous communities in the State of Mexico, Mexico

Laura White-Olascoaga
Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias. Campus El Cerrillo Piedras Blancas. Toluca. México

David García-Mondragón / dgarciamo@uaemex.mx
https://orcid.org/0000-0003-1721-5465
Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua (IITCA). México

Carmen Zepeda-Gómez
Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias. Campus El Cerrillo Piedras Blancas. Toluca. México

Laura White-Olascoaga, David García-Mondragón, Carmen Zepeda-Gómez

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE PROVISIÓN EN COMUNIDADES DE PUEBLOS OTOMÍ Y MATLAZINCAS DEL ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

PROVISION OF ECOSYSTEM SERVICES IN INDIGENOUS COMMUNITIES IN THE STATE OF MEXICO, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 101-114. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.5

RESUMEN: Los servicios ecosistémicos de provisión satisfacen diversas necesidades en las poblaciones rurales. Una de las más importantes es la alimentación; obteniendo de los ecosistemas aledaños a las comunidades diversos productos principalmente por recolección para su dieta diaria. Se identifico la diversidad de los quelites, artrópodos comestibles, y la caza de especies menores, como recursos recolectados en bosques de San Pedro Arriba y San Francisco Oxtotilpan. Por medio de un estudio etnobiológico y etnográfico se obtuvieron 24 especies de quelite, y ocho especies de artrópodos que las comunidades de estudio recolectan para su dieta diaria. Se obtuvo que anteriormente la caza de pequeños animales ayudaba a la dieta diaria. El uso, recolección y consumo de quelites y artrópodos por parte de las comunidades es vasto y debe ser fomentado, antes de que los conocimientos tradicionales que poseen se pierdan.
Palabras clave: Recursos forestales no maderables; otomís; matlazincas; recursos alimenticios.
ABSTRACT: Provisioning ecosystem services meets diverse needs in rural populations. One of the most important is food; they obtain various products from the ecosystems surrounding the communities, primarily through harvesting, for their daily diet. The diversity of quelites, edible arthropods, and the hunting of smaller species were identified as resources collected in the forests of San Pedro Arriba and San Francisco Oxtotilpan. Through an ethnobiological and ethnographic study, 24 species of quelites and eight species of arthropods were identified, which the study communities collect for their daily diet. It was determined that hunting small animals previously contributed to their daily diet. The use, collection, and consumption of quelites and arthropods by the communities is vast and must be encouraged before their traditional knowledge is lost.
Key words: Non-timber forest resources; Otomi; Matlazinca; food resources.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas brindan bienes y servicios para el soporte y desarrollo de la vida de numerosas especies. La diversidad biológica de estos sistemas es fundamental para el ser humano, debido a que satisface sus necesidades primarias, tangibles e intangibles (Montes, 2007) (Salgado-Mora, Ibarra Núñez, Macías-Sámano, & López-Báez, 2007).

Dichos beneficios han sido definidos como servicios ecosistémicos y pueden ser percibidos de manera directa o indirecta (MEA, 2003); (Lhoest, y otros, 2020). (Galicia & Zarco-Arista, 2014); (Monárrez-González, Pérez-Verdín, Márquez-Linares, & González-Elizondo, 2018) y (Guerra De la Cruz, y otros, 2022) identifican particularmente para los bosques templados de México diversos servicios ecosistémicos, clasificándolos en cuatro categorías: provisión (alimentos, agua, madera, recursos químicos, recursos genéticos y bioenergía), regulación (regulación climática, flujo de agua, purificación de contaminantes del aire, prevención de erosión del suelo, deslizamientos de tierra, captura de carbono), servicios culturales (comunitarios, recreativos, educativos) y de apoyo al hábitat (producción primaria, formación de suelo).

Los servicios obtenidos de la biodiversidad son bienes que se adquieren y se desarrollan de forma natural en bosques y selvas (Balvanera & Cotler, 2007) (Montes, 2007), se obtienen de la extracción individual (Lhoest, y otros, 2020) (Assessment, 2033) de recursos forestales maderables (madera y sus derivados), recursos forestales no maderables (RFNM) (Wong & Thornber, 2001) (López de la Cruz, Gómez y Gómez, Sánchez Cortés, Junghans, & Martínez Jímenez, 2015); (Anastasio-Martínez, Franco-Maass, Valtierra-Pacheco, & Nava-Bernal, 2016), o de unidades de manejo de vida silvestre (Balvanera & Cotler, 2007).

Para la (FAO, 2024), los RFNM también denominados beneficios forestales, están conformados por bienes de origen biológico, derivados de bosques, selvas y otras áreas forestales, pueden recolectarse en forma silvestre, permiten satisfacer diversas necesidades humanas y son utilizados de diferentes maneras por las comunidades aledañas al ecosistema (FAO, 2024).

Entre los bienes derivados de los RFNM pueden obtenerse aceites esenciales y aromas (Usano-Alemany, Paúl, & Díaz, 2014); plantas tóxicas, estimulantes e insecticidas naturales (Aguirre Mendoza & Aguirre Mendoza, 2021); látex y resinas (Quiroz Carranza & Magaña Alejandro, 2015); tierra de monte (Tapia-Tapia & Reyes-Chilpa, 2008); plantas tintóreas (Alban-Castillo, Espinoza, Rojas, & Diaz-Santoibañez, 2018); (CETZAL-IX, NOGUERA-SAVELLI, & ZÚÑIGA-DÍAZ, 2018); fibras (Ardanuy Raso & Capdevila Juan, 2011); utensilios, herramientas y materiales de construcción (Aguirre Mendoza & Aguirre Mendoza, 2021) forrajes (Pineda, Jumbo, Fernandez, & Jaramillo, 2019); plantas ornamentales (Téllez-Velasco, 2017); materias primas para la elaboración de artesianas (White-Olascoaga, Chávez-Mejía, Garcia-Mondragón, & Michua-Hernández, 2023), así como plantas utilizadas en la medicina tradicional (Avila-Uribe, García-Zarate, Sepulveda-Barrera, & Godinez-Rodriguez, 2016); (Hernández-Ramírez, y otros, 2022).

Si bien los servicios ecosistémicos tienen un papel preponderante como satisfactores de necesidades básicas en comunidades rurales; los recursos alimentarios son fundamentales para cubrir requerimientos de la dieta diaria, los cuales son “gratuitos” debido a que sólo se deben recolectarlas es el caso de hongos (Lara-Vazquez, Romero-Contreras, & Burrola-Aguilar, 2013), quelites (Balcázar-Quiñones, White-Olascoaga, Chavez-Mejia, & Zepeda-Gomez, 2020); (Viesca-Gonzalez, Alvarado-Carrillo, & Quintero-Salazar, 2022), frutos (Guadarrama Martínez, Chávez Mejía, Rubí Arriaga, & White Olascoaga, 2020), y artrópodos comestibles (Victoria Morales, White-Olascoaga, Chávez Mejía, & Moctezuma Pérez, 2022). Así como diversos tipos de agaves para la producción de bebidas alcohólicas (Aguirre Mendoza & Aguirre Mendoza, 2021). Incluso algunos autores incluyen a la caza y la pesca, como RFNM y como actividades importantes que en conjunto garantizan la seguridad alimentaria en poblaciones rurales campesinas e indígenas (Ortiz Gómez, Vázquez García, & Montes Estrada, 2005); (Fa, Farfán Aguilar, Márquez Moya, Duarte Duarte, & Vargas Yañez, 2013).

La seguridad alimentaria y nutricional se han vinculado al conjunto de procesos productivos que definen la economía de subsistencia en comunidades campesina e indígenas (Espinosa de la Mora, 2017). El arraigo cultural, la obtención y uso de RFNM con fines alimenticios y la coexistencia con la agricultura, la caza y pesca, son una necesidad real para la satisfacción de necesidades primarias. Durante miles de años estas actividades han sido parte de una estrategia del uso diversificado de los recursos naturales en comunidades rurales (Espinosa de la Mora, 2017).

En México, las comunidades indígenas y campesinas desde la época prehispánica han basado y combinado su dieta diaria con actividades como la agricultura de autoconsumo, la recolección, la

caza y pesca en el medio que les rodea (León-Merino, y otros, 2017). En el Estado de México se han reportado estudios en comunidades originarias de pueblos Otomíes y Matlazincas.

En las comunidades otomíes de Jiquipilco el viejo (Monroy Gómez, Ricardo; Moctezuma Pérez, Sergio; Chávez-Mejía, Cristina; Vizcarra Bordi, Ivonne, 2016) identificaron diversas plantas medicinales utilizadas por la comunidad, éstas son recolectadas en el bosque y orillas de los ríos, cuando son utilizadas, esto debido a que los autores mencionan "las prefiere frescas".

(Balcázar-Quiñones, White-Olascoaga, Chavez-Mejia, & Zepeda-Gomez, 2020) reportan al menos 20 especies vegetales que son recolectan en el bosque con uso medicinal y alimenticio, en San Pedro Arriba, Municipio de Temoaya (Victoria Morales, White-Olascoaga, Chávez Mejía, & Moctezuma Pérez, 2022), mencionan el uso de 11 artrópodos comestibles en la comunidad. En estos casos se evidencia el valor ecosistémico (cultural, alimentario y de aprovisionamiento) que tienen los RFNM entre las comunidades otomíes.

(Granados-Flores & Pérez-Ramírez, 2010) recopilaron recetas en San Francisco Oxtotilpan (comunidad matlazinca), reportando que el sistema alimentario de la comunidad se ha basado esencialmente en el maíz, sin embargo; se complementa mediante la recolección de RFNM como, quelites, hongos y frutos.

Actualmente el grupo otomí es el segundo más numeroso en el estado de México, y posiblemente uno de los más antiguo con más de 3,000 años (Lara-Vazquez, Romero-Contreras, & Burrola-Aguilar, 2013); (COESPO, 2018). Por otra parte, los matlazincas o los señores de la red se establecieron en la zona lacustre del Valle de Toluca. Son un grupo reducido dentro del estado de México, ocupando el 4to lugar en cuanto a número personas identificadas dentro de algún grupo indígena con 0.41%.

Existen diversos enfoques bajo los cuales se han estudiado los servicios ecosistémicos. Sería muy complejo abordar un análisis que incluya todos los aspectos conceptuales, definiciones, tipologías, enfoques y estudios de caso, dentro de los cuales la obtención de estos recursos puede ser incluido (Balvanera & Cotler, 2007). Se realiza un análisis fundamentado en cuatro perspectivas propuestas por (Balvanera & Cotler, 2007), donde consideran, que los productos forestales no maderables con importancia económica, incluyendo a las plantas vasculares medicinales, los vertebrados silvestres útiles y los insectos comestibles. Nuestro objetivo es dar a conocer la diversidad de quelites, artrópodos y la caza de especies menores como RFNM recolectados para la alimentación en bosques de las comunidades de San Francisco Oxtotilpan y San Pedro de Arriba, Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El estudio se realizó cabo en dos comunidades del Estado de México, la primera San Pedro Arriba (19° 28' 07'' N y 99° 35' 36'' O) en el municipio de Temoaya, principal comunidad otomí dentro del estado de México, así como por ser la ubicación del Centro Ceremonial Otomí. Su población es de 105,766 habitantes, 19,321 son hablantes de la lengua otomí (Temoaya, 2022). Ubicada dentro de la sierra Monte Alto, es la segunda comunidad más poblada del municipio (7,476 habitantes). Tiene una elevación máxima de 3,800 msnm y su clima es templado subhúmedo y semifrío subhúmedo con lluvias en verano (Acle-Tomasini, 2003); (Arzate, 2018); (INEGI, 2009), con una temperatura media anual de 6 a 14°C y precipitación de 900 a 1,300 mm. La vegetación predominante es bosque de *Pinus*, *Quercus* y *Abies* religiosa; sobresaliendo en las partes bajas *Salix* y *Buddleja* (Arzate, 2018) La superficie con uso agrícola es del 66% mientras que el 34% restante pose un uso forestal, pecuario y urbano (Arzate, 2018). La economía se basa en la agricultura con el cultivo de maíz y en el comercio predomina la venta de frutos, hongos, insectos y quelites de temporada, así como animales domésticos y artesanías (Arzate, 2018), (Lara-Vazquez, Romero-Contreras, & Burrola-Aguilar, 2013), (Monroy Gómez, Ricardo; Moctezuma Pérez, Sergio; Chávez-Mejía, Cristina; Vizcarra Bordi, Ivonne, 2016).

Núm. 61: 101-114 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

La segunda comunidad es San Francisco Oxtotilpan (18°59′ y 19°14′ y 99° 49′ y 100° 14′ O) pertenece al municipio de Temascaltepec (Acle-Tomasini, 2003); (Arzate, 2018); (INEGI, 2020a); con 37,383 habitantes, 1,214 son población Matlazinca. Se menciona a esta comunidad como el último poblado matlatzinca del país, lo que la convierte en un centro crucial para la preservación de su cultura, lengua y tradiciones (INEGI, 2020b). La comunidad se localiza en la parte baja del Nevado de Toluca, su territorio tiene 2, 107 ha, de las cuales del 98% son áreas forestales con una vegetación de tipo bosque de *Pinus* y *Abies religiosa* y forman partes de tres áreas naturales protegidas (Área natural protegida Nevado de Toluca, Área de protección de recursos naturales Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec y el área protegida estatal Santuario del Agua Corral de Piedra) (De la Cruz-Hernández, Avila- Akerberg, Rivera-Herrejón, & Vizcarra-Bordi, 2016) (Fig 1.). Las principales actividades económicas de la comunidad son el aprovechamiento de los recursos forestales y agricultura, con el cultivo de maíz y habas a los que actualmente se le suman la prestación de servicios turísticos (De la Cruz-Hernández, Avila- Akerberg, Rivera-Herrejón, & Vizcarra-Bordi, 2016).

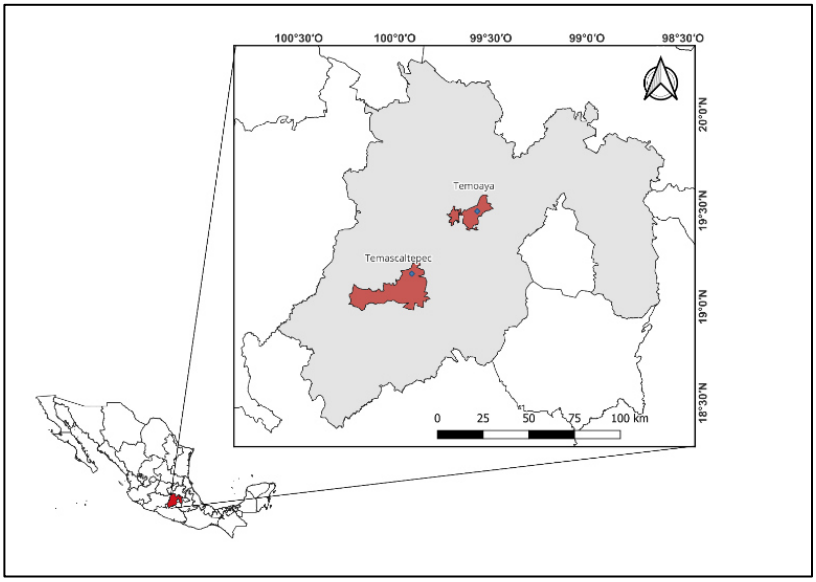


Figura 1. Ubicación de las comunidades de estudio.
Figure 1. Location of the study community.

La investigación se realizó durante los años 2022 a 2024, identificándose los servicios ecosistémicos de provisión obtenidos a partir de los Recursos Forestales No Maderables (RFNM).

Conocimiento tradicional de quelites, artrópodos comestibles y animales silvestres

Para conocer diversidad de quelites y artrópodos comestibles en la comunidad de San Pedro Arriba, se aplicaron entrevistas semiestructuradas a las personas que consumían y/o vendían estos recursos en el tianguis y eran hablantes de la lengua indígena. Lo anterior permitió la localización de 15 informantes clave de artrópodos comestibles, siete mujeres y ocho hombres de entre 30 y 60 años. Así como 80 personas que vendían o conocían del uso de los quelites, 52 mujeres y 28 hombres de entre 25 a 60 años.

En la comunidad de San Francisco Oxtotilpan la investigación se llevó a cabo entrevistando a 30 informantes clave 24 mujeres y seis hombres de las de 50 años, conocedores del uso de quelites y artrópodos; así como del consumo de pequeñas especies. La diversidad de quelites y artrópodos se realizó mediante recorridos guiados por informantes en los bosques aledaños a las comunidades en temporada de lluvias, una vez por mes. Durante los trayectos se obtuvo un listado

de las especies identificadas en el momento por los informantes (Molina, 2000); (Alvarado, 2004).
Durante los recorridos se colectaron ejemplares de quelites y artrópodos indicados con alguna forma de uso. Las colectas de ejemplares botánicos se realizaron siguiendo la metodología propuesta por (Cunninghma, 2001) y (Bano, y otros, 2014), las especies fueron nombradas de acuerdo con las normas internacionales y corroboradas en la plataforma WFO (https://wfoplantlist.org/) y depositadas en el herbario de la facultad de Ciencias de la UAEMex.
Las recolecta de artrópodos se llevaron a cabo con la metodología de (Ramos-Elorduy, Landero-Torres, Murguía-González, & Pino, 2008) y (Victoria Morales, White-Olascoaga, Chávez Mejía, & Moctezuma Pérez, 2022).
Por medio de la observación participante en las comunidades de estudio se obtuvieron los nombres en otomí de los RFNM que los informantes mencionaron; así como también aquellos recursos que por diferentes motivos los informantes ya no consumen denominados de añoranza.

RESULTADOS

Quelites

Los quelites son un RFNM de importancia alimenticia para las comunidades indígenas de San Pedro de Arriba y San Francisco Oxtotilpan. De las visitas realizadas a los bosques templados de *Pinus* aledaños a las comunidades, se identificaron 24 especies de quelites, pertenecientes a 24 géneros y 17 familias. La localidad Otomí de San Pedro de Arriba presentó 22 especies, 22 géneros y 16 familias. Mientras que en la comunidad matlatzinca de San Francisco Oxtotilpan fue de 11 especies, 11 géneros y 9 familias.
En la población otomí existe una mayor relación entre la comunidad y su medio, esto se ve reflejado en el uso y consumo de quelites, al identificarse el doble de especies utilizadas provenientes del bosque (22) con respecto a la población matlazinca (11), esto podría deberse a la influencia de nuevas prácticas y hábitos alimentarios que vulneran los recursos alimentarios locales.
Las familias Apiaceae y Asteraceae agruparon el 26% de las especies utilizadas con tres especies y tres géneros, *Berula erecta* (Palma / berros), *Cotula mexicana* (Quelite de conejo) y *Lilaeopsis schaffneriana var. Schaffneriana* (Cilantro de agua/perejil). Mientras que las familias Montiaceae, Brassicaceae, Amaranthaceae (dos especies y dos géneros respectivamente) correspondiente al 24% con quelites como, *Calandrinia micrantha (*Chivatitos), *Rorippa nasturtium-aquaticum (*Berros / Cresón) y *Amaranthus hybridus (*Quintonil rayado). El resto de las familias (50%) se registró únicamente una especie (Tabla 1).
La forma es predominantemente herbácea (96%; 23 especies y 16 familias), el 4% restante corresponde a *Quercus mexicana* (flor del árbol de encino). En cuanto al hábitat en que se desarrollan los quelites recolectados (Tabla 1), el 50% de las especies se encuentra hábitats terrestres dentro del bosque (12 especies), el 33% son acuáticos presentes en cuerpos de agua generalmente ríos (ocho especies) y para San Francisco Oxtotilpan, cuatro especies son obtenidas en un área denominada besanas, las cuales son áreas del primer surco que se abre en la tierra cuando se empieza a arar.
En las comunidades de estudio el 69.23% de los entrevistados menciono consumir las hojas; mientras que el 15.38% dijo consumir toda la planta. Las flores se consumen en una proporción menor (15.38%) en las flores de *Agave salmiana,* las inflorescencias del encino *Quercus mexicana,* y las de chivatitos y paletaria de monte *(Calandrinia micrantha y Claytonia perfoliata,* respectivamente) (Tabla 1).
Cabe resaltar a *Phytolacca icosandra* L. (tinta /capulín de la bruja, jaboncillo), quelite que se recolecta en la comunidad otomí de San Pedro del Alto con un consumo de las hojas tiernas. En la comunidad de San Francisco Oxtotilpan, el uso de esta planta como quelite ya se olvidó. Igualmente, en la comunidad de San Pedro el Alto las flores masculinas de los encinos (*Quercus mexicana,)* ya no son utilizadas como quelite.

Table 1. List of quelites consumed in the communities of San Pedro Arriba and San Francisco Oxtotilpan
Tabla 1. Lista de quelites consumidos en las comunidades de San Pedro Arriba y San Francisco Oxtotilpan

Nombre común	Nombre científico	Partes comestibles	Hábitat	Forma de vida	Comunidad
Amaranthaceae					
Quintonil rayado	*Amaranthus hybridus* L	Hojas tiernas	Terrestre / Besanas	Herbácea	San Pedro el Alto. San Francisco Oxtotilpan
Romeritos	*Suaeda torreyana* S. Watson	Hojas tiernas	Terrestre / Besanas	Herbácea	San Pedro el Alto. San Francisco Oxtotilpan
Amaryllidaceae					
Ajillo	*Allium kunthii* G. Don	Hojas tiernas	Terrestre	Herbácea	San Pedro el Alto
Apiaceae					
Palma / berros	*Berula erecta* (Huds.) Coville	Hojas tiernas y tallos	Cuerpos de agua	Herbácea	San Pedro el Alto
Cilantrillo de monte	*Eryngium bonplandii* Delar. f.	Hojas tiernas	Terrestres	Herbácea	San Pedro el Alto
Cilantro de agua/perejil	*Lilaeopsis schaffneriana* var. *schaffneriana* (Schltdl.) J.M. Coult. & Rose	Hojas tiernas	Cuerpos de agua	Herbácea	San Pedro el Alto
Araliaceae					
Berros	*Hydrocotyle ranunculoides* L. f.	Hojas tiernas	Cuerpos de agua	Herbácea	San Pedro el Alto. San Francisco Oxtotilpan
Asparagaceae					
Flor de maguey, platanitos	*Agave salmiana* Otto ex. Salm-Dyck	Flores	Terrestres	Herbácea	San Pedro el Alto
Asteraceae					
Jara	*Bidens laevis* (DC.) Sherff	Hojas tiernas y tallos	Cuerpos de agua	Herbácea	San Pedro el Alto
Quelite de conejo	*Cotula mexicana* Hemsl.	Toda la planta	Cuerpos de agua	Herbácea	San Pedro el Alto
Cilantrillo de monte/ Quelite de San José	*Senecio toluccanus* DC.	Hojas tiernas	Terrestres	Herbácea	San Pedro el Alto
Brassicaceae					
Corazones/ Nabos	*Brassica rapa* L.	Hojas tiernas y tallos	Terrestre/ Besanas	Herbácea	San Pedro el Alto San Francisco Oxtotilpan
Berros / Cresón	*Rorippa nasturtium-aquaticum* (L.) Schinz & Thell.	Toda la planta	Cuerpos de agua	Herbácea	San Pedro el Alto San Francisco Oxtotilpan
Caryophyllaceae					
Paletaria	*Stellaria media* (L.) Vill.	Toda la planta	Terrestres	Herbácea	San Francisco Oxtotilpan
Fabaceae					
Trébol	*Medicago polymorpha* L.	Hojas tiernas	Terrestre / Besanas	Herbácea	San Pedro el Alto San Francisco Oxtotilpan

Nombre común	Nombre científico	Partes comestibles	Hábitat	Forma de vida	Comunidad
Fagaceae					
Flor de encino/ encino blanco	*Quercus mexicana* Humb. & Bonpl.	Flores	Terrestres	Arborescente	San Pedro el Alto
Juncaginaceae					
Cilantro de agua / cola de pato	*Lilaea scilloides* (Poir.) Hauman	Toda la planta	Cuerpos de agua	Herbácea	San Pedro el Alto
Montiaceae					
Chivatitos	*Calandrinia micrantha Schltdl.*	Hojas tiernas, tallos y flores	Terrestres	Herbácea	San Francisco Oxtotilpan
Paletaria de monte	*Claytonia perfoliata* Donn. ex Willd.	Hojas tiernas, tallos y flores	Terrestres	Herbácea	San Pedro el Alto
Oxalidaceae					
Palmita	*Oxalis nelsonii* (Small) R. Knuth	Hojas tiernas y tallos	Terrestres	Herbácea	San Pedro el Alto San Francisco Oxtotilpan
Phrymaceae					
Quelite de sapo	*Mimulus glabratus* Kunth.	Hojas tiernas y tallos	Cuerpos de agua	Herbácea	San Pedro el Alto
Phytolaccaceae					
La tinta / capulín de la bruja jaboncillo	*Phytolacca icosandra* L.	Hojas tiernas	Terrestres	Herbácea	San Pedro el Alto San Francisco Oxtotilpan
Solanaceae					
Papa silvestre cimarrón	*Solanum demissum* Lindl.	Hojas tiernas	Terrestres	Herbácea	San Pedro el Alto San Francisco Oxtotilpan
Urticaceae					
Ortiguilla	*Urtica dioica* L.	Hojas tiernas y tallos	Terrestres	Herbácea	San Pedro el Alto

Artrópodos comestibles

La recolecta y consumo de artrópodos por comunidades campesinas e indígenas forma parte del conocimiento tradicional de los RFNM. Se identificaron 10 especies de artrópodos pertenecientes a las clases Insecta y Malacostraca (una familia y una especie). Los insectos fueron clasificados en seis órdenes, Lepidóptera y Coleóptera son los más abundantes con tres especies (33.3%), el resto de los órdenes (Orthoptera, Hymenoptera y Odonata) solo tuvo una especie cada una, al igual que Decápoda (clase malacostarca) (Tabla 2). De los artrópodos colectados el 75% son terrestres y el 25% acuáticos como *Cambarellus* sp. (acociles) y *Aeshna* sp (padrecitos).

Table 2. List of edible arthropods consumed in the communities of San Pedro Arriba and San Francisco Oxtotilpan
Tabla 2. Lista de Artrópodos comestibles consumidos en las comunidades de San Pedro Arriba y San Francisco Oxtotilpan

Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	Fase de ingesta	Comunidad
Lepidoptera					
	Hesperiidae	*Aegiale hesperiaris*	Gusano de maguey	Larva	San Pedro el Alto San Francisco Oxtotilpan
	Hepialidae	*Phassus triangularis*	Gusano de tepozán/	Larva	San Pedro el Alto San Francisco Oxtotilpan

Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	Fase de ingesta	Comunidad
			Gusano de la jarilla		
	Saturniidae	*Hylesia nigricans*	Sacamiche	Larva	San Pedro el Alto
Coleoptera					
	Cerambycidae	*Mallodon spinosus*	Gusano de madera/ Gusano del ocote	Larva	San Pedro el Alto San Francisco Oxtotilpan
	Elateridae	*Agriotes lineatus*	Gusano de tierra	Larva	San Pedro el Alto
	Curculionidae	*Scyphophorus acupunctatus*	Chicuil	Larva	San Pedro el Alto
Hymenóptera	Apidae	*Apis* sp.	Abeja	Larva	San Pedro el Alto
Orthoptera	Pyrgomorphidae	*Sphenarium* sp.	Chapulines	Adulto	San Pedro el Alto
Odonata	Aeshnidae	*Aeshna* sp.	Padrecito	Larva (acuática)	San Pedro el Alto
Decapoda	Cambaridae	*Cambarellus* sp.	Acociles	Adulto (acuática)	San Pedro el Alto

En ambas comunidades es común escuchar relatos de los adultos mayores sobre el uso de ciertas especies que se consumían hace tiempo y actualmente se ha abandonado. En San Pedro es el caso de las agallas de encino, que son malformaciones de las ramas ocasionadas por el depósito de huevos de algunas especies de avispas, y en Francisco el consumo de la mariposa Monarca (*Danaus plexippus*) en su fase adulta.
La diversidad de artrópodos recolectadas y consumidas es mayor en San Pedro el Alto que en San Francisco; lo cual evidencia un mayor conocimiento sobre su entorno en la región otomí. Además de la importancia alimentaria del recurso, dado que los artrópodos recolectados cumplen un rol importante en el complemento de la dieta diaria de las familias.

Animales silvestres
Durante los recorridos realizados en la comunidad de San Pedro el Alto y la observación participante, los informantes señalaron que hace aproximadamente más de 40 años la caza de especies menores ayudaba a la alimentación diaria. Mencionaron con nostalgia y añoranza la caza de conejos, ardillas y amadillos en los bosques aledaños a la comunidad, así como aves, por ejemplo, palomas y gorriones, los cuales eran cazados en la comunidad en lugares avientos. Esta actividad ha sido sustituida paulatinamente por la crianza de animales de traspatio como cerdos, pollos o guajolotes.

DISCUSIÓN

Los Servicios Ecosistémicos de Provisión (SEP) son importantes para las comunidades rurales alrededor del mundo, particularmente la recolección de RFNM de tipo alimentario, les ayuda a complementar su dieta diaria. La (FAO, 2024), señala que la economía en muchos países, por ejemplo, de Latinoamérica y el Caribe, está basada en el conocimiento tradicional de los RFNM de su entorno, denominándola "bioeconomía"; la cual tiene el potencial necesario para revertir la pobreza y la desigualdad en el campo (Gobierno de México, 2023).
(Modi & Trivedi, 2023) en su trabajo sobre RFNM en la India, los define como como "recursos para la seguridad alimentaria, incluyendo aquí a miel, hongos, frutos y nueces comestibles, hierbas y rizomas", mencionado su importancia en la economía rural. La (FAO, 2024) menciona que en muchos países de América Latina estos SEP pueden también apoyar los esfuerzos para

enfrentar el hambre, la inseguridad alimentaria, así como el sobrepeso y la obesidad, principalmente en niños y mujeres. En las comunidades de estudio la recolección de 24 especies de quelites y ocho de artrópodos ayuda a complementar la dieta diaria de las familias.

La trascendencia de los SEP para las comunidades se hace evidentes también en autores como (Rodríguez-Echeverry, Echeverría, Oyarzún, & Morales, 2017) quienes mencionan como la biodiversidad y los servicios ecosistémicos poseen una estrecha relación en los ecosistemas en Chile; mientras que (Meinhold & Darr, 2019) realizaron una revisión bibliográfica, indicado la importancia que los RFNM y SEP en la economía, la diversificación de los medios de vida, la autoestima de los productores y la seguridad alimentaria de comunidades campesinas e indígenas. En México esta riqueza biocultural de SEP y RFNM permite a las familias de comunidades rurales y de los pueblos originarios de México el acceso a una alimentación durante todo el año (Ortiz Gómez, Vázquez García, & Montes Estrada, 2005); (Zizumbo Villarreal & García Marín, 2008); (León-Merino, y otros, 2017). Esto se hace presente, por ejemplo, en la recolección de hongos (Lara-Vazquez, Romero-Contreras, & Burrola-Aguilar, 2013); quelites (Balcázar-Quiñones, White-Olascoaga, Chavez-Mejia, & Zepeda-Gomez, 2020); (Viesca-Gonzalez, Alvarado-Carrillo, & Quintero-Salazar, 2022), frutos silvestres (Guadarrama Martínez, Chávez Mejía, Rubí Arriaga, & White Olascoaga, 2020)y artrópodos (Victoria Morales, White-Olascoaga, Chávez Mejía, & Moctezuma Pérez, 2022).

Los resultados del presente trabajo evidencian que en ambas comunidades el uso y recolección de plantas (quelites) e insectos aún forma parte de sus usos y costumbres. Sin embargo, en San Pedro Arriba el conocimiento sobre el uso de los quelites e insectos es mayor a los utilizados en San Francisco.

Desde el desarrollo de la agricultura, hace aproximadamente 10 000 años, fue muy valiosa en México (Castro-Lara, Basurto-Peña, Mera-Ovando, & Bye-Roettler, 2011). Diversos autores mencionan que cerca de 500 especies de quelites son recolectadas y consumidos en el país (Bye & Linares, 2000) otros datos estiman entre 244 (Basurto-Peña, 2011) y 200 especies (Castro-Lara, Basurto-Peña, Mera-Ovando, & Bye-Roettler, 2011). En la porción centro-sur del territorio mexicano, los quelites se muestran con aproximadamente entre 81 y 119 especies (Linares & Bye, 2015).

Los números de especies antes mencionados hacen referencia tanto a quelites de ecosistemas cálido-húmedos como en templado-fríos, y en diferentes ambientes, milpas, huertos familiares, así como ruderales y arvenses (Castro-Lara, Basurto-Peña, Mera-Ovando, & Bye-Roettler, 2011); (Balcázar-Quiñones, White-Olascoaga, Chavez-Mejia, & Zepeda-Gomez, 2020). Se puede señalar que, en los bosques templados de la zona de estudio, con base (Castro-Lara, Basurto-Peña, Mera-Ovando, & Bye-Roettler, 2011), el 1.2% de los quelites son recolectados en estos ecosistemas a nivel nacional. Sin embargo, con base en (Linares & Bye, 2015), aproximadamente entres 29.62% y el 20.16%.

Estos porcentajes son poco comparables con los reportes de otras zonas donde se muestran 68 especies ubicadas tanto en los mercados como en milpas y zonas boscosas (Balcázar-Quiñones, White-Olascoaga, Chavez-Mejia, & Zepeda-Gomez, 2020). Sin embargo, en la misma región otomí (Monroy Gómez, Ricardo; Moctezuma Pérez, Sergio; Chávez-Mejía, Cristina; Vizcarra Bordi, Ivonne, 2016), muestra a 19 especies de quelites, datos equiparables a los obtenidos en el presente trabajo de 22 especies.

Otro SEP muy importantes para las comunidades originaria del país es la recolecta y consumo de artrópodos, los cuales constituye una tradición milenaria que forma parte de su identidad, así como un vínculo entre las familias, su cultura, tradiciones y los ecosistemas aledaños a ellas. Este manejo del entorno permite combinar el cultivo de la milpa, con la recolección de artrópodos en ciertas épocas del año (Pieroni, Pawera, & Mujtaba, 2016); (Victoria Morales, White-Olascoaga, Chávez Mejía, & Moctezuma Pérez, 2022).

Distintos autores indican que para México la recolección de insectos con fines de alimentación es muy importante. (Puga & Escoto, 2015) obtienen para Aguascalientes 32 especies de artrópodos comestibles. Para el sur del país, (López de la Cruz, Gómez y Gómez, Sánchez Cortés, Junghans, & Martínez Jímenez, 2015) para el estado de Chiapas reportan seis insectos comestibles tres lepidópteros, un ortóptero, un coleóptero y un hemíptero. (Rivas-García, y otros,

Núm. 61: 101-114 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

2017) en Yucatán muestran tres himenópteros de uso alimenticio para la comunidad, en el presente trabajo solo se presentó uno, las larvas de *Api*s sp.

Los resultados de (López de la Cruz, Gómez y Gómez, Sánchez Cortés, Junghans, & Martínez Jímenez, 2015) son semejantes a los obtenidos en el presente trabajo de 10 especies de artrópodos; superando también los datos de (Rivas-García, y otros, 2017), pero por debajo de los de Puga y Escoto (2015) de 32 especies de artrópodos en el estado de Aguascalientes.

En el estado de México los autores mencionan la presencia de 16, 11 y 10 especies de insectos comestibles en cuatro municipios del estado, incluyendo Toluca y Temoaya (Ramos-Elorduy & Pino, 1989), (Juárez, Ramos-Elorduy, & Pino, 2012) y (Victoria Morales, White-Olascoaga, Chávez Mejía, & Moctezuma Pérez, 2022). Registrando para la localidad de Temaoya, insectos como sacamiches, chapulines, padrecitos, gusanos blancos, de maguey y los gusanos de los palos. Estos porcentajes son comparables con los obtenidos en la presente investigación: ocho especies, siete insectos y un crustáceo. Entre los cuales predomina el uso de lepidópteros en fase larvaria.

Al comparar los recursos utilizados en las comunidades de San Pedro Arriba y San Francisco con los reportados por otros autores, la pérdida del conocimiento gastronómico es evidente. Los informantes en la comunidad otomí señalan que en tiempos pasados se comían las agallas de los encinos (*Amphibolips* sp.), SEP utilizado en la comunidad Tlaihuica, Estado de México el cual es denominado como toronjas, siendo de suma importancia para la comunidad nombrándolo una bendición que les da el monte en Semana Santa (Flores-Mercado, Pujade-Villar, & Rangel-Villafranco, 2019).

Otro SEP en la comunidad de San Francisco Oxtotilpan (según los informantes), es el consumo de los artrópodos en general, como el gusano del ocote, el de la jarrilla y el del maguey, practicas alimenticias que se encuentran vulnerables al cambio de nuevos hábitos alimenticos y se están perdiendo. Un SEP que la población adulta menciono consumían en su niñez fue la mariposa monarca.

Es bien sabido que la mariposa monarca es tóxica (Honey-Roses, Baylis, & Ramirez, 2011), sin mencionar que, en una especie en peligro de extinción, Sin embargo, (Taibo, 2012) en su libro “Encuentro de dos fogones” menciona su uso en la alimentación.

También desde los tiempos viejos se comen en México las flores que vuelan: las mariposas. Llegan por millones al país desde el Canadá y se reúnen en los bosques de Michoacán en donde celebran se fiesta de bodas. Es un espectáculo impresionante y bellísimo. Se trata de la variedad llamada “Monarca”, a la que se le quitan las alas y se pasa por el comal. Sin embargo, estos singulares alimentos ya no se pueden conseguir, porque la mariposa “Monarca” está protegida por ley.

Por otra parte (García, 2011) en su libro de “Cocina Prehispánica Mexicana”, también hace mención de que en la época prehispánica los …indígenas comieron las mariposas, desprovistas de alas, patas y antenas…. Sin embargo, no dice que tipo de mariposas comían.

CONCLUSIONES

La presente investigación reveló que la comunidad otomí de San Pedro Arriba y matlazinca de San Francisco Oxtotilpan aprovechan 24 especies de quelites y ocho especies de artrópodos para complementar su dieta diaria. Estos hallazgos destacan la importancia de los conocimientos tradicionales en la recolección y consumo de los RFNM obtenidos de su entorno. Además, se identificó que la caza de pequeñas especies era una práctica común en el pasado para complementar la dieta en la comunidad matlazinca; sin embargo, en la actualidad, los quelites y artrópodos siguen siendo fundamentales en la alimentación de estas comunidades. Es crucial fomentar y preservar estos conocimientos tradicionales antes de que se pierdan, ya que representan una rica fuente de sabiduría ancestral y biodiversidad.

AGRADECIMIENTOS

A la comunidad de San Pedro Arriba y San Francisco Oxtotilpan por permitir y colaborar en la presente investigación realizada en su bosque. A la Biól. María Clara Rosas Gutiérrez por la elaboración del mapa de ubicación de las zonas de estudio y la corrección de estilo. Los autores agradecen también a Ana Balcazar-Quiñones, Karen Alberto Jiménez, María del Rosario Sandoval Ángeles y J. Daniel Victoria-Morales; la Investigación fue realizada con el apoyo del Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología COMECYT (Proyecto 37 "Recursos alimenticios en los pueblos indígenas del Estado DE México") y de la Universidad Autónoma del Estado de México UAEMEx (6835/2023E).

LITERATURA CITADA

Acle-Tomasini, G. (2003). Ecología de la educación en Temoaya. *Nueva Antropología*, 29-53.

Aguirre Mendoza, Z., & Aguirre Mendoza, L. (2021). Estado actual e importancia de los Productos Forestales No Maderables. *Bosques Latitud Cero*.

Alban-Castillo, J., Espinoza, G., Rojas, R., & Diaz-Santoibañez, C. (2018). El color en la memoria: Tintes vegetales usados en la tradición de las comunidades andinas y amazónicas peruanas. . *Ecología Aplicada*, 85-96.

Alvarado, R. (2004). *Conocimiento y consumo de quelites en una comunidad nahua de la Sierra de Puebla México.* México: Tesis profesional. Escuela de Biologia, Benemerita Universidad Autónoma de Puebla.

Anastacio-Martínez, N., Franco-Maass, S., Valtierra-Pacheco, E., & Nava-Bernal, G. (2016). Aprovechamiento de productos forestales no maderables en los bosques de montaña alta, centro de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*.

Ardanuy Raso, M., & Capdevila Juan, F. (2011). Fibras procedentes de recursos renovables: una oportunidad para innovar y mejorar la competitividad. *Revista de química e industria textil*, 24-29.

Arzate, J. (2018). *Temoaya, Historia y tiempo presente.* México: Christian Bueno.

Assessment, M. E. (2033). *Ecosistemas y Bienestar Humano: Marco para la Evaluación.*

Avila-Uribe, M. M., García-Zarate, S. N., Sepulveda-Barrera, A. S., & Godinez-Rodriguez, M. A. (2016). Plantas medicinales en dos poblados del municipio de San Martín de las Pirámides, Estado de México. *Polibotánica*, 215-245.

Balcazar-Quiñones, A., White-Olascoaga, L., Chavez-Mejia, C., & Zepeda-Gomez, C. (2020). Los quelites: riqueza de especies y conocimiento tradicional en la comunidad otomí de San Pedro Arriba, Temoaya, Estado de México. *Polibotánica*, 219-242.

Balvanera, P., & Cotler, H. (2007). Acercamiento al estudio de los servicios ecosistemicos . *Gaceta Ecológica*, 8-15.

Bano, A. M., Hadda, T. B., Saboor, A., Sultana, S., Zafar, M., & Ashraf, M. A. (2014). Quantitative ethanomedicinal study of plant used in the skardu valley at high altitude of Karahorma-Himalaya range, Pakistan. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 1-7.

Basurto-Peña, F. (2011). Los quelites de México: Especies de uso actual. En D. Castro-Lara, L. M. Mera-Ovando, & R. Bye, *Especies vegetales poco valoradas: una alternativa para la seguridad alimentaria* (págs. 11-14). México: UNAM.

Cetzal-Ix, W., Noguera-Savelli, E., & Zúñiga-Díaz, D. (2018). Plantas tintóreas y su uso en las artesanías de palma. *Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.*, 17-24.

COESPO. (2018). Población hablante de lengua indígena. *Agencia Digital del Estado de México*.

Cunninghma, A. (2001). *Applied ethnobotany, people, wild plant use and conservation.* London: Earthscan Publication.

De la Cruz-Hernández, J. A., Avila- Akerberg, V., Rivera-Herrejón, M., & Vizcarra-Bordi, I. (2016). Areas naturales prodegidas y sistema de uso común de recursos forestales en el nevado de Toluca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* , 24-42.

Espinosa de la Mora, D. M. (2017). Recursos del bosque y vulnerabilidad alimentaria: el caso de Llano del Higo, Jalisco, México. *Acta Sociológica*, 147-169.

Fa, J., Farfán Aguilar, M., Márquez Moya, A. L., Duarte Duarte, J., & Vargas Yañez, J. M. (2013). Reflexiones sobre el impacto y manejo de la caza de mamíferos silvestres en los bosques tropicales. *Ecosistemas*, 76-83.

FAO. (2024). *Gestión de productos forestales no madereros.*

Galicia, L., & Zarco-Arista, A. (2014). Multiple ecosystem services, possible trade-offs and synergies in a temperate forest ecosystem in Mexico: a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* .

Garcia, Z.-V. D. (2017). *Revista de Geografia Agrícola*, 33-46.

Granados-Flores, R., & Pérez-Ramírez, C. (2010). Alimentación tradicional y adaptaciones al mercado de San Francisco Oxtotilpan. *Culinaria Revista Virtual Especializada en Gastronomía*, 51-74.

Guadarrama Martínez, N., Chávez Mejía, M., Rubí Arriaga, M., & White Olascoaga, L. (2020). La diversidad biocultural de frutales en huertos familiares de San Andrés Nicolás Bravo, Malinalco, México. *Sociedad Y Ambiente*, 237-264.

Guerra De la Cruz, V., Buendía Rodríguez, E., Paredes, J., Islas Gutiérrez, F., Monárrez González, J., Flores Ayala, E., . . . Acosta Mireles, M. (2022). Investigaciones del INIFAP en manejo forestal y servicios ambientales de bosques templados mexicanos: evolución, logros y perspectivas. *Revista mexicana de ciencias forestales*.

Hernández-Ramírez, U., Trujillo-Nájera, M., Romero-Rosales, T., Huicochea Moctezuma, A., Adame Zambrano, T., & Gruintal-Santos, M. (2022). Percepción local de los usos y situación ambiental y económica del toronjil (Lamiaceae) en tres comunidades del estado de Guerrero, México. *Polibotánica*, 257-269.

INEGI. (2009). *prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos* . Mexico: Gobierno Mexicano.

INEGI. (2020a). *Censo de población y vivienda* . México: Gobierno Mexicano.

INEGI. (2020b). *Panorama sociodemografico de México.* México: Gobierno Mexicano.

Lara-Vazquez, F., Romero-Contreras, A. T., & Burrola-Aguilar, C. (2013). Conocimiento tradicional sobre los hongos silvestres en la comunidad otomí de San Pedro Arriba; Temoya, Estado de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 305-326.

León-Merino, A., Rivera-Peña, R., Hernández-Juárez, M., Sangerman-Jarquín, D. M., Jiménez-Sánchez, L., & Valtierra-Pacheco, E. (2017). Aprovechamiento de productos forestales no maderables en la comunidad Pensamiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3727-3740.

Lhoest, S., Fonteyn, D., Dainou, K., Delbeke, L., Doucet, J.-L., Dufrene, M., . . . Fayolle, A. (2020). Conservation value of tropical forests: Distance to human settlements matters more than management in Central Afri. *Biological Conservation*.

López de la Cruz, E., Gómez y Gómez, B., Sánchez Cortés, M., Junghans, C., & Martínez Jímenez, L. (2015). Insectos útiles entre los tsotsiles del municipio de San Andrés Larráinzar, Chiapas, México. *Etnobiologia*.

MEA. (2003). *Ecosistemas y Bienestar humano:Un marco para la evaluación.* Wold Resource Institute.

Molina, N. (2000). *Frecuencia y trasfencia de quelites en Zoatepec, Comunidad de la Sierra Norte de Puebla* . México: Tesis Profecional Facultad de Ciencias UNAM.

Monárrez-González, J., Pérez-Verdín, G., Márquez-Linares, M., & González-Elizondo, M. (2018). Efecto del manejo forestal sobre algunos servicios ecosistémicos en los bosques templados de México. *Madera y bosques*.

Monroy Gómez, Ricardo; Moctezuma Pérez, Sergio; Chávez-Mejía, Cristina;Vizcarra Bordi, Ivonne. (2016). Condiciones ambientales en el uso de plantas medicinales en una comunidad otomí de México. *Ambiente y Desarrollo*, 101-115.

Montes, C. (2007). Desarrollo sostenible a los servicios de los ecosistemas: . *Ecosistemas*, 1-3.

Ortiz Gómez, A. S., Vázquez García, V., & Montes Estrada, M. (2005). La alimentación en. *Estudios Sociales*, 8-34.

Recibido:
26/junio/2025

Aceptado:
5/diciembre/2025

Pineda, C., Jumbo, N., Fernandez, P., & Jaramillo, N. (2019). Productos forestales no maderables en cinco comunidades de la parroquia Manú, Saraguro, provincia de Loja. *Bosques Latitud Cero*, 46-27.

Quiroz Carranza, J., & Magaña Alejandro, M. (2015). Resinas naturales de especies vegetales mexicanas: usos actuales y potenciales. *Madera y bosques*.

López Camacho, R. (2008). *Productos forestales no maderables: importancia e impacto de su aprovechamiento.* Bogota Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Ramos-Elorduy, J., Landero-Torres, I., Murguía-González, J., & Pino, J. M. (2008). Biodiversidad antropoentomofágica de la región de Zongolica, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 303-316.

Salgado-Mora, M. G., Ibarra Núñez, G., Macías-Sámano, J. E., & López-Báez, O. (2007). Diversidad arbórea en cacaotales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia*, 763-768.

Simon Lhoest, D. F. (2020). Conservation value of tropical forests: Distance to human settlements matters more than management in Central Africa. *Biological Conservation*.

Tapia-Tapia, E., & Reyes-Chilpa, R. (2008). Productos forestales no maderables en México: Aspectos económicos para el desarrollo sustentable. *Madera y bosques*.

Téllez-Velasco, M. (2017). Importancia y aprovechamiento sustentable de productos forestales no maderables en bosques de niebla: estudio de caso en orquídeas. *Agro Productividad*, 46-53.

Temoaya. (2022). *Gaceta Plan de Desarrollo Municipal.* EStado de México.

Usano-Alemany, J., Paúl, J., & Díaz, S. (2014). Aceites esenciales: conceptos básicos y actividad. *Reduca*.

Victoria Morales, D., White-Olascoaga, L., Chávez Mejía, C., & Moctezuma Pérez, S. (2022). Antropoentomofagia en la comunidad otomí San Pedro Arriba, Temoaya, Estado de México. *Agricultura Sociedad y desarrollo*, 436-447.

Viesca-Gonzalez, F. C., Alvarado-Carrillo, D., & Quintero-Salazar, B. (2022). Los quelites en la ciudad de Toluca, México: su recolección, comercialización y consumo. *Estud. soc. Rev. aliment. contemp. desarro. reg*, 1-33.

White-Olascoaga, L., Chávez-Mejía, C., Garcia-Mondragón, D., & Michua-Hernández, M. (2023). Recursos forestales no maderables utilizados en elaboración de artesanías en la comunidad de Malinalco, Estado de México. *Polibotánica*, 231-243.

Wong, J., & Thornber, K. (2001). *Evaluación de los recursos de productos forestales no madereros.* Roma: FAO.

Zizumbo Villarreal, D., & García Marín, P. C. (2008). El origen de la agricultura, la domesticación de plantas y el establecimiento de corredores biológicoculturales. *Revista de Geografía Agrícola,*, 85-113.

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

COMPARACIÓN DE TASAS DE RESPIRACIÓN DEL SUELO EN ECOSISTEMAS AGRÍCOLA, AGOSTADERO Y URBANO EN UNA ZONA SEMIÁRIDA EN JUÁREZ, CHIHUAHUA, MÉXICO

COMPARISON OF SOIL RESPIRATION RATES IN AGRICULTURAL, RANGELAND, AND URBAN ECOSYSTEMS AT SEMIARID AREAS IN JUÁREZ, CHIHUAHUA, MEXICO

Flores Margez, J.P., A. Valles Rodriguez, P. Osuna Avila, D. Adilene Garcia Gonzalez

COMPARACIÓN DE TASAS DE RESPIRACIÓN DEL SUELO EN ECOSISTEMAS AGRÍCOLA, AGOSTADERO Y URBANO EN UNA ZONA SEMIÁRIDA EN JUÁREZ, CHIHUAHUA, MÉXICO
COMPARISON OF SOIL RESPIRATION RATES IN AGRICULTURAL, RANGELAND, AND URBAN ECOSYSTEMS AT SEMIARID AREAS IN JUÁREZ, CHIHUAHUA, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 115-131 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.6

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Núm. 61: 115-131 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Comparación de tasas de respiración del suelo en ecosistemas agrícola, agostadero y urbano en una zona semiárida en Juárez, Chihuahua, México

Comparison of soil respiration rates in agricultural, rangeland, and urban ecosystems at semiarid areas in Juárez, Chihuahua, Mexico

Juan Pedro Flores-Márgez / juflores@uacj.mx
https://orcid.org/0000-0003-0379-4128
Alejandra Valles-Rodríguez https://orcid.org/0009-0002-3771-4907
Pedro Osuna-Ávila https://orcid.org/0000-0002-7499-9676
Dolores Adilene García-González https://orcid.org/0000-0003-4634-1110
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Av. Plutarco Elías Calles núm. 1210, Fovissste Chamizal, Ciudad Juárez, Chihuahua, C.P. 32310

Juan Pedro Flores Margez, Alejandra Valles Rodriguez Pedro Osuna Avila, Dolores Adilene Garcia Gonzalez

COMPARACIÓN DE TASAS DE RESPIRACIÓN DEL SUELO EN ECOSISTEMAS AGRÍCOLA, AGOSTADERO Y URBANO EN UNA ZONA SEMIÁRIDA EN JUÁREZ, CHIHUAHUA, MÉXICO

COMPARISON OF SOIL RESPIRATION RATES IN AGRICULTURAL, RANGELAND, AND URBAN ECOSYSTEMS AT SEMIARID AREAS IN JUÁREZ, CHIHUAHUA, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 115-131. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.6

RESUMEN: La actividad de los microorganismos y raíces de la vegetación generan el proceso de respiración en el suelo al liberar CO_2 a la atmósfera, por ello es importante cuantificar los impactos en los ecosistemas semiáridos. El objetivo fue comparar las tasas de respiración del suelo en tres ecosistemas: cultivo agrícola, agostadero y parque urbano, correlación con propiedades físicas y químicas de los suelos. Las muestras de suelo se colectaron a una profundidad de 0 a 15 cm, en cinco sitios con cinco repeticiones en cada ecosistema. Las variables fueron el contenido de partículas minerales, densidad aparente, porosidad, materia orgánica, alcalinidad, salinidad y la respiración del suelo. Esta última cuantifico el C-CO_2 con un método basado en cambios de la conductividad eléctrica del KOH 0.5 M en incubaciones aeróbicas. Diferencias significativas fueron detectadas para arena, limo, salinidad, materia orgánica y respiración, mientras que densidad aparente, arcilla y pH fueron no significativos entre ecosistemas. La tasa de respiración (mg C-CO_2 kg^{-1} $día^{-1}$) en el suelo fue menor para el Sitio sin cultivo que presentó menor contenido de materia orgánica y mayor espacio poroso. El suelo con cultivo agrícola mostró más respiración que el sin cultivo, pero menos que el suelo de parque urbano, el cual duplicó al suelo agrícola, ya que presentó menor salinidad y mayor cantidad de materia orgánica. Correlaciones significativas se encontraron entre las tasas de respiración con el contenido de materia orgánica y el porcentaje de arena. Las tendencias de respiración del suelo observadas entre los ecosistemas contribuyen al entendimiento de la emisión de CO_2 en zonas semiáridas e impacto en el cambio climático.

Palabras clave: Conductividad eléctrica, dióxido de carbono, materia orgánica, alcalinidad, textura.

ABSTRACT: The activity of microorganisms and vegetation roots generates soil respiration by releasing CO_2 into the atmosphere. This process requires an assessment to quantify the impacts on semiarid ecosystems. The objective was to compare soil respiration rates in three ecosystems: agricultural, rangeland, and urban park, also the correlation with soil physical and chemical properties. Soil samples were collected at a depth of 0 to 15 cm at five sites with five replicates in each ecosystem. The variables evaluated were mineral particle content, bulk density, porosity, organic matter, alkalinity, salinity, and soil respiration. The C-CO_2 emission was assessed on change in the electrical conductivity measurement of 0.5% KOH M in aerobic incubations. Significant differences were detected for sand, silt, salinity, organic matter and soil respiration, but bulk density, clay, and pH did not present significant differences between ecosystems. The lowest soil respiration rate (mg C-CO_2 kg^{-1} $día^{-1}$) was observed in the rangeland, which in turn had a lower organic matter content, and lower porosity. The agricultural soil showed more respiration than the rangeland soil, but less than the urban park soil, which was twice as high as the agricultural soil, and presented lower salinity

and higher amounts of organic matter. Significant correlations were found between respiration rates and the organic matter content and sand percentage. The trends in soil respiration observed between ecosystems contribute to the understanding of CO_2 emissions in semi-arid areas, and impact on climate change.
Key words: Electrical conductivity, carbon dioxide, organic matter, alkalinity, texture.

INTRODUCCIÓN

El ciclo global del carbono relacionado con el problema de cambio climático es fundamental en ecosistemas de zonas áridas y semiáridas donde la respiración del suelo es un componente crítico y representa la liberación de dióxido de carbono (CO_2) del suelo a la atmósfera, pues el 47.2% de la superficie del planeta es cubierto por estos ecosistemas (Lal, 2004; Mann *et al.*, 2024). El carbono (C) suele encontrarse en dos formas principalmente, como carbono orgánico e inorgánico. El C orgánico proviene de restos vegetales, animales y de microorganismos, es almacenado en forma de materia orgánica, la cual se encuentra protegida por agregados del suelo y minerales que favorecen su conservación a través del tiempo.

El C inorgánico se encuentra en forma de carbonatos, sobre todo en regiones áridas y está condicionado por factores como el pH y el manejo agrícola (Lal, 2016; Luo *et al.*, 2017; Gross & Harrison, 2019; Ferdush & Paul, 2021 Georgiou *et al.*, 2022; Huang *et al.*, 2024). El C llega al suelo principalmente a través de restos de raíces, hojas y exudados de raíces, posteriormente este carbono es utilizado por microorganismos que descomponen la materia orgánica y liberan CO_2 a la atmósfera (Gross &Harrison, 2019; Basile *et al*., 2020; Wang *et al.,* 2022; Morrissey *et al.*, 2023; Wu *et al.,* 2023).

El carbono se encuentra estabilizado gracias a la formación de complejos órgano-minerales y la encapsulación en micro agregados que lo protegen de la descomposición microbiana. Sin embargo, el carbono es propenso a perderse debido a cambios en el uso del suelo, el aumento de la temperatura y la humedad, favorecen la desestabilización del carbono, liberándolo en forma de CO_2 (Lal, 2016; Balesdent *et al.*, 2018; Bailey *et al,* 2019; Lehmann *et al*., 2020; Basile *et al.*, 2020; Witzgall *et al.,* 2021; Georgiou *et al*., 2022).

La respiración del suelo es el proceso mediante el cual el dióxido de carbono es liberado desde el suelo hacia la atmósfera, siendo este el resultado de la actividad de raíces y microorganismos. Es un componente esencial en el ciclo global del carbono y esta influenciada por factores ambientales, biológicos y el manejo agrícola del suelo (Hursh et al., 2017). Factores como el cambio climático y el manejo agrícola, influyen en este proceso ya que pueden aumentar o disminuir estas tasas de respiración ya que afectan la oxigenación, la biomasa microbiana y la disponibilidad de nutrientes (Zou *et al*., 2024).

La respiración del suelo genera el CO_2 cómo resultado de la actividad microbiana, proceso radicular de las plantas, acción de la fauna edáfica y de procesos no biológicos (Ryan & Law, 2005; Brady & Weil, 2017). Este flujo de CO_2 refleja la actividad biológica del suelo dado por organismos autótrofos y heterótrofos que es posible medirse y modelarse, de tal forma que se interpreta la capacidad para descomponer la materia orgánica través del proceso de la mineralización del nitrógeno, entre otros nutrientes, al interpretarse como un indicador clave de la salud y funcionalidad de los ecosistemas (Ryan & Law, 2005; Campuzano *et al*., 2021).

Debido a que el suelo alberga una de las mayores reservas de carbono terrestre, las pequeñas variaciones en los flujos de respiración pueden tener efectos significativos a una escala global (Lal, 2004). Dado que la respiración del suelo es un indicador clave de su salud y el funcionamiento de los ecosistemas, es de valiosa utilidad cuantificar las tasas de respiración, ya que varían significativamente entre las diferentes regiones y usos del suelo como consecuencia de múltiples factores tales como diferencias en las condiciones ambientales, la vegetación y las prácticas de manejo (Zhou, *et al.,* 2011).

La tasa de respiración del suelo está influenciada por factores ambientales tales cómo la temperatura, la humedad, el pH, la textura, la cantidad y calidad de materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes y la estructura del suelo, pues la respiración como producto de la

actividad microbiana se ve influenciada por diversos factores bióticos y abióticos, entre los que destacan el uso del suelo y el tipo de vegetación (Campuzano *et al.,* 2021; Campuzano *et al.,* 2025). Sin embargo, existe poca información donde se comparen con análisis exhaustivo los cambios en la respiración del suelo en regiones templadas, tropicales y áridas, incluidos parques urbanos, suelos agrícolas y suelos no cultivados o de agostadero (Lai, *et al*., 2012; Lal & Stewart, 2017). Particularmente, en ecosistemas áridos y semiáridos, cómo el desierto Chihuahuense, este proceso adquiere especial relevancia, ya que constituye una fracción dominante de la respiración total del ecosistema, ya que su comportamiento se encuentra vinculado a las condiciones climáticas, cómo la temperatura del aire, la humedad del suelo y el déficit de presión de vapor (Celaya & Castellanos, 2011; Campuzano *et al*., 2021).

Los procesos como la respiración y la mineralización de materia orgánica están muy relacionados y dependen de condiciones ambientales similares a las que afectan la actividad de los microorganismos del suelo, por ello la temperatura, la humedad, el pH y la disponibilidad de materia orgánica son cruciales en las tasas de iones inorgánicos liberados incluido el CO_2 (Flores-Márgez *et al.,* 2010; Brady, 2017). La interacción entre la respiración del suelo y la dinámica del nitrógeno refleja la relación entre el ciclo del carbono y el ciclo del nitrógeno, sobre todo en ambientes áridos, donde los pulsos breves de humedad activan rápidamente la actividad microbiana, la descomposición de materia orgánica y la liberación simultánea de CO_2 (Havlin *et al.,* 1999).

Con respecto a la medición de CO_2 en suelos, propuestas iniciales han sido basadas en el método de la conductividad eléctrica y NaOH como técnica precisa y rápida, la cual se aplicó en estudios para evaluar las tasas de respiración microbiana en suelos y descomposición de materia orgánica entre varias comunidades de plantas (Wollum & Gómez, 1970). Además, existen algunas técnicas portátiles y económicas recientes que han sido desarrolladas para el monitoreo del CO_2, las cuales incluyen cámaras de trampa alcalina con KOH y sensores tanto en condiciones de laboratorio como en campo para su aplicación en sistemas agrícolas y otros ambientes naturales (Batterman, *et al.,* 2022; Irving *et al*., 2024). También, se han propuesto metodologías basadas en la ecuación general de los gases, presión y temperatura para facilitar la compresión de modelos matemáticos en la cuantificación de CO_2 y otros gases de efecto invernadero (Montoya *et al*., 2024; Ryan & Law, 2005).

La emisión de C como CO_2 (C-CO_2) que es la magnitud de la respiración del suelo, han sido reportadas para diferentes ecosistemas donde ciertos estudios fueron realizados en suelos áridos y semiáridos, mostrando una amplia variación, en parte por las diferencias en condiciones ambientales, las técnicas de medición y el manejo de los suelos. Las tasas de respiración para algunos ecosistemas como bosque tropical reportan un rango de 4.3 a 9.8 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Sotta *et al*., 2004; Ohashi *et al.,* 2008), en pastizales de 0.3 a 0.6 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Chamizo *et al*., 2022; Silletta *et al.*, 2019), en suelo agrícola de 0.3 a 0.5 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Zou *et al*., 2024; Cui & Tan, 2022) y para suelo con biocostras de 0.2 a 0.6 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Chamizo *et al*., 2022), donde los factores dominantes en el proceso de respiración edáfica son la temperatura, humedad, raíces, microbiota y nitrógeno.

También, Ayala-Niño *et al*., (2018) muestran valores muy bajos, mientras que Gutiérrez & Mendoza (2022) reportan tasas de hasta 24.2 mg C-CO_2 kg^{-1} $día^{-1}$ para matorral desértico del desierto Chihuahuense, seguido de Campuzano *et al*., (2025) con 12.5 mg C-CO_2 kg^{-1} $día^{-1}$ en Coahuila, México. Por su parte (Zhang *et al.*, 2009) encontraron tasas de 1.91 a 14.52 mg C-CO_2 kg^{-1} $día^{-1}$ en Kelayami, China, mientras que Yu (2021) encontraron entre 2.3 y 13.5 mg C-CO_2 kg^{-1} $día^{-1}$ en el mismo país. Estas referencias muestran que la respiración del suelo en regiones áridas y semiáridas puede fluctuar enormemente y sirven de base referencial para los estudios edáficos principalmente en las zonas áridas en México, donde los suelos se caracterizan por tener bajo contenido de materia orgánica y nitrógeno total, alcalino y con variados niveles de salinidad (Cueva, *et al*., 2016; Mendoza & Flores, 2022). Estas características fisicoquímicas predominan en los suelos más comunes en el norte del estado de México, que cubren el desierto Chihuahuense, donde sobresalen los grupos: Calcisol, Gypsisol, Arenosol, Solonetz y Regosol, entre otros (WRB, 2015; INEGI, 2017). Con respecto a suelos de parques urbanos, es común el riego con aguas tratadas y se ha encontrado aumento de materia orgánica, N total y P disponible, una mejora

en la actividad de los microorganismos, sin efecto en salinidad y ligero aumento de pH (Chen *et al.,* 2015; García *et al.,* 2020).
Otras mejoras en la calidad del suelo son el incremento en la estabilidad de micro agregados en la parte superficial debido al aumento de materia orgánica, así como mejoras en las tasas de infiltración y porosidad (Salacain *et al.,* 2019; Kranz *et al.,* 2020). Con respecto a la respiración de suelo cuantificada como la actividad microbiana que emite C del CO_2 se han reportado valores de 0.1 a 38.4 y 1.51 a 4.87 g C/cm^2/día equivalente a 0.77 y 295 mg C kg^{-1} día^{-1} y 11.6 a 37.5 mg C kg^{-1} día^{-1} para suelos agrícolas y de agostadero, respectivamente (Cuevas *et al.,* 2016), mientras que Li *et al.* (2024) indican entre 1 a 6 µmol C-CO_2 m^{-2} s^{-1}, es decir, 7.98 a 47.89 mg C-CO_2 kg^{-1} día^{-1}. El conocimiento de las emisiones de C-CO_2 a la atmósfera por parte de los suelos en zonas semiáridas se considera fundamental, por ello se llevó a cabo este estudio con el objetivo de evaluar la respiración del suelo en tres ecosistemas de una región semiárida y relacionarla con parámetros físicos y químicos del suelo.

MÉTODOS

Sitios de estudio

Los Sitios de estudio en suelo cultivado agrícola y sin cultivar de monte denominado agostadero con vegetación xerofita se ubicaron al sur del municipio de Juárez a 31° 22’ 08” de Latitud Norte y 106° 27´ 04” Longitud Oeste, así como otra área en 31° 20’ 52” de Latitud Norte y 106° 29´ 57” de Longitud Oeste, mientras el suelo urbano fue en Ciudad Juárez, Chihuahua en el parque “El Chamizal” que se localiza a 31° 45’ 26” de Latitud Norte y 106° 27´ 31” de Longitud Oeste, altitud promedio de 1 200 msnm (Figura 1, Google earth®, 2025). Los cinco suelos con cultivo agrícola incluidos en este estudio fueron seleccionados al tener especies cultivadas representativas del área como alfalfa, chile, calabacita, cilantro y nogal, aunque al momento del muestreo (marzo 2025) estaban con rastreo, es decir no sembrados todavía, excepto el nogal. Las áreas sin cultivar de monte estuvieron adyacentes en 50 m a los suelos de cultivo agrícola, esto con el fin de evaluar y comparar el impacto del manejo del suelo. La vegetación predominante en los Sitios de agostadero (sin cultivo) fueron: gobernadora (*Larrea tridentata)*, mezquite (*Propsopis juliflora*) y zacates de zonas áridas. Los grupos de suelo en las áreas agrícolas y sin cultivar fueron *Gypsisol* (INEGI, 2017) mientras que en el Sitio del parque urbano el suelo fue grupo *Calcisol* (FAO, 2016; INEGI, 2017).
El clima en el área de estudio es clasificado como BWx, desértico muy árido con lluvias poco abundantes que pueden presentarse en cualquier época del año (García, 2004). El clima es templado extremoso con invierno, otoño y primavera secos, temperatura media anual de 17 ºC, mínima extrema de -23 ºC en enero y máxima extrema de 44 ºC en julio, precipitación media anual de 217 mm y evaporación de 2 634 mm (INIFAP, 1991).

Núm. 61: 115-131 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

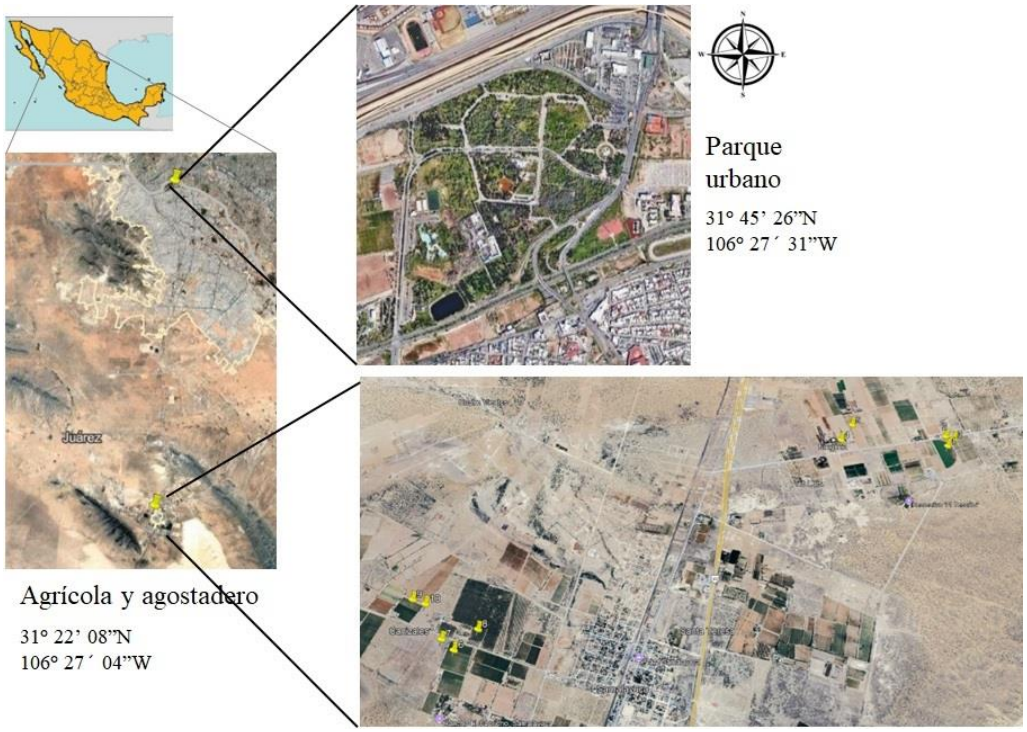


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo de suelos agrícola, agostadero y urbano en el norte del estado de Chihuahua. www.Google earth®. Elaboro Juan P. Flores M.
https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx
Figure 1. Location of sampling sites in agriculture, rangeland and urban soils at north Chihuahua state. www.Google earth®. Prepared by Juan P. Flores M.
https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx

Muestreo y análisis de suelo

El muestreo del suelo fue mediante el método en zig-zag en cinco *Sitios* (parcelas) con cultivo agrícola y cinco *Sitios* sin cultivo de monte agostadero, el cual consistió en recolectar nueve submuestras a una profundidad de 0 a 15 cm en cada sitio, los cuales variaron en superficie de 1 a 5 ha, debido a la baja heterogeneidad observada en campo en parcelas pequeñas, donde las normas en materia de muestreo de suelo indican que son suficientes ocho submuestras por parcela (SEMARNAT, 2000). El muestreo del suelo en el *Sitio* del parque urbano también fue con el método en zig-zag, por triplicado en cuatro Sitios, ubicados como secciones del parque representativos con una superficie promedio de 1 ha cada *Sitio*, así se colectaron nueve submuestras por *Sitio*. Se utilizó una barrena de acero inoxidable donde se colectó un kilogramo de suelo que se colocó en bolsas de plástico con su respectiva etiqueta, las muestras fueron transportadas al laboratorio de Ciencias Ambientales de la UACJ, para ser secadas a temperatura ambiente, después se procedió a molienda y tamizado con un molino marca Humboldt® tamizadas en criba de 2 mm y almacenadas para su análisis. El contenido de humedad del suelo se llevó a cabo mediante el método gravimétrico que se basa en diferencias de peso húmedo y peso seco (SEMARNAT, 2000). La densidad aparente fue a través de la colecta de muestras de suelo con un cilindro de aluminio en campo (5 x 8 cm), luego se secó la muestra en estufa y los cálculos fueron al dividir el peso seco entre el volumen del cilindro. La porosidad o espacio poroso (φ) fue estimado con la fórmula: $\varphi = 1 - (\rho_b/\rho_s)*100$, donde ρ_b es la densidad aparente y ρ_s es la densidad real con valor constante de 2.65 g cm^{-3} (Ortiz, 2010).

El análisis granulométrico o de textura del suelo fue con el método del hidrómetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962; SEMARNAT, 2000). La alcalinidad del suelo fue medida mediante el pH

con el método de la relación suelo:agua, 1:2, y la concentración de sales solubles a través de la conductividad eléctrica con el método de relación suelo:agua 1:5, con un instrumento marca Thermo electron Co. Orion 3 (SEMARNAT, 2000;CP, 2007). El valor de conductividad se multiplico por cinco para aproximar al valor obtenido con pasta de saturación del suelo, ya que se ahorra tiempo y recursos con el método 1:5. El contenido de materia orgánica del suelo fue analizado mediante el método de Walkley y Black *(*Aguilar*, et al.,* 1987; Bremner, 1996 ;Nelson & Sommers, 1996).

El análisis de respiración de suelo fue con el método que determinar el CO_2 emitido por la actividad microbiana en condiciones de laboratorio mediante incubaciones aeróbicas de respirometría con trampa alcalina de cámara sellada y medición de la conductividad eléctrica del KOH 0.5M (Batterman, *et al*., 2022). La técnica fue propuesta por el Cornell Soil Health Laboratory, basada en la medición de la conductividad eléctrica de las sustancias utilizadas en el sistema como el KOH y K_2CO_3 producido en la reacción. La emisión de C-CO_2 fue medida al utilizar 20 g de suelo, los cuales fueron humedecidos por capilaridad según su capacidad de retención de agua previamente calculada, así hasta llegar al punto de saturación de cada muestra de suelo. Después, el suelo fue colocado en una charola de aluminio de 4 cm de diámetro perforada, permitiendo el drenaje y la aireación del suelo. Está charola se introdujo en un frasco de vidrio de 10 cm de altura por 5 cm de diámetro; se colocó un papel filtro en la base, luego encima se colocó la muestra de suelo, y sobre está un trípode de plástico que sostenía un vaso de precipitados con 9 mL de KOH 0.5 M (Figura 2). Las muestras fueron incubadas durante cuatro días, con cuatro periodos como repeticiones, se registró la temperatura durante cada periodo, al cuarto día de incubación se midió la conductividad eléctrica del K_2CO_3 liberado en la reacción.



Figura 2. Procedimiento de preparación del suelo e incubación mediante trampa alcalina para evaluar la respiración de suelo. Método (Batterman, *et al.,* 2022). Diagrama elaborado por Alejandra Valles

Figure 2. Procedure for soil preparation and incubation using an alkaline trap to evaluate soil respiration. Method (Batterman, *et al.,* 2022). Diagram prepared by Alejandra Valles

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos consistieron en revisar la distribución normal de datos (Kolmogorov-Smirnov), obtener los parámetros descriptivos, y regresión correlación lineal y no lineal entre las variables estudiadas, análisis de varianza para un diseño experimental completamente al azar con efecto anidado donde los *Sitios* se analizaron dentro de cada ecosistema (cultivado agrícola, sin cultivar tipo agostadero y parque urbano), y así determinar el efecto principal para cada factor de variación como fueron: el sitio, el ecosistema y el sitio dentro de cada ecosistema para las variables evaluadas en el estudio. También se realizaron las pruebas de comparación múltiple de promedios con la técnica Tukey al 0.05 con el programa SPSS® versión 24.0.

RESULTADOS

Propiedades de los suelos

De acuerdo con los contenidos de partículas minerales, la textura de los suelos presentó una variación considerable que pueden ser clasificados desde francos, franco-arenosos y franco-arcillosos, con un rango mayor en los porcentajes de arena (Tabla 1). La densidad aparente de los suelos estuvo entre 1 y 1.6 g cm^{-3} y el espacio poroso entre 42 y 62%, lo cual se asocia con las texturas observadas, ya que ambas propiedades físicas generalmente se encuentran íntimamente ligadas. La alcalinidad medida a través del pH, mostró valores clasificados desde neutros (6.6) a medianamente alcalinos (8.4) con un rango de 1.76, mientras que la concentración de sales solubles medida mediante la conductividad eléctrica presentó una variación considerable con rango de 25.2 dS m^{-1}, es decir clasificado como muy ligeramente salino (1.5 dS m^{-1}) a muy fuertemente salino (26.7 dS m^{-1}). El contenido de materia orgánica fluctúo entre 1.9 y 3.5, considerado de bajo a medio, aunque predominaron niveles bajos. La respiración del suelo (Cuadro 1) medida a través de la emisión de $C\text{-}CO_2$ como producto de la actividad microbiana también mostró una amplitud considerable de 112 (mg $C\text{-}CO_2$ kg^{-1} $día^{-1}$), lo cual coincide con la heterogeneidad de las variables reportadas para los suelos de los sitios estudiados.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.
Table 1. Descriptive statistics for soil physical, chemical and biological properties.

Variable	Mín.	Media	Máx.	E.E. *	Rango
Densidad aparente (g cm^{-3})	1.007	1.322	1.558	0.016	0.551
Porosidad (%)	42.20	49.80	62.00	0.69	19.80
Arena (%)	39.48	63.67	93.06	2.66	53.57
Limo (%)	2.00	27.19	50.00	2.18	48.00
Arcilla (%)	2.88	9.13	27.96	0.99	25.08
pH	6.64	7.43	8.40	0.042	1.76
Conductividad eléctrica (dS m^{-1})	1.54	14.61	26.70	0.862	25.16
Materia orgánica (%)	0.78	1.919	3.54	0.149	2.76
Respiración (mg $C\text{-}CO_2$ kg^{-1} $día^{-1}$)	5.512	37.602	117.2	3.15	111.76

*E.E.= error estándar.

De acuerdo con el análisis de varianza (Tabla 2), no se detectó diferencia significativa para las variables de densidad aparente, porosidad, arcilla y pH en los tres factores de variación incluidos que fueron los sitios, ecosistema y sitio dentro de ecosistema ($p > 0.05$). El porcentaje de arena y limo variaron significativamente ($p < 0.05$) entre sitios y ecosistemas, pero no entre sitios dentro de cada ecosistema. La salinidad de los suelos analizada mediante la conductividad eléctrica (CE)

presentó diferencia altamente significativamente ($p < 0.01$) para las fuentes de variación de Sitios dentro de ecosistemas, es decir que la CE del suelo en cada Sitio fue diferente tanto en el ecosistema cultivo como sin cultivar y el urbano. El contenido de materia orgánica fue diferente significativamente entre Sitios dentro de cada ecosistema, mientras que la respiración de suelo medida como flujo de $C\text{-}CO_2$ presentó diferencias significativas entre ecosistemas y sitios dentro de cada una de estos.

Tabla 2. Niveles de significancia observado (valor p) en el análisis de varianza para los factores analizados de los parámetros de suelo.
Table 2. Observed level of significance (p value) in the analysis of variance for factors analyzed for soil parameters.

	Factor de variación		
Parámetro	**Sitio**	**Ecosistema**	**Ecosistema (Sitio)**
Densidad aparente	0.532¶	0.346	0.244
Porosidad	0.533	0.347	0.242
Arena	0.041*	0.048*	0.910
Limo	0.007**	0.081	0.809
Arcilla	0.758	0.441	0.980
pH	0.758	0.441	0.980
C.E.	0.232	0.029*	0.001**
Materia orgánica	0.548	0.480	0.012*
Respiración	0.258	0.020*	0.001**

¶ valor p; *, **, significativo al 0.05 y 0.01; C.E.= conductividad eléctrica

El análisis de comparación múltiple de promedios permitió detectar efectos significativos para la mayoría de las variables, excepto los casos de densidad aparente y espacio poroso del suelo (Tabla 3). Los porcentajes de arena fueron mayores significativamente ($p < 0.05$) en los ecosistemas agrícola y de agostadero, mientras que en el parque urbano fue inferior en 28.14% comparado con el suelo de agostadero. La alcalinidad de los suelos fue mayor significativamente con 0.64 unidades en el suelo urbano, aunque los tres se ubican entre medianamente alcalino en promedio (SEMARNAT-2000). La concentración de sales solubles en promedio fue fuertemente salina en los ecosistemas agrícola y agostadero, y moderadamente salino en el suelo urbano, de tal manera que el suelo agrícola fue mayor en 5.74 y 16.7 dS m^{-1} comparado a los suelos de agostadero y urbano. Los niveles de materia orgánica pueden clasificarse de bajos a medios, y resulto mayor significativamente ($p < 0.05$) en el suelo urbano al superar con 0.42 % al suelo más bajo que fue el de agostadero. Las tasas de respiración del suelo fueron significativamente mayores en el suelo urbano, seguido del agrícola y en menor cantidad el suelo de agostadero.

Tabla 3. Comparación de promedios entre ecosistemas para los parámetros de suelo.
Table 3. Average comparison between ecosystems for soil parameters.

	Ecosistema		
Parámetro	**Cultivado Agrícola**	**Sin cultivar agostadero**	**Parque Urbano**
Densidad ap. (g cm^{-3})	1.294±0.06[a¶]	1.378±0.05[a]	1.302±0.03[a]
Porosidad (%)	51.18±2.35[a]	48.02±2.0[a]	50.85±1.32[a]
Arena (%)	74.64±3.79[a]	82.75±3.27[a]	54.61±2.13[b]
Limo (%)	19.71±4.10[a]	13.80±3.32[a]	33.47±2.06[b]
Arcilla (%)	5.65±0.84[b]	3.45±0.14[ab]	11.91±1.20[a]
pH	7.26±0.06[b]	7.36±0.03[b]	7.90±0.08[a]
C.E. (dS m^{-1})	20.35±0.77[a]	14.61±1.27[b]	3.63±0.39[c]
Materia orgánica (%)	1.748±0.13[c]	1.512±0.16[b]	1.934±0.16[a]
Respiración (mg $C\text{-}CO_2$ kg^{-1} $día^{-1}$)	27.07±1.08[b]	16.11±1.11[c]	72.75±1.09[a]

¶ error estándar; promedios con letras iguales no son diferentes significativamente, Tukey (p=0.05).

Núm. 61: 115-131 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Las diferencias de emisión de C-CO_2 fue de 45.6 y 56.6 mg C-CO_2 kg^{-1} $día^{-1}$ entre el urbano comparado con el suelo agrícola y de agostadero, que corresponde 63% y 78%, respectivamente, mientras que el agrícola supero en 10.9 mg C-CO_2 kg^{-1} $día^{-1}$ al suelo del agostadero que corresponde a un incremento de 40%. La emisión de CO_2 como producto de la actividad microbiana en los suelos resulto diferente significativamente ($p < 0.05$) entre los sitios estudiados (Figura 3).

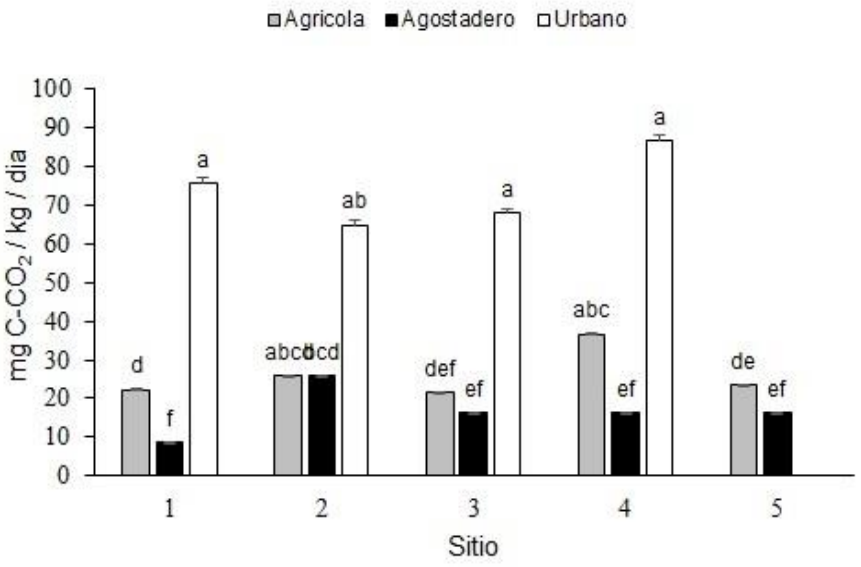


Figura 3. Respiración de suelo (C-CO_2) en cinco sitios muestreados de tres ecosistemas en zonas áridas del norte del Estado de Chihuahua. Barras con letras iguales no son diferentes significativamente ($p < 0.05$).
Figure 3. Soil respiration (C-CO_2) in five sampled sites for three ecosystems in arid zones of north Chihuahua state. Bars with the same letter are not significantly different ($p < 0.05$).

Al encontrar tendencias entre las variables edáficas y las tasas de respiración de suelo (transformadas a *ln*) se decidió realizar análisis de regresión lineal múltiple (selección de variables hacia adelante) para encontrar una ecuación que explique la respiración en los suelos del presente estudio. El análisis permitió generar solo un modelo significativo ($p < 0.01$), que fue una correlación logarítmica significativa entre la respiración del suelo y el contenido de arena para los tres ecosistemas (Figura 4). La asociación de estas variables indica que por cada 1% de arena, la tasa de respiración disminuye en 0.04 ln (mg C-CO_2 kg^{-1} $día^{-1}$) con un coeficiente de correlación de 74.5%. Las otras correlaciones mostraron tendencias lineales de aumento en la respiración al incrementarse el porcentaje de limo, arcilla, pH y materia orgánica tal como coincide con los promedios de la Tabla 3.

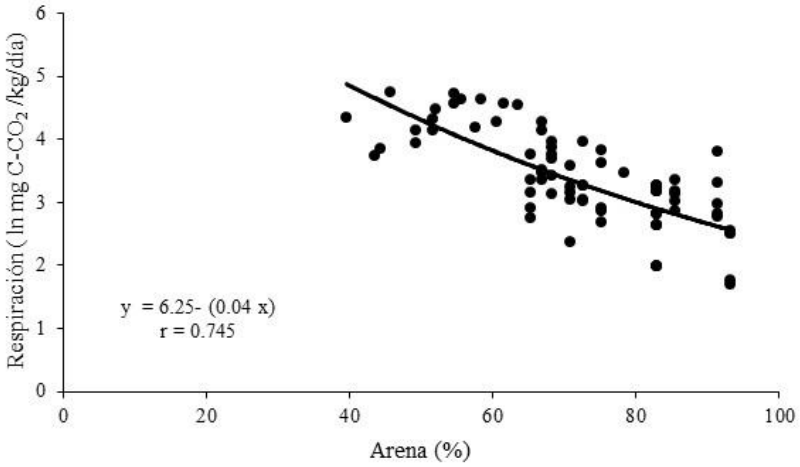


Figura 4. Correlación entre las tasas de respiración de suelo (*ln* mg C-CO_2) y el porcentaje de arena al incluir los tres ecosistemas (agrícola, agostadero y urbano).
Figure 4. Correlation between soil respiration rates (*ln* mg C-CO_2), and sand percentage by including the three ecosystems (agriculture, rangeland, and urban).

Al observar las tendencias de cada correlación se encontró que, para el contenido de materia orgánica, la función inversa (1/x) es la que mejor explica los valores de respiración en *ln* (mg C-CO_2 kg^{-1} $día^{-1}$) tal como se muestra en la Figura 5. Los aumentos estimados de respiración del suelo con el citado modelo son de 2.15, 1.291, 1.136 y 1.08 mg C-CO_2 kg^{-1} $día^{-1}$ para 1, 2, 3 ,4 y 5 % de contenido de materia orgánica del suelo, respectivamente, es decir, aunque la pendiente aumenta, la tendencia es cada vez menos pronunciada de las emisiones de C-CO_2 para los tres ecosistemas estudiados. Las bandas de los intervalos de confianza en la Figura 5 indican que la tasa de respiración mínima (L.I.) estimada a un 95% de confianza es de 1.17 a 2.72 que equivalen a 3.22 y 15.25 mg C-CO_2 kg^{-1} $día^{-1}$, mientras que el intervalo superior (L.S) muestra tasas de 3.74 a 5.24, es decir, 42.16 a 190.27 mg C-CO_2 kg^{-1} $día^{-1}$ con la función inversa (1/x).

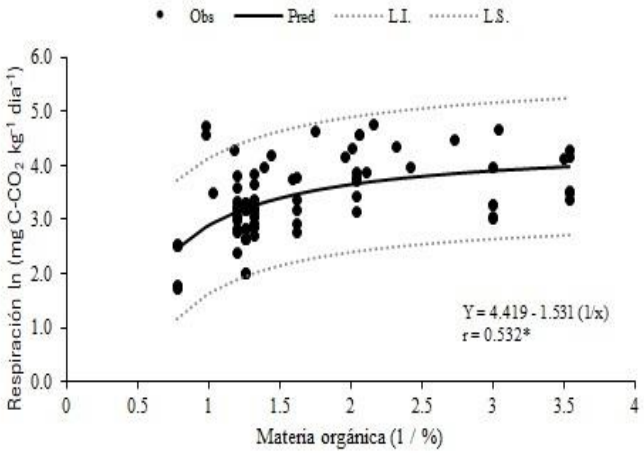


Figura 5. Correlación entre las tasas de respiración de suelo (*ln* mg C-CO_2) y el porcentaje de materia orgánica para los tres ecosistemas. Obs=datos observados, Pred=datos pronosticados, L.S.=límite superior del intervalo de confianza, y L.I.=límite inferior del intervalo de confianza.
Figure 5. Correlation between soil respiration rates (*ln* mg C-CO_2), and organic matter percentage for the three ecosystems. Obs=observed data, Pred=predicted data, L.S.=upper limit of confidence interval, L.I.=lower limit of confidence interval.

Núm. 61: 115-131 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

DISCUSIÓN

Las propiedades físicas del suelo como la textura, densidad aparente y la porosidad se encuentran muy relacionadas, ya que en suelos de texturas pesadas como los arenosos la retención de humedad es muy baja, la cantidad de espacio poroso es menor y la densidad aparente es mayor, por el contrario en suelos donde predominan las partículas más pequeñas como el limo y arcilla existe mayor retención de agua y las densidades son menores en rangos de 1 a 1.3 g cm^{-3} (SEMARNAT, 2000; Ortiz, 2010; Brady, 2017). En el presente estudio al encontrar alta variabilidad de estos parámetros físicos principalmente arena y limo que variaron significativamente, lo cual es evidente y en gran parte son explicados por la naturaleza de los suelos, ya que en los ecosistemas cultivado agrícola y sin cultivar de agostadero del grupo de suelo Gypsisol, suelos franco-arenosos con alto contenido de sulfato de calcio, que se localizan adyacentes a los del grupo Arenosol por los extensos médanos arenosos de Samalayuca. La clasificación de los suelos en las áreas cultivadas agrícolas y sin cultivar de agostadero corresponden al grupo *Gypsisol* que se caracterizan por la acumulación significativa de yeso (sulfato de calcio), ya que debido a alta evaporación ocurre la precipitación del yeso a partir de aguas subterráneas o superficiales (INEGI, 2017). El suelo del parque urbano corresponde al grupo *Calcisoles* (del latín *calx*, cal), tienen acumulación significativa de material calcáreo (carbonato cálcico), ricos en bases, están muy extendidos en ambientes semiáridos (FAO, 2016; INEGI, 2017). Este suelo ubicado junto al Río Bravo frontera con los Estados Unidos se formó por depósitos aluviales y eólicos de material meteorizado, con un horizonte subsuperficial Cámbico o Árgico, por sus cambios en contenidos de arcilla. A nivel clasificación de *Serie*, este suelo del parque urbano se clasificó como *Serie Juárez* y representa el parque principal de ciudad Juárez de 107 ha (CIEPS, 1970). Por otra parte, el suelo del parque urbano de grupo Calcisol predominaron las texturas franco, aunque con variabilidad por su formación aluvial del Río Bravo (CIEPS, 1970; INEGI, 2017), ya que al estar ubicado en la zona fronteriza México-USA, este suelo Calcisol de la Serie Juárez coincide con el tipo Harkey-Glendale reportado por el Soil Survey de El Paso County (USDA, 1971) clasificado como suelo calcáreo con perfil superficial estratificado con texturas franco-limoso a franco-arenoso con arenas finas en las primeras 12 pulgadas de profundidad y en lo general predomina la textura franca. También lo describen con suelos de alta fertilidad, capacidad de humedad disponible y permeabilidad moderada.

Con respecto a las propiedades químicas del suelo, el pH fue de neutro a medianamente alcalino (6.6 a 8.4) con variabilidad no significativa encontrado en los tres ecosistemas, aunque ligeramente mayor en el suelo del parque urbano. Estos niveles de alcalinidad indican que disminuye la disponibilidad de ciertos nutrientes como Mn, Fe, B, Cu y Zn, mientras que P se afecta solo en el rango de 8.0 a 8.5 (Havlin, *et al*., 1999; Castellanos, *et al.,* 2000). Tanto la variabilidad significativa como la mayor concentración de sales solubles encontrada en los suelos de uso agrícola y agostadero es explicada tanto por los factores de formación como por el riego con agua de pozos salinos que predominan en el norte del estado de Chihuahua, ya que por ejemplo valores encontrados en estudio equivalen entre 1 000 y 17 000 mg kg^{-1} de sales solubles en los suelos, por ello predominan las plantas halófitas y cultivos agrícolas con tolerancia a sales como algodón y sorgo, entre otros (Castellanos*, et al*., 2000). El contenido de materia orgánica en los suelos es de importancia, ya que se asocia con la liberación de N y P, entre otros nutrientes como Fe, Mn, Cu y Zn por la acción quelatante, también es fuente de ácidos húmicos y fúlvicos que participan en la fisicoquímica del suelo y la fisiología de las plantas (Brady &Weil, 2017).

En el presente estudio no se encontraron diferencias significativas y predominaron niveles bajos de materia orgánica, lo cual es reportado para los grupos de suelo en zonas semiáridas, lo que se asocia a bajas tasas de mineralización de N (Flores-Márgez *et al*., 2010). El suelo urbano presento la mayor cantidad de materia orgánica significativamente, lo cual es explicado por la aportación de materia orgánica en parques y jardines, así como por los materiales sólidos y líquidos que dispersan las personas durante las actividades recreativas.

Las tasas de respiración microbiana mostraron una diferencia significativa entre ecosistemas y muestras dentro de los ecosistemas ($p < 0.05$), donde el suelo del parque urbano presentó la mayor respiración al superar en 62% al suelo cultivado agrícola y 78% al sin cultivar de agostadero. Al

comparar los valores de emisión de C-CO_2 del presente estudio con las referencias se puede apreciar que, para el rango observado en los tres ecosistemas, 16 a 72 mg C-CO_2 kg^{-1} $día^{-1}$, estas tasas de respiración están cercanas a lo reportado por (Gutiérrez *et al*., 2022) con 24.2 mg C-CO_2 kg^{-1} $día^{-1}$, pero más altos que lo indicado por (Campuzano *et al*., 2025) con 12.5 mg C-CO_2 kg^{-1} $día^{-1}$. Mientras que lo encontrado en el presente estudio para suelo de parque urbano supera el doble la tasa de respiración que, en suelo cultivado agrícola, lo cual puede explicarse tanto por las propiedades de los suelos incluidos los niveles de materia orgánica y partículas minerales, manejo, entre otros (Lai *et al.,* 2012; Li *et al*., 2024), así como cuando se aplican materiales orgánicos como estiércol, compostas, o bien reciben actividades de labranza (Ortiz, 2010; Salgado & Núñez, 2010 ;Brady & Weil, 2017).

El parque urbano con grupo de suelo Calcisol, mientras que en agrícola y agostadero fue grupo Gypsisol con altos niveles de salinidad. Esto apoya en que la respiración del suelo en regiones áridas y semiáridas puede variar considerablemente debido a las condiciones ambientales, el grupo de suelo y manejo de estos, por ello la importancia de su cuantificación y relación con variables edáficas. Un estudio más reciente del área fronteriza México-USA que cubre el parque urbano incluido en este estudio, pero en la otra sección que pertenece al lado americano (Ganjegunte *et al.,* 2017) en salinidad encontraron valores de 1 a 43 dS m^{-1}, atribuido al riego con agua salina, mientras que en el presente estudio fue menor que es explicado por el riego con agua residual tratada baja en sales solubles (García *et al*., 2020), lo cual no afecta el crecimiento del pasto *Cynodon dactilon L.* que prevalece en el área. Por ejemplo, la incorporación de compostas en el suelo puede alterar de manera significativa algunas propiedades físicas y químicas como las nutrimentales (Kranz *et al.,* 2020). Estos resultados coinciden con estudios del ciclo del N en suelos de parques urbanos (Zalacáin *et al*., 2019; Lal, 2017), donde los niveles altos de materia orgánica, nitratos extractables, tasas de desnitrificación, entre otros, han sido afectados por las aplicaciones de fertilizantes, riegos y escorrentía por las lluvias. También el rango observado de tasas de emisión de C-CO_2 en el presente estudio coincide con la respiración del suelo cuantificada como C del CO_2 reportado en valores de 0.1 a 38.4 y 1.51 a 4.87 g C cm^{-2} $día^{-1}$ equivalente aproximadamente a 0.77 y 295 mg C kg^{-1} $día^{-1}$ y 11.6 a 37.5 mg C kg^{-1} $día^{-1}$ para suelos agrícolas y de agostadero, respectivamente Cueva *et al.,* 2016) mientras que Li *et al*., (2024) indican entre 1 a 6 µmol C-CO_2 m^{-2} s^{-1}, es decir, 7.98 a 47.89 mg C-CO_2 $_{kg}^{-1}$ $día^{-1}$. Dado que la densidad aparente está estrechamente relacionada con la textura de los suelos (Brady &Weil, 2017), en este estudio se aprecia que al aumentar la densidad ocurre una reducción en la respiración del suelo. Generalmente, al aumentar el contenido de arena se presenta un aumento en la densidad aparente, lo cual es de importancia en suelos de zonas áridas donde pueden presentarse estas clases texturales pesadas (Castellanos *et al.,* 2000).

Las tasas de respiración del suelo reportadas en múltiples estudios que fueron realizados en suelos áridos y semiáridos, donde ha existido una amplia variabilidad y refleja las diferencias en condiciones ambientales, técnicas de medición y manejo del suelo (Gutiérrez *et al.,* 2022). La comparación de estas tasas muestra que a pesar de que la respiración del suelo en regiones áridas y semiáridas puede variar ampliamente. Las correlaciones entre parámetros fisicoquímicos de suelo y las tasas de respiración de suelo permiten apreciar como la actividad microbiana es función de las condiciones ambientales. Por ejemplo, la correlación negativa y significativa observada entre el porcentaje de arena y la emisión de C-CO_2, es explicada por la baja retención de humedad y menor espacio poroso, lo cual reduce la actividad de los microorganismos (Brady & Weil, 2017). Por el contrario, los aumentos de tasas de respiración fueron cuando el porcentaje de limo y arcilla, así como el pH aumentaron, aunque no significativamente. Además de las diferencias en tasas de respiración entre los suelos de los ecosistemas estudiados, una correlación de suma importancia generada fue entre el contenido de materia orgánica y la tasa de respiración, donde se establecen aumentos significativos conforme aumenta de 1 a 5% el contenido orgánico en los suelos con una función inversa, ya que la tasa de respiración se incrementa no lineal, y a la vez va disminuyendo gradualmente conforme el contenido de materia orgánica aumenta. Esta información contribuye al conocimiento de los efectos de parámetros del suelo con la actividad microbiana reflejada por la tasa de respiración para ecosistemas de zonas áridas del norte de México y en general al impacto del cambio climático global.

CONCLUSIONES

Las tasas de respiración del suelo resultaron diferentes significativamente entre los ecosistemas evaluados, de tal forma que las cantidades menores de emisión de C-CO_2 en el suelo sin cultivar dedicado al agostadero, se relacionó principalmente con menor contenido de materia orgánica y textura arenosa, seguido en magnitud de respiración por el suelo de cultivo agrícola que se encuentran ubicados en el mismo grupo de suelo (Gypsisol) pero con mayor salinidad, mientras que el suelo de parque urbano (Calcisol) con menor salinidad y mayor cantidad de materia orgánica duplico la tasa de respiración de los suelos anteriores. Correlaciones significativas se encontraron entre el contenido de materia orgánica y arena con la tasa de respiración, donde se observaron aumentos significativos al aumentar el contenido orgánico en los suelos mediante función inversa, ya que la tasa de respiración se incrementa con esa tendencia y la pendiente disminuye gradualmente. Estos cambios en la respiración del suelo para los ecosistemas estudiados son importantes por sus implicaciones de los flujos de emisión de CO_2 a la atmósfera.

LITERATURA CITADA

Aguilar, A., Etchevers, J.D., Castellanos, J.Z. (1987). *Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo* (A. C., Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Ed.; 1st ed., Vol. 1). Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

Bailey, V., Pries, C., & Lajtha, K. (2019). What do we know about soil carbon destabilization? *Environmental Research Letters*, 14. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2c11.

Basile-Doelsch, I., Balesdent, J., & Pellerin, S. (2020). Reviews and syntheses: The mechanisms underlying carbon storage in soil. *Biogeosciences*. https://doi.org/10.5194/bg-2020-49.

Batterman, Z., K. Kurtz, D. J. Moebius-Clune, B. S. (2022). *Respiration*. https://Soilhealthlab.Cals.Cornell.Edu/. https://doi.org/https://soilhealthlab.cals.cornell.edu

Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, *54*, 646–665.

Brady, N. C. & R. R. Weil. (2017). *The nature and properties of soils* (Brady & Weil, Ed.; 15th ed., Vol. 1). Prentice Hall.

Bremner, J. M. (1996). *Methods of soil analysis, part 3. Chemical methods.* (D. L. Sparks, Ed.; 1st ed., Vol. 3). Soil Science Society of America.

Campuzano, E. F., Delgado-Balbuena, J., & Flores-Rentería, D. (2021). Controlling factors of the ecosystem and soil respiration in a xeric shrubland in the Chihuahuan Desert, Mexico. *Terra Latinoamericana*, *39* (December), 1–14. https://doi.org/10.28940/TERRA.V39I0.1251

Campuzano, E. F., Guillen-Cruz, G., Juárez-Altamirano, R., & Flores-Rentería, D. (2025). Seasonal and Land Use Effects on Soil Respiration and Its Controlling Factors in Arid Lands from Northeastern Mexico. *Soil Systems*, *9*(1). https://doi.org/10.3390/soilsystems9010012

Carlos A. Ortiz Solorio. (2010). *Edafologia* (Universidad Autónoma Chapingo, Ed.; 8th ed., Vol. 1). Universidad Autónoma Chapingo.

Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., Aguilar-Santelises, A (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas* (2nd ed., Vol. 1). Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola.

Celaya, H., & Castellanos, A. (2011). Nitrogen Mineralization on Arid and Semi-Arid Land Soil. *Terra Latinoamericana*, *29*(3), 343–356. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000300343

Chen, W., Lu S., Pan N. Wang Y. and Wu L. (2015). Impact of reclaimed water irrigation on soil health in urban green areas. *Chemosphere*; 119:654-661. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.07.035

CIEPS. (1970). *Estudio de Factibilidad para la rehabilitación del Distrito de Riego (Valle de Juárez, Chihuahua*. CIEPS. https://doi.org/https://sigagis.conagua.gob.mx/listado21/listadoAS.pdf.

CP. (2007). *Manual de procedimientos para análisis de suelos y plantas del laboratorio de fertilidad de suelos*.

Cueva, R. A., A., C.A., Robles, Z., J., Garatuza, P., E.A., Yépez (2016). *Soil respiration in Mexico: Advances and future directions*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000300253.

Chamizo, S., Rodríguez-Caballero, E., Sánchez-Cañete, E., Domingo, F., & Cantón, Y. (2022). Temporal dynamics of dryland soil CO2 efflux using high-frequency measurements: Patterns and dominant drivers among biocrust types, vegetation and bare soil. *Geoderma*. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115404.

Cui, J., & Tan, F. (2022). PLSR-Based Assessment of Soil Respiration Rate Changes under Aerated Irrigation in Relation to Soil Environmental Factors. *Agriculture*. https://doi.org/10.3390/agriculture13010068.

Ferdush, J., & Paul, V. (2021). A review on the possible factors influencing soil inorganic carbon under elevated CO2. *Catena*, 204, 105434. https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105434

Flores-Márgez, J. P., Poncio-acosta, M. Z., Salas-galván, E., Pérez-casio, F., Corral-avitia, A. Y., Salazar-sosa, E., & Idilio, H. (2010). Mineralización De Nitrógeno En Biosólidos. *Terra Latinoamericana*, 307–317.

Ganjegunte, G. K., Clarc.k, R. Sallenave, E. Sevostianova, M. Serena, G. Álvarez, B. Leinauer (2017). Soil salinity of an urban park after long-term irrigation with saline ground water. *Agronomy Journal*, *109*(6), 311–318.

García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México: Instituto de Geografía, UNAM. 5a. edición, 97 p. https://publicaciones.geografia.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/83.

García-Carrillo, M., Luna-Ortega, J. G., Gallegos-Robles, M. Á., Preciado-Rangel, P., Cervantes-Vázquez, M. G., & González-Salas, U. (2020). Impact of wastewater on soil properties and accumulation of heavy metals. *Terra Latinoamericana*, *38*(4), 907–916. https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.556

Gutiérrez-Gutiérrez, M., & Mendoza-Aguilar, D. O. (2022). Influencia de las biocostras en el flujo de CO_2 en el matorral desértico micrófilo del altiplano mexicano Influence of biocrusts on the CO_2 flux in the microphyllous desert shrubland of the Mexican plateau. *Terra Latinoamericana*, 1–11.

Havlin, J. L., J.D., Beaton, S, L, Tisdale, W, L, Nelson (1999). *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management* (North Carolina State University, Ed.; 6th ed., Vol. 1). Prentice Hall.

INEGI. (2017). *Superficie por tipo de uso de suelo en México*. Mapas INEGI. https://doi.org/https://www.inegi.org.mx/temas/suelo.

INIFAP. (1991). Logros y avances de la investigación agropecuaria en el Campo Experimental Valle de Juárez (CEVAJ). Publicación especial No. 9, 47 p. https://www.gob.mx/inifap.

Irving, D., Bakhshandeh, S., Tran, T. K. A., & McBratney, A. B. (2024). A cost-effective method for quantifying soil respiration. *Soil Security*, *16*. https://doi.org/10.1016/j.soisec.2024.100162

Lal, R. (2016). Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, 5, 212-222. https://doi.org/10.1002/fes3.96.

Kranz, C. N., McLaughlin, R. A., Johnson, A., Miller, G., & Heitman, J. L. (2020). The effects of compost incorporation on soil physical properties in urban soils – A concise review.

In *Journal of Environmental Management* (Vol. 261). Academic Press. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110209

Georgiou, K., Jackson, R., Vindušková, O., Abramoff, R., Ahlström, A., Feng, W., Harden, J., Pellegrini, A., Polley, H., Soong, J., Riley, W., & Torn, M. (2022). Global stocks and capacity of mineral-associated soil organic carbon. *Nature Communications*, 13https://doi.org/10.1038/s41467-022-31540-9.

Lai, L., Xuechun Zhao, Lianhe Jiang, Yongji Wang, Liangguo Luo, Yuanrun Zheng, Xi Chen, Glyn M. Rimmington (2012). Soil Respiration in Different Agricultural and Natural Ecosystems in an Arid Region. *PLOS One*, *7*(1), 1–10. https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048011

Luo, Z., Feng, W., Luo, Y., Baldock, J., & Wang, E. (2017). Soil organic carbon dynamics jointly controlled by climate, carbon inputs, soil properties and soil carbon fractions. *Global Change Biology*, 23, 4430 - 4439. https://doi.org/10.1111/gcb.13767

Gross, C., & Harrison, R. (2019). The Case for Digging Deeper: Soil Organic Carbon Storage, Dynamics, and Controls in Our Changing World. *Soil Systems*. https://doi.org/10.3390/soilsystems3020028

Huang, Y., Song, X., Wang, Y., Canadell, J., Luo, Y., Ciais, P., Chen, A., Hong, S., Wang, Y., Tao, F., Li, W., Xu, Y., Mirzaeitalarposhti, R., Elbasiouny, H., Savin, I., Shchepashchenko, D., Rossel, R., Goll, D., Chang, J., Houlton, B., Wu, H., Yang, F., Feng, X., Chen, Y., Liu, Y., Niu, S., & Zhang, G. (2024). Size, distribution, and vulnerability of the global soil inorganic carbon. *Science*, 384, 233 - 239. https://doi.org/10.1126/science.adi7918.

Hursh, A., Ballantyne, A., Cooper, L., Maneta, M., Kimball, J., & Watts, J. (2017). The sensitivity of soil respiration to soil temperature, moisture, and carbon supply at the global scale. *Global Change Biology*, 23. https://doi.org/10.1111/gcb.13489.

Lal, R. (2004). Carbon sequestration in dryland ecosystems. *Environmental Management*, *33*(4), 528–544. https://doi.org/10.1007/s00267-003-9110-9

Lal, R., B. A. S. (2017). *Urban Soils* (CRC Press, Ed.; 1st ed., Vol. 1). CRC Press. https://doi.org/https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/9781315154251/urban-soils-rattan-lal-stewart.

Lehmann, J., Hansel, C., Kaiser, C., Kleber, M., Maher, K., Manzoni, S., Nunan, N., Reichstein, M., Schimel, J., Torn, M., Wieder, W., & Kögel-Knabner, I. (2020). Persistence of soil organic carbon caused by functional complexity. *Nature Geoscience*, 13, 529 - 534. https://doi.org/10.1038/s41561-020-0612-3

Li, Y., K. Zhang, Y. Li, P. Wan (2024). Temperature sensitivity of soil respiration to elevated temperature and nitrogen availability. *Soil & Tillage Research*, *244*, 1–10.

Mann, T. A., Yanai, R. D., Fahey, T. J., & Reinmann, A. B. (2024). Nitrogen and Phosphorus Addition Affect Soil Respiration in Northern Hardwood Forests. *Ecosystems*. https://doi.org/10.1007/s10021-024-0091

Mendoza, C. G. & J. P. Flores Margez (2022). Efecto de agricultura en contenido de materia orgánica en suelos en el norte de Chihuahua. In: F. Ayala N., F. López V., G. Medina P., N.A. Sígala A., F. Fernández L. (Ed.), *Innovación y suelos sanos para el desarrollo sustentable* (pp. 453–458). Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.

Montoya, J. V.M., V.M. Ordaz CH., G.S. Benedicto V., A. Ruiz B. & J.M. Arreola T. (2024). Análisis metodológico de la respiración del suelo: un planteamiento para su interpretación. *Terra Latinoamericana*, 42(1), 1-6. https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1822

Morrissey, E., Kane, J., Tripathi, B., Rion, M., Hungate, B., Franklin, R., Walter, C., Sulman, B., & Brzostek, E. (2023). Carbon acquisition ecological strategies to connect soil microbial biodiversity and carbon cycling. *Soil Biology and Biochemistry*. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108893.

Nelson, D. W., & L. E., S. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In J. M. Bartels (Ed.), *Methods of soil analysis, Chemical methods. Part 3* (3rd ed., Vol. 1, pp. 961–1010). Soil Science Society of America. Madison.

Recibido:
29/julio/2025

Aceptado:
8/diciembre/2025

Niño, F. A., Delgado, Y. M., & Diéguez, E. T. (2018). Carbon storage and flux in arid soils as an environmental service: An example in northwestern Mexico. *Terra Latinoamericana*, *36*(2), 93–104. https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.334.

Ohashi, M., Kumagai, T., Kume, T., Gyokusen, K., Saitoh, T., & Suzuki, M. (2008). Characteristics of soil CO2 efflux variability in an aseasonal tropical rainforest in Borneo Island. *Biogeochemistry*, 90, 275-289. https://doi.org/10.1007/s10533-008-9253-0.

Ryan, M. G., & Law, B. E. (2005). Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. In *Biogeochemistry* (Vol. 73, Issue 1, pp. 3–27). https://doi.org/10.1007/s10533-004-5167-7

Salgado, G.S., & R. Núñez, E. (2010). *Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos* (B. B. de Agricultura, Ed.; 1st ed.). Colegio de Postgraduados.

SEMARNAT. (2000). *Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Norma Oficial Mexicana. Establece Las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos; Estudios, Muestreo y Análisis.

Silletta, L., Cavallaro, A., Kowal, R., Pereyra, D., Silva, R., Arias, N., Goldstein, G., Scholz, F., & Bucci, S. (2019). Temporal and spatial variability in soil CO2 efflux in the patagonian steppe. *Plant and Soil*, 444, 165 - 176. https://doi.org/10.1007/s11104-019-04268-7.

Sotta, E., Meir, P., Malhi, Y., Nobre, A., Hodnett, M., & Grace, J. (2004). Soil CO2 efflux in a tropical forest in the central Amazon. *Global Change Biology*, 10. https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00761.x.

USDA. (1971). *Soil Survey, El Paso County, Texas* (S. C. Service, Ed.; 1st ed.). United States Department of Agriculture. https://doi.org/https://ttu-ir.tdl.org/items/2a9a546e-102c-4f52-8e1e-694b2fb31c1b

Wollum, A.G., y J. E. Gómez. (1970). A conductivity method for measuring microbially evolved carbon dioxide. *Ecology* 51(1): 155-156. https://www.jstor.org/stable/1933610.

Witzgall, K., Vidal, A., Schubert, D., Höschen, C., Schweizer, S., Buegger, F., Pouteau, V., Chenu, C., & Mueller, C. (2021). Particulate organic matter as a functional soil component for persistent soil organic carbon. *Nature Communications*, 12. https://doi.org/10.1038/s41467-021-24192-8

WRB. (2016). *Base referencial mundial del recurso suelo* (FAO, Ed.; 1st ed., Vol. 1). FAO.

Wu, H., Cui, H., Fu, C., Li, R., Qi, F., Liu, Z., Yang, G., Xiao, K., & Qiao, M. (2023). Unveiling the crucial role of soil microorganisms in carbon cycling: A review. *The Science of the total environment*, 168627. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168627

Wang, Q., Zhang, Q., Han, Y., Zhang, D., Zhang, C., & Hu, C. (2022). Carbon cycle in the microbial ecosystems of biological soil crusts. *Soil Biology and Biochemistry*. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108729

Yu, H., Liu, X., Ma, Q., Yin, Z., Wang, Y., Xu, Z., & Zhou, G. (2021). Climatic warming enhances soil respiration resilience in an arid ecosystem. *Science of the Total Environment, 756*, 1–10.

Zalacáin, D., Bienes, R., Sastre-Merlín, A., Martínez-Pérez, S., & García-Díaz, A. (2019). Influence of reclaimed water irrigation in soil physical properties of urban parks: A case study in Madrid (Spain). *Catena*, *180*(May 2018), 333–340. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.05.012

Zhang, L., Chen, Y., Li, W., & Zhao, R. (2009). Abiotic regulators of soil respiration in desert ecosystems. *Environmental Geology*, *57*(8), 1855–1864. https://doi.org/10.1007/s00254-008-1474-y

Zhou, Hong-hua, Li Weihong, Yang Yuhui,Cao Zhichao, Li Zhi (2011). Soil respiration variant and its effecting factors at different land use in arid land. *Geographical Science*, *31*(2), 190–196.

Zou, Y., Shan, Y., Yue, Z., Gioacchini, P., Montecchio, D., Gaggía, F., Alberoni, D., Baffoni, L., Zhang, Q., Xiong, P., Marzadori, C., & Di Gioia, D. (2024). Factors Driving Soil Respiration Rate After Different Fertilizer Sources Addition. *Agronomy*. https://doi.org/10.3390/agronomy14112468.

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LA ZONA DE PROLIFERACIÓN DEL HONGO BLANCO DE PINO (*Tricholoma mesoamericanum*) EN "EL GUAJOLOTE" HIDALGO, MÉXICO

ECOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE FRUITING AREA OF THE PINE WHITE MUSHROOM (*Tricholoma mesoamericanum*) IN "EL GUAJOLOTE" HIDALGO, MEXICO

Reyes Grimaldo, A.A., Rodríguez Laguna, R., J. Pérez Moreno, M. Martínez Reyes, O. Arce Cervantes, R. Razo Zárate

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LA ZONA DE PROLIFERACIÓN DEL HONGO BLANCO DE PINO (*Tricholoma mesoamericanum*) EN "EL GUAJOLOTE" HIDALGO, MÉXICO
ECOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE FRUITING AREA OF THE PINE WHITE MUSHROOM (*Tricholoma mesoamericanum*) IN "EL GUAJOLOTE" HIDALGO, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 133-143 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.7

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Caracterización ecológica de la zona de proliferación del hongo blanco de pino (*Tricholoma mesoamericanum*) en "El Guajolote" Hidalgo, México

Ecological characterization of the fruiting area of the pine white mushroom (*Tricholoma mesoamericanum*) in "El Guajolote" Hidalgo, Mexico

Álvaro Alfonso Reyes Grimaldo https://orcid.org/0000-0002-3914-308X
Ramón Razo Zárate https://orcid.org/0000-0002-4608-3361
Oscar Arce Cervantes https://orcid.org/0000-0002-3388-2973
Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Av. Universidad 133, Col. San Miguel Huatengo, C.P. 43775, Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo, México

Magdalena Martínez Reyes https://orcid.org/0000-0003-2352-917X
Jesús Pérez Moreno https://orcid.org/0000-0001-5216-8313
Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México

Rodrigo Rodríguez Laguna / rlaguna@uaeh.edu.mx; re262751@uaeh.edu.mx
https://orcid.org/0000-0002-1014-8784
Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Av. Universidad 133, Col. San Miguel Huatengo, C.P. 43775, Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo, México.

Alvaro Alfonso Reyes Grimaldo, Rodrigo Rodríguez Laguna, Jesús Pérez Moreno, Magdalena Martínez Reyes, Oscar Arce Cervantes, Ramón Razo Zárate

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LA ZONA DE PROLIFERACIÓN DEL HONGO BLANCO DE PINO (*Tricholoma mesoamericanum*) EN "EL GUAJOLOTE" HIDALGO, MÉXICO

ECOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE FRUITING AREA OF THE PINE WHITE MUSHROOM (*Tricholoma mesoamericanum*) IN "EL GUAJOLOTE" HIDALGO, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 133-143. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.7

RESUMEN: El objetivo del estudio fue caracterizar las condiciones ecológicas presentes en la zona forestal "El Guajolote" Epazoyucan, Hidalgo, que favorece la proliferación del hongo *Tricholoma mesoamericanum*. Esta zona forestal cuenta con un bosque mixto pino – encino con predominancia de *Pinus teocote*, hospedero natural de esta especie. Se determinaron las condiciones ecológicas y ambientales en cuatro sitios de estudio, así como la colecta de esporomas para la descripción morfológica. En los sitios de muestreo, abundan las especies *Pinus teocote*, *P. patula* y *P. greggii*, en el estrato arbustivo prosperan especies como *Quercus greggii* y *Q. microphylla*; las condiciones ambientales de la zona forestal de temperatura y precipitación corresponden a 12.3 °C y 719.8 mm, respectivamente. Este estudio constituye el primer registro de las variables ecológicas y ambientales de la zona forestal "El Guajolote", donde *T. mesoamericanum* muestra preferencia a la exposición suroeste (SW).

Palabras clave: Clima, bosques, pino, encino, ectomicorrícico.

ABSTRACT: The objective of this study was to determinate the environmental factors in the forest area "El Guajolote" Epazoyucan, Hidalgo, that favors the proliferation of the mushroom *Tricholoma mesoamericanum*. This forest area counts with a mixed pine – oak forest with a great predominance of *Pinus teocote* the natural host of the fungal specie studied, the ecological factors were determined at four sites where this mushroom proliferated, as well as the gathering of fungal samples for the morphological description. It was found that the proliferation sites have a great abundance of *Pinus teocote*, *P. patula* and *P. greggii*, with respect to the shrub stratum the species *Quercus greggii* and *Q. microphylla* were found. The environmental conditions of the forest area in terms of temperature and precipitation correspond to 12.3 °C and 719.8 mm, respectively. The present study constitutes the first record of the ecological and environmental conditions of the forest area "El Guajolote" where the proliferation of *T. mesoamericanum* shows a wide preference to the southwest exposure.

Key words: Climate, forest, pine, oak, ectomycorrhizal.

Núm. 61: 133-143 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

INTRODUCCIÓN

Los bosques cubren aproximadamente 40 millones de km² a nivel mundial, lo que representa cerca del 30% de la superficie terrestre e incluye zonas boreales, templadas y tropicales (FAO, 2020).

En México, hasta el 2019 se estimaba en 660,400 km², equivalentes al 34% del territorio nacional. De esta extensión, los bosques templados ocupan 330,200 km² (Gutiérrez-García & Ricker, 2019; Monarrez-Gonzalez *et al.*, 2020). En términos de biodiversidad, 55% de las especies de *Pinus* en el mundo, son endémicas de México, de las cuales en el país se encuentran 52 especies de estas y 161 de *Quercus*, posicionándolo como el segundo centro de diversidad en el mundo para ambos géneros. Esta notable riqueza biológica es el resultado de complejos procesos de diversificación y adaptación, influenciados por cambios climáticos globales, la gran heterogeneidad topográfica y ambiental del territorio (Rosaliano Evaristo *et al.*, 2022; Uribe-Salas *et al.*, 2019).

México ocupa el quinto lugar en número de especies y endemismo, albergando el 10% de la diversidad terrestre, el país cuenta con condiciones ambientales y micro ambientales que se traducen en una gran variedad de hábitats (Aguirre-Acosta *et al.*, 2014). Con respecto a los hongos comestibles silvestres, estos se consideran como un recurso forestal no maderable, su importancia inicia desde la época prehispánica en México, tanto por su contenido nutricional y sus propiedades medicinales; a lo largo del país se cuenta con gran diversidad fúngica, al localizarse entre dos zonas biogeográficas importantes (neártica y neotropical) que favorecen el desarrollo de alrededor de 200,000 especies de hongos, en México se estima que se presentan 425 de especies de hongos comestibles silvestres (De Lucio-Flores *et al.*, 2021; Jiménez Ruiz *et al.*, 2013; Ruan-Soto *et al.*, 2025).

De las 425 especies de hongos comestibles silvestres conocidos en el país, en el estado de Hidalgo se encuentra 181 que presentan oportunidades de investigación, ya que este recurso forestal no maderable cuenta con gran importancia ecológica, económica y cultural, proponiendo así su uso como una alternativa para el desarrollo de las regiones, utilizándose para enriquecer la dieta en zonas rurales y urbanas así como integrarlos a los mercados regionales, nacionales e internacionales (De Lucio-Flores *et al.*, 2021; Garibay-Orijel *et al.*, 2009; Ruan-Soto *et al.*, 2025).

Tricholoma mesoamericanum Justo & Cifuentes, tiene una amplia presencia a lo largo del territorio nacional, se tienen registros de su presencia en diversos estados como Chihuahua, Durango, Guerrero, Hidalgo, Estado de México, Michoacán, Puebla y Veracruz; presentándose a lo largo de las cinco regiones montañosas del país: Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico Transversal, Sierra Norte de Oaxaca y en el Sur de Chiapas, con un amplio rango de temperaturas (10 – 18 °C), altitud (2000 – 3400 msnm) y niveles de precipitación (600 – 2500 mm) (Bandala *et al.*, 2022; Girón-Gutiérrez *et al.*, 2024; Graciano-Ávila *et al.*, 2021; Quijada *et al.*, 2020).

En el estado de Hidalgo, la superficie forestal cubre aproximadamente 51% del territorio estatal (20,813 km^2), donde el área arbolada corresponde a 403,685 ha, de las cuales 57% corresponde a bosques y el restante a selvas (Vásquez-Bautista *et al.*, 2016).

Sin embargo, en esta zona se recolectan diversos tipos de hongos silvestres por los ejidatarios, lo que indica que existen condiciones ambientales y de suelo para la proliferación de *Tricholoma mesoamericanum* especie que establece una asociación simbiótica principalmente con *Pinus teocote* (Bandala *et al.*, 2022).

Los estudios sobre la ecología de especies fúngicas que consideran a las especies arbustivas y herbáceas son escasos, asimismo, se desconocen registros de la especie fúngica de interés en la zona y las condiciones adecuadas para su proliferación, por lo que, el objetivo de esta investigación fue determinar las variables ecológicas presentes en la zona forestal “El Guajolote” en Epazoyucan, Hidalgo que favorecen la proliferación de *Tricholoma mesoamericanum*.

Núm. 61: 133-143 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la zona forestal "El Guajolote" (20°06'02"N 98°35'24"O) que pertenece al ejido San Pedro Huixotitla, Epazoyucan, Hidalgo, misma que se encuentra a 17.8 km al Este de Pachuca, el tipo de vegetación es bosque mixto pino-encino y está cercana al cerro de las Navajas, los sitios de estudio se localizan entre las coordenadas geográficas (20°05'41"N – 20°05'45"N y 98°33'44"O – 98°33'25"O), presenta clima templado subhúmedo con lluvias de verano ($C(E)(w_2)$), temperatura media anual de 12.37 °C y precipitación media anual 719.83 mm (CONAGUA, 2025).

Caracterización del área de estudio

La delimitación del área de estudio se realizó por medio de GPS (Garmin®, Montana 680), la anotación de las coordenadas geográficas y altitud se determinó para cuatro sitios de estudios en un paraje conocido como "Los Gospes". La precipitación y la temperatura se determinaron por medio de los regímenes de lluvia y temperatura de la CONAGUA (2025) revisando los registros de la estación climática más cercana (Real del Monte – 13115; 20° 07'59" N – 98° 40' 09" O), la pendiente del sitio se midió por medio de altímetro de mano de precisión (Haga, Haga), la cobertura de copa *in situ* se determinó con densitómetro esférico de espejo cóncavo (GAFMEX, Modelo C), utilizando la siguiente formula:

$$Cobertura\ de\ copa\ (\%) = (Número\ de\ vertices\ donde\ reincide\ la\ copa\ arbórea * 1.04) - 100$$

Determinación de las variables ecológicas en los sitios de estudio

La determinación de especies arbóreas y arbustivas se realizó mediante consultas en el herbario virtual de la CONABIO (2025) y el "Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional El Chico" por Soto *et al.* (2006), comparando el listado de especies encontradas en campo y de las muestras recolectadas para su análisis en laboratorio asegurando así precisión en la identificación, las especies encontradas se documentaron de la siguiente manera: familia, nombre científico y nombre común. Las fotografías de las especies encontradas en el sitio de estudio fueron capturadas con una cámara (Sony®, SLT-A55V) para su posterior identificación taxonómica en el Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (ICAp-UAEH), los nombres científicos reportados se corroboraron con la base de datos del herbario virtual de la CONABIO (2025).

Recolecta de muestras fúngicas de *Tricholoma mesoamericanum*

La recolecta de muestras de *Tricholoma mesoamericanum* se realizó durante la temporada de proliferación en la zona de agosto a octubre durante dos años consecutivos (2023 – 2024), mediante recorridos sistemáticos en los sitios previamente identificados, considerando las variables ecológicas presentes. Se siguieron las recomendaciones establecidas en las normas oficiales mexicanas (NOM-010-SEMARNAT-1996 y NOM-059-SEMARNAT-2010), priorizando la recolección de carpóforos maduros, con una altura mayor a 70 mm, con el velo abierto que hayan liberado las esporas se hayan propagado en el medio ambiente para su propagación natural. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Química agrícola (ICAp-UAEH), donde se realizó el análisis taxonómico macroscópico. El color se determinó utilizando la carta de color de Methuen (Kornerup & Wanscher, 1967). En la Figura 1 se señalan las características evaluadas de acuerdo con (Fuentes, 2005). Los carpóforos fueron almacenados en un ultra congelador (Polar, CH-156A) para posteriores análisis y aislamiento *in vitro*.

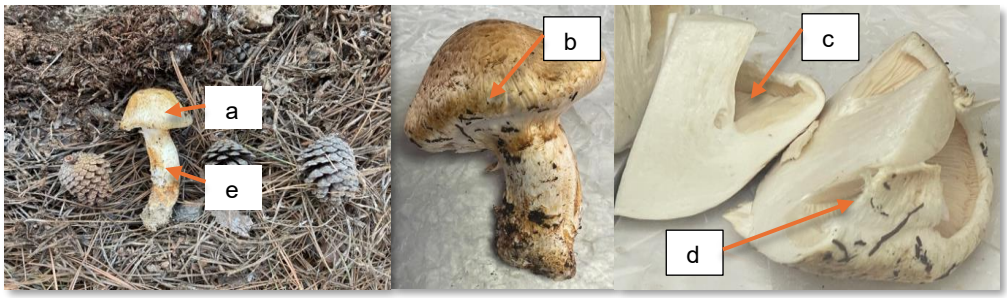


Figura 1. *Tricholoma mesoamericanum* a) Píleo b) Margen c) Laminas d) Anillo e) Estípite
Figure 1. *Tricholoma mesoamericanum* a) Pileus b) Margin c) Gills d) Ring e) Stipe

RESULTADOS

I. Condiciones ambientales de la zona forestal "El Guajolote" Epazoyucan, Hidalgo
La zona forestal "El Guajolote" es un ecosistema donde predomina bosque templado mixto de pino–encino, con abundancia de *Pinus teocote*, las variables ambientales encontradas en el sitio se describen en la Tabla 1, donde los sitios presentan variación altitudinal de 3,072 – 3,100 msnm, con una temperatura media anual de 12.3 °C y precipitación acumulada de 719.8 mm anuales, la exposición de los sitios fue Suroeste y excepto la exposición Este para el sitio ubicado en la parte alta de la montaña, donde corre el viento a través de la ladera, la pendiente de los tres sitios fue similar (26 – 28%).

Tabla 1. Variables ecológicas de los sitios de proliferación de *Tricholoma mesoamericanum*

Variable	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
Coordenadas geográficas	20° 5'41.00"N 98°33'44.00"O	20° 5'38.31"N 98°33'50.27"O	20° 5'45.44"N 98°33'35.75"O	20° 5'45.30"N 98°33'25.02"O
Altitud	3,072 m	3,074 m	3,073 m	3,100 m
Temperatura media anual	12.3 °C	12.3 °C	12.3 °C	12.3 °C
Precipitación acumulada	719.8 mm	719.8 mm	719.8 mm	719.8 mm
Exposición	(SW)	(SW)	(SW)	(E)
Cobertura de copa (%)	70%	60%	60%	50%
Pendiente	28%	26%	26%	28%
Espesor de hojarasca	5 cm	5 cm	5 cm	0.5 – 1 cm

SW= Suroeste, E= Este

El espesor de hojarasca fue de 5cm excepto en el sitio 4 que fue de 0.5 mm de espesor, de igual manera en este sitio se presenta una gran cantidad de renuevos por medio de regeneración natural de encinos como respuesta a un incendio producido en la zona en 1998 como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Renuevos de *Pinus teocote* ubicados en el sitio 4 con exposición Este
Figure 2. *Pinus teocote* shoots located at site 4 with East exposure

II. Variables bióticas en los sitios de estudio

En el área de estudio se registró la composición variada de especies, con respecto a la estructura del bosque, las especies arbóreas más abundantes fueron *Pinus teocote* y *Quercus rugosa*, en el estrato arbustivo se encontraron madroños (*Arbutus glandulosa* y *A. xalapensis*) y encinos de porte bajo (*Quercus greggii* y *Q. microphylla*), en las tablas 2 y 3 se listan las especies encontradas en los cuatro sitios de estudio, la riqueza de especies disminuye conforme aumenta la altitud del área de estudio, denotando un cambio notable en la densidad de vegetación. Se puede observar que en el sitio 4 presentó una menor diversidad, el cual fue el sitio más alto de la montaña con exposición (E), además de ser resultado de la regeneración natural tras eventos climáticos extremos.

Tabla 2. Especies arbóreas de la zona forestal "El Guajolote"

Familia	Nombre científico	Nombre común
Betulaceae	*Alnus acuminata* ssp. glabrata (Fernald) Furlow	Aile, Aliso andino
Fagaceae	*Quercus castanea* Née	Encino capulincillo
Fagaceae	*Quercus crassifolia* Bonpl.	Encino colorado, encino chililllo
Fagaceae	*Quercus rugosa* Née	Encino de asta, encino blanco, encino avellano
Pinaceae	*Abies religiosa* (Kunth Schltdl. *et* Cham.)	Bansú, Ocopetla, Oyamel, Pinabete
Pinaceae	*Pinus montezumae* Lamb.	Chalmaite blanco, pino blanco
Pinaceae	*Pinus patula* ex Schltdl. & Cham.	Pino colorado, pino llorón, pino triste
Pinaceae	*Pinus rudis* Endl.	Ocote blanco, ocote pardo, pino amarillo
Pinaceae	*Pinus teocote* ex Schltdl. & Cham.	Pino colorado, pino rosillo, tzat-adi

Tabla 3. Especies arbustivas de la zona forestal "El Guajolote"
Table 3. Shrub species of the "El Guajolote" forest area

Familia	Nombre científico	Nombre común
Apiaceae	*Eryngium carlinae* F. Delaroche	Cabezona, espina blanca, hierba del sapo
Asteraceae	*Ageratina glabrata* (Kunth) R. M. King & H. Rob.	Chamisa
Asteraceae	*Baccharis conferta* Kunth.	Escoba
Asteraceae	*Barkleyanthus salicifolius* (Kunth) H. Rob. & Brettell.	Azomiate, jarilla
Ericaceae	*Arbutus glandulosa* M. Martens & Galeotti.	Madroño
Ericaceae	*Arbutus xapalensis* Kunth.	Amazaquitl, madroño de Texas
Ericaceae	*Arctostaphylos pungens* Kunth.	Gayuba de México, pindicua, pingüica
Ericaceae	*Pernettya ciliata* Schltdl. & Cham.	Capulincillo
Fagaceae	*Quercus greggii* (A. DC.) Trel.	Encino blanco, encino chaparro, encino prieto
Fagaceae	*Quercus microphylla* Née	Encino enano
Poaceae	*Muhlenbergia macroura* (Humb., Bonpl. & Kunth) Hitchc.	Gubaya, malinalli, soromuta, surumata, zacatón
Rhamnaceae	*Ceanothus caeruleus* Lag.	Chaquira, chaquirilla, palo colorado

III. Descripción taxonómica
Píleo de 20.8 – 93.3 mm de diámetro, convexo, liso cuando joven a aplanado-fibrosos cuando maduro, color en el centro anaranjado grisáceo (5B4), borde anaranjado (5A3), pálido con fondo blanquecino (5A1), con margen enrollado, sulcado, superficie seca, brilloso, con borde entero, unión de contacto homogéneo, densidad laminar muy junta, láminas libres, anchas lisas de 3.5 – 20.6 mm de largo, de color naranja blanquecino (5A2), en estado joven con anillo concoloro a las láminas, con unión al píleo central, estípite de 30.4 – 55.2 mm, carnoso, subclavado cilíndrico, fibroso, con ápice liso, unión al sustrato inserto subclavado, con anillo apical temporal, se abre cuando maduro, olor dulce acanalado, sabor a cacahuate crudo.
Hábitat: En vegetación secundaria de bosque mixto *Pinus* – *Quercus*, con presencia de *Pinus teocote*, sobre suelo, principalmente cerca de rocas y *Quercus microphylla*, con hábito solitario.

DISCUSIÓN

Las variables ecológicas y ambientales presentes en el sitio corresponden a lo descrito de manera general por INEGI (2017), en relación a los bosques de pino – encino, la distribución de la zona forestal “El Guajolote” es cercana a la región montañosa del Eje Neovolcánico Transversal del país, presenta clima templado subhúmedo con lluvias dispersas en verano ($C(E)(w_2)$) la temperatura media anual del sitio (12.3 °C) coincide con lo reportado para bosques de pino encino (10 – 28 °C), la precipitación acumulada (719.8 mm) ha disminuido en años recientes en consecuencia del cambio climático. Bandala *et al.* (2022) han reportado que las condiciones para la proliferación de *Tricholoma mesoamericanum* se dan en un rango de precipitación de 600 – 2500 mm anuales de acuerdo con lo reportado por Gómez *et al.* (2002). A pesar de que la precipitación en el área de estudio se encuentra dentro de este intervalo, es importante destacar que la proliferación de esta especie coincide con la variación altitudinal descrita para bosques templados (1200 – 3200 msnm), lo que indica que la altitud se debe considerar como otro factor

relevante para su distribución. La pendiente del sitio se describe por la FAO (2009) como "moderadamente escarpado" ya que se encuentra en el intervalo de 15 – 30%, este factor del clima tiene un efecto directo con respecto a la diversidad biológica, abarcando principalmente especies de plantas y hongos, según por lo descrito por Antúnez et al. (2022), ya que lo atribuye principalmente al flujo hidrológico superficial y al impacto de la radiación teniendo un efecto directo en el microclima del sitio.

La diversidad florística de especies presentes en el sitio son la principal característica de la estructura de la zona forestal, el sitio se encuentra bajo manejo forestal lo que muestra un efecto directo sobre la vegetación, según lo reportado por Ortiz-Hernández et al. (2017) para especies de importancia forestal como *Pinus montezumae*, *P. patula* y *P. pseudostrobus*, sin embargo, de acuerdo con lo reportado por Vivar et al. (2021), la especie *P. teocote* es la que presenta un mayor cambio en relación con el clima, ya que las lluvias invernales y las bajas temperaturas que se presentan en los bosques de pino – encino favorecen la humedad del ambiente durante su etapa inicial de crecimiento a lo largo del territorio nacional, *P. teocote* es ampliamente distribuido además de ser un carácter esencial que define la presencia y distribución de la especie *T. mesoamericanum*, donde autores como Flores *et al.* (2023) destacan que la distribución natural del pino simbionte de la especie fúngica, se ve influenciada por las variables ecológicas y ambientales que caracterizan su entorno, como lo describen Hernández Ramos et al. (2019) para *P. teocote* en Hidalgo.

Con respecto al estrato arbustivo en zonas aledañas al área de estudio, en "El Nopalillo" autores como Ortiz-Hernández *et al.* (2017) destacan la presencia de especies como *Baccharis conferta*, *Ageratina glabrata* y dentro de las especies herbáceas se destaca a *Muhlenbergia macroura*, en trabajos previos de otras especies pertenecientes al grupo *Tricholoma*, a lo largo de los cuatro sitios de estudios, la predominancia de especies es marcada con respecto a las arbóreas como las arbustivas, los sitios 1 – 3, muestran condiciones similares de altura y ubicación geográfica, así como abundancia de las especies de encinos de porte bajo (*Quercus greggii* y *Quercus microphylla*), sin embargo, el sitio 4 es aquel que ha mostrado condiciones ambientales completamente diferentes a las anteriores, al tener una capa de ocochal menor (0.5 – 1 cm), esto igual tiene un efecto directo con respecto a la diversidad de especies que se encuentran en el sitio, mostrando de igual manera presencia de *Pinus teocote* con una capa arbustiva más dispersa a casi nula a lo largo de la ladera.

Factores climáticos como la temperatura y precipitación del sitio han sido descritos por Girón-Gutiérrez *et al.* (2024) como moduladores del bosque, ya que la temperatura muestra influencia negativa en el crecimiento de los árboles a través de bosques boreales, templados y tropicales; por su parte, estudios recientes como el de Guzmán-Santiago et al. (2023) han demostrado que el cambio climático en México ha modificado las condiciones de temperatura y los ciclos de lluvia, estableciendo una fuerte correlación entre la precipitación con el aumento de temperatura, lo cual afecta de manera directa tanto a los géneros arbóreos *Pinus* y *Quercus* así como especies fúngicas como *Tricholoma mesoamericanum* que destacan por su importancia ecológica y su valor para la población.

Para la especie *Tricholoma mesoamericanum* los sitios de proliferación muestran condiciones que se encuentran dentro de los parámetros reportados por otros autores, con respecto a la temperatura media anual y precipitación de la zona, Gómez *et al.* (2002) reportan que la proliferación de esta especie es favorable en un rango de 10 – 18 °C y en sitios con precipitación de 600 – 2500 mm para el Estado de Oaxaca, la altitud es de la misma manera la variable en la que se presentan diferencias con trabajos previos acerca de esta especie, ya que Ayala-Vásquez *et al.* (2022) reportan para esta especie variación altitudinal de 2000 – 3000 msnm, para la zona forestal "El Guajolote" se tienen valores que sobresalen ligeramente del límite superior de este rango altitudinal, con respecto a otras variables que muestran influencia en la producción y emergencia de cuerpos fructíferos de esta especie, la exposición es similar en 3 sitios Suroeste (SW), sin embargo, el sitio 4 es el único que presenta la exposición Este (E).

CONCLUSIONES

El presente estudio constituye el primer registro de las variables ecológicas de la zona forestal "El Guajolote" en Epazoyucan, Hidalgo; donde se caracteriza por un bosque mixto de pino-encino con predominancia de especies arbóreas *Pinus teocote*, *P. patula*, *P. greggii* y arbustivas como *Quercus microphylla*, *Q. greggii* y *Baccharis conferta*, con respecto a las condiciones ambientales el hongo *Tricholoma mesoamericanum* mostró preferencia por la exposición suroeste, aunque no se descarta su presencia en otras orientaciones, siempre y cuando se cumplan las condiciones de temperatura y precipitación registradas en el presente estudio.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece a SECIHTI por la beca otorgada con número de CVU. 1003016 y a los ejidatarios de la zona forestal "El Guajolote" por su cooperación en el presente trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

Aguirre-Acosta, E., Ulloa, M., Aguilar, S., Cifuentes, J. & Valenzuela, R. (2014). Biodiversidad de hongos en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, *85*(SUPPL.), S76–S81. https://doi.org/10.7550/RMB.33649

Antúnez, P., Serrano, P. M. L., Adame, G. G., Camacho, E. A. R. & Díaz, M. M. M. (2022). Efecto de la altitud, pendiente y exposición geográfica en la distribución de helechos arborescentes. *Acta Botanica Mexicana*, *129*. https://doi.org/10.21829/ABM129.2022.1962

Ayala-Vásquez, O., Martínez-Reyes, M., De La Fuente, J. I., Martínez-González, C. R., Armas, L. F., Hernándezsantiago, F. & Pérez-Moreno, J. (2022). *Tricholoma colposii* (Tricholomataceae, Basidiomycota), a new edible species of matsutake fungi from Eastern Mexico with economic and biocultural importance. *Phytotaxa*, *542*(1), 24–34. https://doi.org/10.11646/PHYTOTAXA.542.1.2

Bandala, V. M., Ramos, A., César, E., Ramos, D. & Montoya Bello, L. (2022). Actualización de la circunscripción taxonómica de *Tricholoma mesoamericanum* que incluye a *Tricholoma colposii* (Agaricales, Tricholomataceae). *Acta Botanica Mexicana*, *129*. https://doi.org/10.21829/abm129.2022.2112

CONABIO. (2025). *Herbario Virtual Conabio*. http://www.conabio.gob.mx/otros/cgi-bin/herbario.cgi

CONAGUA. (2025). *Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia*. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias

De Lucio-Flores, S. A., Otazo-Sánchez, E. M., Romero-Bautista, L. & Gaytán-Oyarzún, J. C. (2021). Hongos macroscópicos como bioacumuladores de metales pesados. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, *8*(16), 60–65. https://doi.org/10.29057/ICBI.V8I16.5823

FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. En *Proyecto FAOSWALIM, Nairobi, Kenya-Universidad Mayor de San Simón, Bolivia*.

Flores, A., Buendía Rodríguez, E., Pineda Ojeda, T., Flores Ayala, E. & Méndez-González, J. (2023). Genetic Conservation and Use of Genetic Resources of 18 Mexican Pine Species. *Diversity*, *15*(6), 735. https://doi.org/10.3390/D15060735/S1

FAO. (2020). Global Forest Resources Assessment 2020 - Key Findings. *Global Forest Resources Assessment 2020*. https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca8753en

Fuentes, A. D. (2005). *Glosario ilustrado de los caracteres macroscópicos en Basidiomycetes con himenio laminar*. UNAM.

Garibay-Orijel, R., Martínez-Ramos, M. & Cifuentes, J. (2009). Disponibilidad de esporomas de hongos comestibles en los bosques de pino-encino de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *80*(002). https://doi.org/10.22201/IB.20078706E.2009.002.615

Girón-Gutiérrez, D., Méndez-González, J., Osorno-Sánchez, T. G., Cerano-Paredes, J., Soto-Correa, J. C. & Cambrón-Sandoval, V. H. (2024). Climate as a Driver of Aboveground Biomass Density Variation: A Study of Ten Pine Species in Mexico. *Forests*, *15*(7), 1160. https://doi.org/10.3390/F15071160/S1

Gómez, M., Carrera, D. M., Morales, P., González, E. P., León, H., Aguilar, A., Ramírez, P., Ortega, P., Largo, A. & Bonilla, M. (2002). Studies on the traditional management, and processing of matsutake mushrooms In Oaxaca, Mexico. *Micología Aplicada International*, *14*(2), 25–43. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=68514203

Graciano-Ávila, G., Alberto, O., Calderón, A., Alanís-Rodríguez, E. & Lujan-Sotoju, J. E. (2021). Analysis of the composition, structure and diversity of tree species in a temperate forest in northwestern Mexico. *Sustainable Forestry*, *4*(1), 19–24. https://doi.org/10.24294/SF.V4I1.1599

Gutiérrez-García, G. & Ricker, M. (2019). Climatic inflluence on radial growth in four conifer species in the Sierra de San Antonio Peña Nevada (Nuevo León, Mexico). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *90*(1). https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2676

Guzmán-Santiago, J. C., De los Santos-Posadas, H. M., Ángeles-Pérez, G., Vargas-Larreta, B., Gómez-Cárdenas, M., Rodríguez-Ortiz, G. & Corona-Núñez, R. O. (2023). Efecto del cambio climático en la distribución de las especies de clima templado en Oaxaca, México. *Botanical Sciences*, *102*(1). https://doi.org/10.17129/botsci.3355

Hernández Ramos, J., Hernández-Ramos, A., García-Cuevas, X., García-Magaña, J. J., Martínez-Salvador, M., Samperio-Jiménez, M. & Hernández-Vargas, J. A. (2019). Ecuaciones alométricas de altura-diámetro para bosques naturales de Pinus teocote Schlecht. & Cham. en Hidalgo, México. *Acta Universitaria*, *29*. https://doi.org/10.15174/au.2019.1908

INEGI. (2017). *Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía Aguascalientes. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825092030.pdf

Jiménez Ruiz, M., Pérez-Moreno, J., Almaraz-Suárez, J. J. & Torres-Aquino, M. (2013). Hongos silvestres con potencial nutricional, medicinal y biotecnológico comercializados en Valles Centrales, Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *4*(2), 199–213. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Kornerup, A. & Wanscher, J. H. (1967). *Methuen handbook of colour.*

Monarrez-Gonzalez, J. C., Gonzalez-Elizondo, M. S., Marquez-Linares, M. A., Gutiérrez-Yurrita, P. J. & Perez-Verdin, 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

Ortiz-Hernández, L. E., Cantera-Velázquez, N., Escamilla-Casas, J. C. & Cruz-Chávez, E. (2017). Análisis morfogénetico preliminar de una porción de la Sierra de Pachuca, México. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, *4*. https://doi.org/10.29057/aactm.v4i4.9389

Quijada, G. E. M., Balderas, J. M. M., Garza, E. J. T., Calderón, Ó. A. A., Rodríguez, E. A. & Yamallel, J. I. Y. (2020). Diversity, structure and floristic composition of temperate forests of southern Nuevo León state. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *11*(61). https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.703

Núm. 61: 133-143 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Recibido:
24/agosto/2025

Aceptado:
19/diciembre/2025

Evaristo, R., Ávila-Akerberg, V., Franco-Maass, S. & López Mathamba, L. A. (2022). Estructura y diversidad arbórea en bosques de encino del centro de México. *Madera y bosques*, *28*(2).

Ruan-Soto, F., Sánchez, J. E., Noyola-Méndez, L., Ramírez-Terrazo, A., Garibay-Orijel, R. & Cifuentes, J. (2025). Aprovechamiento de los hongos comestibles en México: una tradición que trasciende al futuro. *Lilloa*, 181–202.

Soto, M., Vázquez, L. & Lazcano, C. (2006). *Programa de conservación y manejo Parque Nacional El Chico, México*. CONANP. México.

Uribe-Salas, D., España-Boquera, M. L., Torres-Miranda, A., Uribe-Salas, D., España-Boquera, M. L. & Torres-Miranda, A. (2019). Aspectos biogeográficos y ecológicos del género Quercus (Fagaceae) en Michoacán, México. *Acta botánica mexicana*, *126*. https://doi.org/10.21829/ABM126.2019.1342

Vásquez-Bautista, N., Zamudio-Sánchez, F. J., Alvarado-Segura, A. A., Romo-Lozano, J. L., Vásquez-Bautista, N., Zamudio-Sánchez, F. J., Alvarado-Segura, A. A. & Romo-Lozano, J. L. (2016). Forest biometric models in Hidalgo, Mexico: state of the art. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, *22*(3), 351–367. https://doi.org/10.5154/R.RCHSCFA.2015.09.043

Vivar, E. V., Pompa-Garcia, M., Trejo, D. A. R., Leyva-Ovalle, A., Wehenkel, C., Parra, A. C. & Anguiano, O. M. (2021). Drought responsiveness in two Mexican conifer species forming young stands at high elevations. *Forest systems*, *30*(3), 4.

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

INFLUENCIA DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y DEL FENÓMENO ENOS EN EL CRECIMIENTO RADIAL DE *Pinus rzedowskii* Y *P. martinezii* EN MICHOACÁN, MÉXICO

INFLUENCE OF CLIMATE VARIABILITY AND THE ENSO PHENOMENON ON THE RADIAL GROWTH OF *Pinus rzedowskii* AND *P. martinezii* IN MICHOACÁN, MEXICO

Manzanilla Quiñones. U., P. Delgado Valerio, T. Carlón-Allende

INFLUENCIA DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y DEL FENÓMENO ENOS EN EL CRECIMIENTO RADIAL DE *Pinus rzedowskii* Y *P. martinezii* EN MICHOACÁN, MÉXICO
INFLUENCE OF CLIMATE VARIABILITY AND THE ENSO PHENOMENON ON THE RADIAL GROWTH OF *Pinus rzedowskii* AND *P. martinezii* IN MICHOACÁN, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 145-163 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.8

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Influencia de la variabilidad climática y del fenómeno ENOS en el crecimiento radial de *Pinus rzedowskii* y *P. martinezii* en Michoacán, México

Influence of climate variability and the ENSO phenomenon on the radial growth of *Pinus rzedowskii* and *P. martinezii* in Michoacán, Mexico

Ulises Manzanilla-Quiñones / ulises.manzanilla@umich.mx
https://orcid.org/0000-0001-9988-7577
Patricia Delgado-Valerio
https://orcid.org/0000-0002-3975-8105
Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez". Paseo Lázaro Cárdenas 2290. Colonia Emiliano Zapata. C.P: 60170, Uruapan, Michoacán, México

Teodoro Carlón-Allende
https://orcid.org/0000-0002-0080-6114
SECIHTI-Instituto de Geofísica Unidad Michoacán Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua carretera a Pátzcuaro número 8701. Colonia Ex-Hacienda de San José de la Huerta. C.P: 58190, Morelia, Michoacán, México

Ulises Manzanilla Quiñones, Patricia Delgado Valerio, Teodoro Carlón Allende

INFLUENCIA DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y DEL FENÓMENO ENOS EN EL CRECIMIENTO RADIAL DE Pinus rzedowskii Y *P. martinezii* EN MICHOACÁN, MÉXICO

INFLUENCE OF CLIMATE VARIABILITY AND THE ENSO PHENOMENON ON THE RADIAL GROWTH OF PINUS RZEDOWSKII AND P. MARTINEZII IN MICHOACÁN, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 145-163. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.8

RESUMEN: En Michoacán, son escasos los estudios que han analizado el comportamiento de la variabilidad hidroclimática mediante el uso de anillos de crecimiento. El presente estudio evaluó la influencia de la variabilidad climática y del fenómeno ENOS sobre el crecimiento radial de *Pinus rzedowskii* y *P. martinezii* en Michoacán, México. Se fecharon 18 árboles (45 muestras) de *P. rzedowskii* y 12 árboles (31 muestras) de *P. martinezii*. En ambas especies, se midió el ancho de anillo total en un micrómetro. Posteriormente, se efectuaron análisis de correlación Bootstrap entre las cronologías de cada especie y los datos climáticos y oceánicos (Índice Multivariado de ENOS, IME). Se encontró que, *P. rzedowskii* respondió de manera positiva significativa con la precipitación de enero-marzo (1945-2015; $r>0.28$; $p<0.05$). La respuesta en temperatura máxima, media, mínima no fue significativa (1945-2015; $r<0.28$; $p<0.05$). Del mismo modo, la especie no fue afectada por IME (1972-2015; $r<0.25$; $p<0.05$). *P. martinezii* respondió de manera positiva significativa con la precipitación de enero, abril, junio, agosto y octubre (1953-2016; $r>0.28$; $p<0.05$). La especie presentó una respuesta negativa significativa con la temperatura máxima de los seis meses previos y 12 meses actuales (1953-2016; $r=>-0.31$; $p<0.05$), mientras que la influencia de IME en sus fases "El Niño" y "La Niña" tuvieron un efecto dipolar en el crecimiento de *P. martinezii*. Pese a que ambas especies presentan un potencial dendroclimático bajo, la dicotomía hallada en *P. rzedowskii* y *P. martinezii* sobre sus distintas respuestas climáticas-oceánicas ayudaría a planear futuras estrategias de manejo y conservación de ambas especies.

Palabras clave: Anillos de crecimiento, Dendrocronología, ENOS, *Pinus martinezii, Pinus rzedowskii,* series de crecimiento

ABSTRACT: In Michoacán, few studies have analyzed hydroclimatic variability using tree rings. This study evaluated the influence of climate variability and the ENSO phenomenon on the radial growth of *Pinus rzedowskii* and *P. martinezii* in Michoacán, Mexico. Eighteen trees (45 samples) of *P. rzedowskii* and 12 trees (31 samples) of *P. martinezii* were dated. In both species, the total ring width was measured with a micrometer. Subsequently, Bootstrap correlation analyses were performed between the chronologies of each species and climatic and oceanic data (Multivariate ENSO Index, MEI). It was found that *P. rzedowskii* responded significantly positively to precipitation from January to March (1945-2015; $r>0.28$; $p<0.05$). The response in maximum, average, and minimum temperature was not significant (1945-2015; $r<0.28$; $p<0.05$). Similarly, the species was not affected by MEI (1972-2015; $r<0.25$; $p<0.05$). *P. martinezii* responded significantly positively to precipitation in January, April, June, August, and October

(1953-2016; r>0.28; p<0.05). The species showed a significant negative response to the maximum temperature of the previous six months and the current 12 months (1953-2016; r=>-0.31; p<0.05), while the influence of MEI in its "El Niño" and "La Niña" phases had a dipolar effect on the growth of *P. martinezii*. Although both species have low dendroclimatic potential, the dichotomy found in *P. rzedowskii* and *P. martinezii* regarding their different climatic-oceanic responses would help in planning future management and conservation strategies for both species.
Key words: Tree-ring, Dendrochronology, ENOS, *Pinus martinezii*, *Pinus rzedowskii*, growth series

INTRODUCCIÓN

El crecimiento radial de las especies arbóreas que habitan los ecosistemas forestales de todo el mundo se encuentra determinado en gran medida por la presencia y dominancia de factores ambientales, los cuales se encargan de moldear el crecimiento radial anual por medio de la formación de anillos anuales de crecimiento (Fritts, 1976; Speer, 2010).

En la actualidad, los anillos anuales de crecimiento de las especies arbóreas se han empleado como bioindicadores biológicos "proxy", es decir, como fuentes indirectas para la obtención de información del ambiente donde estos crecen, asimismo, la información extraída de la variación en el grosor de los anillos de crecimiento, representan con un alto grado de confiabilidad el comportamiento de las fluctuaciones ocurridas a diferentes escalas temporales y espaciales en muchas regiones geográficas del mundo (Stahle, *et al.*, 2016; Villanueva-Díaz J. , *et al.*, 2018; Manzanilla-Quiñones, Aguirre-Calderón, Villanueva-Díaz, Martínez-Sifuentes, & Delgado-Valerio, 2021) por lo que, a este tipo de análisis, se les conoce como estudios dendrocronológicos. Los estudios dendrocronológicos se han consolidado como una fuente valiosa y confiable para evaluar la relación entre el crecimiento radial y variables climáticas como precipitación y temperatura en muchas partes del mundo (Vejpustková & Čihák, 2019; Yang, et al., 2020; Manzanilla-Quiñones, Delgado-Valerio, & Molina-Sánchez, 2024). Lo que, ha permitido determinar con precisión el comportamiento histórico del clima, principalmente, la variabilidad de la precipitación (Stahle, *et al.*, 2016; Villanueva-Díaz J. , *et al.*, 2018; Carlón, Villanueva. D, Soto, Mendoza, & Macías, 2021), así como evaluar la influencia de fenómenos océano-atmosféricos de escala global, principalmente El Niño Oscilación del Sur (ENOS) sobre el crecimiento radial arbóreo (Stahle, *et al.*, 2016; Carlón, Villanueva. D, Soto, Mendoza, & Macías, 2021), Asimismo, ha contribuido a la comprensión de la dinámica ecológica de los regímenes de intensidad y frecuencia del fuego presentes en las masas y rodales forestales, evaluación de la incidencia de plagas forestales (Cerano-Paredes, *et al.*, 2019; Cervantes-Martínez, *et al.*, 2019), así como el desarrollo de estrategias de prevención de desastres naturales como deslaves y derrumbes de montañas o cerros, los cuales representan un riesgo para la población rural circundante (De la Peña, Mendoza, Carlón-Allende, Macías-Vázquez, & Villanueva-Díaz, 2024; Vázquez-Selem, Franco-Ramos, Villanueva-Díaz, Cerano-Paredes, & Stahle, 2025).

La investigación de tipo dendrocronológica en México ha tenido un notorio avance significativo en los últimos 30 años (Carlón-Allende, De la Peña, Villanueva-Díaz, & Macías-Vázquez, 2025) no obstante, a pesar de este gran avance en la disciplina, aún existen muchos vacíos de información (áreas geográficas y especies arbóreas, principalmente latifoliadas) que no han sido evaluadas desde una perspectiva dendrocronológica (Acosta-Hernández, Pompa-García, & Camarero, 2017; Carlón-Allende, De la Peña, Villanueva-Díaz, & Macías-Vázquez, 2025) las cuales pueden y ayudarían a contribuir a un mejor entendimiento de la variabilidad hidroclimática de una región geográfica.

Debido a su posición geográfica, relieve y amplia diversidad de climas presentes, México es una nación que posee una gran riqueza biológica, con una alta presencia de organismos biológicos de flora y fauna endémicos y exclusivos al territorio nacional (Biodiversidad Mexicana, 2024). En el orden de las coníferas, específicamente, el género *Pinus* es considerado como uno de los géneros más diversos en nuestro país, las estimaciones actuales hacen mención de un 50% del

total de taxas existentes a escala global, con una presencia marcada de 52 especies, dos subespecies, 14 variedades y cuatro formas (Perry, 1991). Asimismo, se tiene registro de 22 especies de pinos que son endémicas a la superficie nacional, esto último, permite clasificar a México, como un centro secundario de diversificación de estas especies a nivel mundial (Gernandt & Pérez de la Rosa, 2014).

Para el caso específico del estado de Michoacán de Ocampo, los estudios dendrocronológicos realizados a través del uso de anillos de crecimiento de especies arbóreas, específicamente en ejemplares pertenecientes a la familia Pinaceae corresponden a *Abies religiosa* Kunth Schltdl *et* Cham (Huante, Rincón, & Swetnam, 1991; Cerano-Paredes, et al., 2014; Carlón, Mendoza, Salicrup, Villanueva, & Lara, 2016), *P. devoniana* Lindl (Marlés, *et al.*, 2015), *P. pseudostrobus* Lindl (Carlón, Mendoza, Salicrup, Villanueva, & Lara, 2016) y *P. hartwegii* Lindl (Carlón, Villanueva. D, Soto, Mendoza, & Macías, 2021; Manzanilla-Quiñones, Aguirre-Calderón, Villanueva-Díaz, Martínez-Sifuentes, & Delgado-Valerio, 2021) por lo que aún existen muchas especies de esta familia, que aún no han sido evaluadas desde un enfoque dendrocronológico.

P. rzedowskii Madrigal et Caballero y *P. martinezii* E. Larsen, son especies de pinos endémicas y en peligro o vías de extinción, ambas especies presentan poblaciones aisladas y tienen una distribución restringida y discontinua, limitada exclusivamente al polígono del estado de Michoacán (Delgado, Pinero, Chaos, Pérez, & Álvarez, 1999; Contreras-Bailón, et al., 2025). Afortunadamente, ambas especies se encuentran bajo protección legal por la Norma Oficial Mexicana 059 de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat, 2010) lo que, hasta cierto punto, garantiza su conservación en la naturaleza. Desde su descripción, han sido escasamente estudiadas, por lo que se desconocen diversos aspectos biológicos de estos taxa, entre ellos la señal de tipo dendrocronológica registrada en sus anillos de crecimiento. Por lo tanto, bajo este trasfondo, el presente estudio pretende evaluar la influencia de la variabilidad climática y del fenómeno ENOS sobre el crecimiento radial de *Pinus rzedowskii* y *P. martinezii* en dos sitios ubicados en el estado de Michoacán, México. Por lo anterior, se platearon los siguientes objetivos: 1) identificar la variable climática más limitante e influyente en el crecimiento radial de cada especie y 2) estimar la influencia del Índice Multivariado del Niño Oscilación del Sur (IME) en el crecimiento radial de las especies analizadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los árboles estudiados de *P. rzedowskii* se distribuyen dentro del municipio de Coalcomán de Vázquez Pallares, Michoacán, entre las coordenadas geográficas 18° 42’ 9.4’’ y 18° 41’ 38.2’’ de latitud norte y 103° 0’ 41.5’’ y 103° 0’ 3.6’’ de longitud oeste, mientras que los árboles analizados de *P. martinezii* se encuentran dentro del municipio de Hidalgo, Michoacán, entre las coordenadas geográficas 19° 45’ 03.1’’ y 19° 42’ 57.1’’ de latitud norte y 100° 43' 16.3'' y 100° 40’ 16.9’’ de longitud oeste (Figura 1).

Núm. 61: 145-163 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

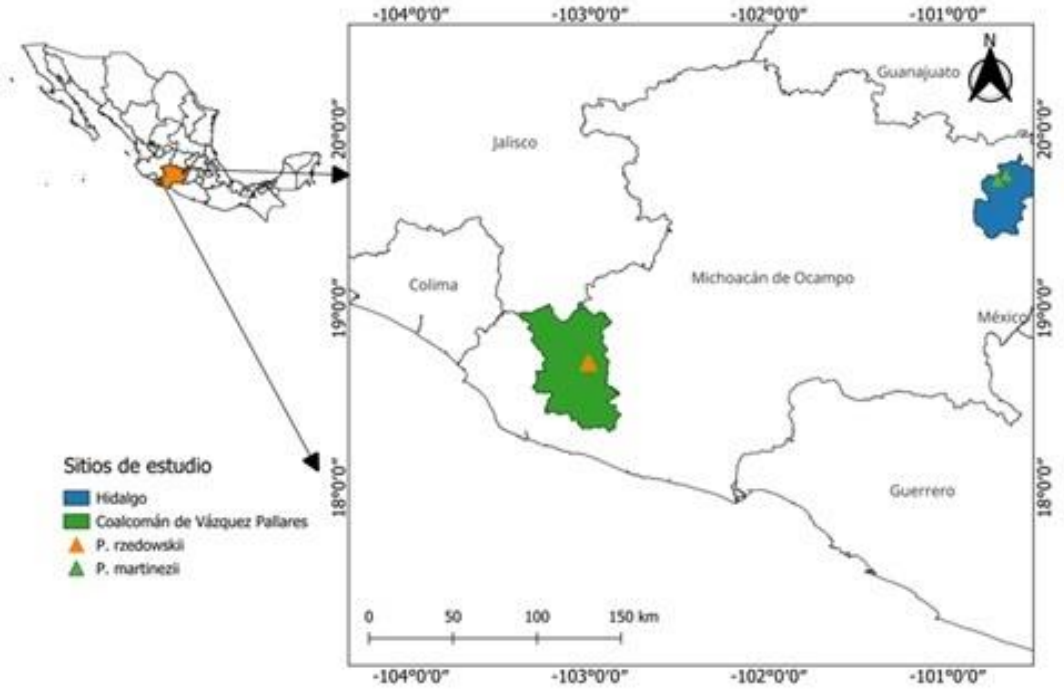


Figura 1. Localización geográfica de los sitios de estudio de *P. rzedowskii* y *P. martinezii* en Michoacán, México.
Figure 1. Geographic location of the study sites for *P. rzedowskii* and *P. martinezii* in Michoacán, Mexico.

Descripción ambiental

Los árboles evaluados de *P. rzedowskii* crecieron en un clima semicálido subhúmedo AC(w2) con una temperatura promedio anual mayor a 18 °C y una temporada de lluvias marcada durante el verano (Cuervo-Robayo, *et al.*, 2014). La altitud promedio del sitio de muestreo es de 2308 msnm con una exposición hacia el sureste y una pendiente promedio de 7.2%. El suelo dominante del lugar es de tipo Luvisol crómico (Lc) (INEGI, 2014), mientras que la vegetación dominante corresponde a Bosque de Pino (INEGI, 2021).

Los árboles estudiados de *P. martinezii* crecieron en un clima templado subhúmedo C(w2), con una temperatura promedio anual de 12 a 18 °C y una estación de lluvias durante el verano (Cuervo-Robayo, *et al.*, 2014). La altitud promedio del sitio de muestreo es de 2439 msnm, con una exposición dominante sureste y una pendiente promedio de 18.6%. El tipo de suelo dominante corresponde a Andosol húmico (Th), mientras que los tipos de vegetación dominantes corresponden a Bosque de Pino-Encino y Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque de Pino (INEGI, 2021).

Muestreo dendrocronológico

Para la toma de datos del presente estudio, se aplicó un muestreo dendrocronológico de tipo selectivo, el cual consistió en la selección de 22 árboles sanos de *P. rzedowskii* y 20 árboles de *P. martinezii*. La toma de datos dendrocronológicos se efectuó en el mes de abril de 2022 para *P. rzedowskii*, mientras que para *P. martinezii*, la toma de datos se efectuó en el mes de marzo de 2023. En el levantamiento de datos, se procedió a extraer tres núcleos de crecimiento por cada árbol analizado con ayuda de un taladro de Pressler marca Haglöf® de 50 cm de longitud y diámetro de 5.15 mm, así como también se midió el diámetro normal con una cinta métrica. Las muestras fueron tomadas a 1.3 m (diámetro normal) de altura del suelo, en dirección

perpendicular a la pendiente. Posteriormente, las muestras se depositaron en popotes de papel perforados, esto con la finalidad de evitar su pudrición y posterior análisis en el laboratorio.

Procesamiento y fechado de muestras

Las muestras se colocaron sobre moldes de madera (portavirutas) para ser pulidas con ayuda de diferentes tipos de lijas (60 a 1200 granos por cm^2), posteriormente fueron prefechadas y analizadas mediante técnicas dendrocronológicas tradicionales (Fritts, 1976).

El fechado de las muestras se realizó mediante técnicas de fechado cruzado, lo que permitió asignar el año exacto de formación a cada anillo de crecimiento, así como identificar anomalías en el crecimiento como anillos falsos, dobles o perdidos en el tiempo (Fritts, 1976; Grissino-Mayer, 2001). La medición del ancho de anillo total de ambas especies se llevó a cabo con ayuda de un sistema de medición VELMEX® (Robinson & Evans, 1980). En la Figura 2 se pueden los observar los anillos de crecimiento de *P. rzedowskii* (A) y *P. martinezii* (B).

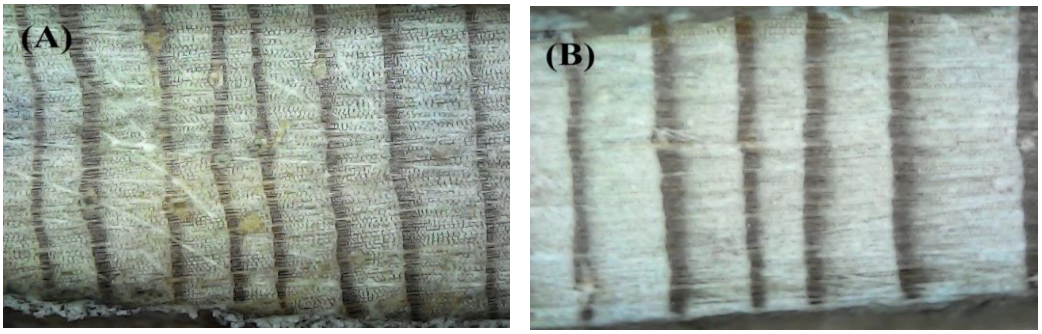


Figura 2. Anillos de crecimiento de *P. rzedowskii* (A) y *P. martinezii* (B).
Figure 2. Tree-ring of *P. rzedowskii* (A) and *P. martinezii* (B).

La calidad del fechado de anillos se efectuó en el programa Cofecha (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001) mediante correlaciones de Pearson de las mediciones de las muestras, en segmentos de 50 años, con traslapes cada 25 años (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001). La calidad y precisión del fechado de muestras se evaluó mediante el umbral de confianza de $r > 0.328$ ($p < 0.01$), donde para que un fechado sea estadísticamente confiable, debe presentar un valor de intercorrelación entre series mayor a 0.328 (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001).

Las series de crecimiento de anillo total de *P. rzedowskii* y *P. martinezii* se generaron en el programa Arstan, el cual se encargó de estandarizar las mediciones de ancho de anillo. El proceso de estandarización consistió en ajustar curvas exponenciales negativas a las series de crecimiento, con el objetivo de reducir la varianza entre las medidas de las series dendrocronológicas relacionadas con la edad y transformar la variación del grosor del ancho de anillos en índices adimensionales (Briffa & Jones, 1990). Posteriormente, se les aplico un Spline cubico suavizado de 128 años, conservando el 50% de la varianza y el 67% de la longitud de la serie de crecimiento (Cook, 1987); esto último, permite resaltar las tendencias del comportamiento del crecimiento radial de las especies. La aplicación de estos ajustes permitió destacar la señal de interés, eliminando factores biológicos del crecimiento radial y maximizando las variaciones climáticas de alta frecuencia (sequias, años húmedos, etc.) registradas en el grosor de los anillos de crecimiento (Fritts, 1976; Cook, 1987).

Análisis dendrocronológico

Los parámetros dendrocronológicos utilizados en la evaluación del potencial dendrocronológico de las series dendrocronológicas de *P. rzedowskii* y *P. martinezii* fueron intercorrelación entre series (ICS), sensibilidad media (SM), autocorrelación de primer orden (APO), variación del primer componente principal (VPC), señal expresada de la población (SEP) y relación señal-ruido (RSR).

Datos climáticos

La información de tipo climática se obtuvo de la plataforma del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE, 2024). Esta información correspondió a los valores mensuales de precipitación y temperatura (máxima, promedio y mínima) de las estaciones meteorológicas con registros mayores a 30 años y cercanas a los sitios de estudio. Para la especie *P. rzedowskii*, las estaciones meteorológicas seleccionadas fueron Aguililla, Apatzingán (SMN) y Coalcomán (SMN) mientras que, para *P. martinezii*, se seleccionaron las estaciones meteorológicas de Presa Pucuato, Presa Sabaneta y Huajumbaro. Los registros descargados de las estaciones meteorológicas cercanas a los sitios de estudio se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los registros climáticos descargados de las estaciones meteorológicas cercanas a los sitios de *P. rzedowskii* y *P. martinezii*.
Table 1. Description of climate records downloaded from weather stations near the sites of *P. rzedowskii* and *P. martinezii*.

Especie	Estación Meteorológica	Clave Conagua	Coordenadas Latitud (N) Longitud (W)	Altitud (msnm)	Variable	Periodo de actividad	Datos completos (%)
P. rzedowskii	Agüilla	16003	N 18°43'59.78" W 102°45'45.04"	896	Precipitación	1943-1982	99.6
					Temperatura máxima	1961-1982	68.5
					Temperatura media	1961-1982	68.5
					Temperatura mínima	1961-1982	68.5
	Coalcomán (SMN)	16154	N 18°45'59.93" W 103° 9'8.73"	1044	Precipitación	1936-1988	100
					Temperatura máxima	1937-1988	98.2
					Temperatura media	1937-1988	98.2
					Temperatura mínima	1937-1988	98.2
	Apatzingán (SMN)	16007	N 19° 5'18.80" W 102°21'21.01"	326	Precipitación	1945-2015	100
					Temperatura máxima	1945-2015	99.6
					Temperatura media	1945-2015	99.6
					Temperatura mínima	1945-2015	99.6
P. martinezii	Presa Pucuato	16097	N 19°37'19.52" W 100°41'10.02"	2490	Precipitación	1951-2018	90.1
					Temperatura máxima	1951-2018	90.3
					Temperatura media	1951-2018	90.3
					Temperatura mínima	1951-2018	90.3
	Presa Sabaneta	16098	N 19°36'35.83" W 100°40'9.68"	2510	Precipitación	1953-2016	99.1

Especie	Estación Meteorológica	Clave Conagua	Coordenadas Latitud (N) Longitud (W)	Altitud (msnm)	Variable	Periodo de actividad	Datos completos (%)
					Temperatura máxima	1953-2016	95.8
					Temperatura media	1953-2016	95.8
					Temperatura mínima	1953-2016	95.8
	Huajumbaro	16235	N 19°40'44.88" W 100°44'30.36"	2285	Precipitación	1984-2021	94.2
					Temperatura máxima	1984-2021	94.4
					Temperatura media	1984-2021	94.4
					Temperatura mínima	1984-2021	94.4

Los registros faltantes de precipitación y temperatura máxima, promedio y mínima de las estaciones meteorológicas fueron estimados mediante la aplicación de medias móviles de orden n= 5 (Schulz, 1976). Debido al alto porcentaje de datos incompletos presentados por la estación meteorológica de Aguililla, se optó por descartar esta estación de los análisis posteriores.

Respuesta crecimiento y clima

Se obtuvieron los valores de los coeficientes de correlación entre las cronologías y los datos climáticos para cada especie mediante el uso del programa Dendroclim con un nivel de significancia de $P<0.05$ (Biondi & Waikul, DendroClim2002: a C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies, 2004). El análisis se efectuó en ventanas temporales de 18 meses, es decir, se analizaron los seis meses previos al año de crecimiento y los 12 meses del año actual de crecimiento (Carlón, Villanueva. D, Soto, Mendoza, & Macías, 2021) con la finalidad evaluar meses y/o estaciones que más influyeron en el crecimiento radial de ambas especies.

Influencia de ENOS

Se descargaron los datos del Índice Multivariado del Niño oscilación del Sur (IME) de la plataforma National Oceanic Administration Agency (NOAA, 2024) el cual sirvió para estimar la influencia de IME sobre el crecimiento radial de *rzedowskii* y *P. martinezii*. El análisis se realizó en ventanas temporales de 18 meses, es decir, se analizaron los seis meses previos y los 12 meses actuales (Carlón, Villanueva. D, Soto, Mendoza, & Macías, 2021) mediante correlaciones Bootstrap en el programa Dendroclim con un nivel de significancia de $p < 0.05$ (Biondi & Waikul, DendroClim2002: a C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies, 2004). De manera similar, se efectuaron análisis de correlación de Pearson entre los años considerados como extremos (valores de IAA < 0.9; IAA > 1.1) y los valores mensuales de IME de los periodos; 1979-2021 para *P. rzedowskii* y 1979-2022 para *P. martinezii*, con el objetivo de determinar años o periodos de influencia del fenómeno en sus diferentes fases; "El Niño" y "La Niña" sobre el crecimiento radial de las especies.

RESULTADOS

Series de crecimiento de ancho de anillo

El número de núcleos de crecimiento fechados para la elaboración de la serie de crecimiento de ancho de anillo de *P. rzedowskii* fue de 45 muestras (68.2%) correspondiente a 18 árboles, mientras que para la realización de la serie de crecimiento de ancho de anillo de *P. martinezii* se

fecharon 31 muestras (51.7%) correspondiente a 12 árboles. El porcentaje restante de las muestras fue descartado del análisis, debido a que presentaron problemas de crecimiento, lo que ocasionó que los valores de intercorrelación entre series fueran menores al umbral mínimo confiable ($r <$ 0.328). Las series de crecimiento (núcleos de crecimiento) que se lograron fechar de manera correcta presentaron valores de intercorrelaciones entre series (ICS) de $r = 0.40$ ($p < 0.01$) con una extensión temporal que abarco el periodo de 1731-2021 para *P. rzedowskii* (Figura 3) y de $r = 0.36$ ($p < 0.01$) con una extensión temporal que abarco el periodo de 1908-2022 para *P. martinezii* (Figura 4).

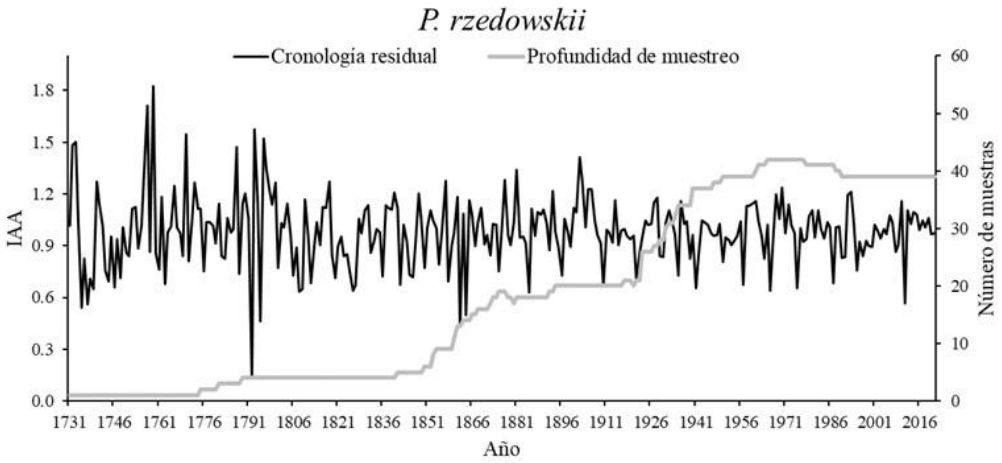


Figura 3. Cronología residual generada para *P. rzedowskii*.
Figure 3. Residual chronology developed for *P. rzedowskii*.

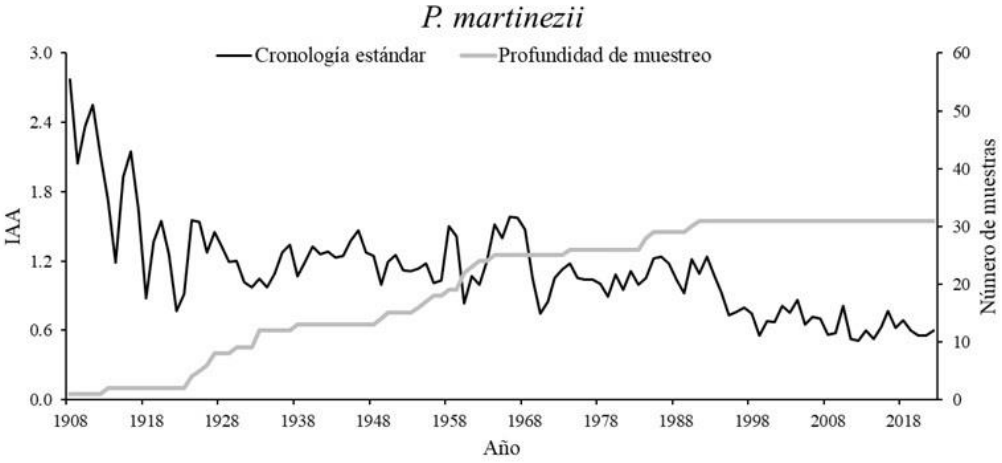


Figura 4. Cronología estándar generada para *P. martinezii*.
Figure 4. Standard chronology developed for *P. martinezii*.

Parámetros dendrocronológicos

Los resultados de los parámetros dendrocronológicos obtenidos para *P. rzedowskii* (cronología residual) y *P. martinezii* (cronología estándar) se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros dendrocronológicos calculados para *P. rzedowskii* y *P. martinezii*.
Table 2. Dendrochronological parameters calculated for *P. rzedowskii* and *P. martinezii*.

	Parámetros dendrocronológicos				
Especie	SM	APO	VPC (%)	SEP (>0.85)	RSR (%)
P. rzedowskii	0.20	0.31	15.65	1941-2021	1.97
P. martinezii	0.15	0.74	45.46	1930-2022	16.67

SM: Sensibilidad media, APO: Autocorrelación de primer orden, VPC: Variación del primer componente principal, SEP: Señal expresada de la población, RSR: Relación señal-ruido.

Influencia del clima

Los resultados del análisis de correlación entre los registros de precipitación mensual de 1945-2015 de la estación meteorológica Apatzingán y la cronología de *P. rzedowskii* indicaron una asociación significativa positiva ($p < 0.05$) durante los meses de enero ($r = 0.34$), febrero ($r = 0.30$) y marzo ($r = 0.28$) del año actual del crecimiento, del mismo modo, se encontró una asociación significativa negativa ($r = -0.26$, $p < 0.05$) para el mes de agosto del año anterior del crecimiento (Figura 5A).

Para el caso del análisis de la temperatura máxima, no se presentaron valores significativos de correlación en ninguno de los 18 meses evaluados del periodo 1945-2015 ($r < 0.28$, $p > 0.05$, Figura 5B). De la misma manera que, para la temperatura media, no se presentó correlación significativa, ya sea de tipo positiva o negativa (1945-2015; $r < 0.20$, $p > 0.05$, Figura 5C), lo mismo ocurrió para la temperatura mínima, donde no se identificó ninguna correlación significativa (1945-2015; $r = -0.23$; $p > 0.05$; Figura 5D).

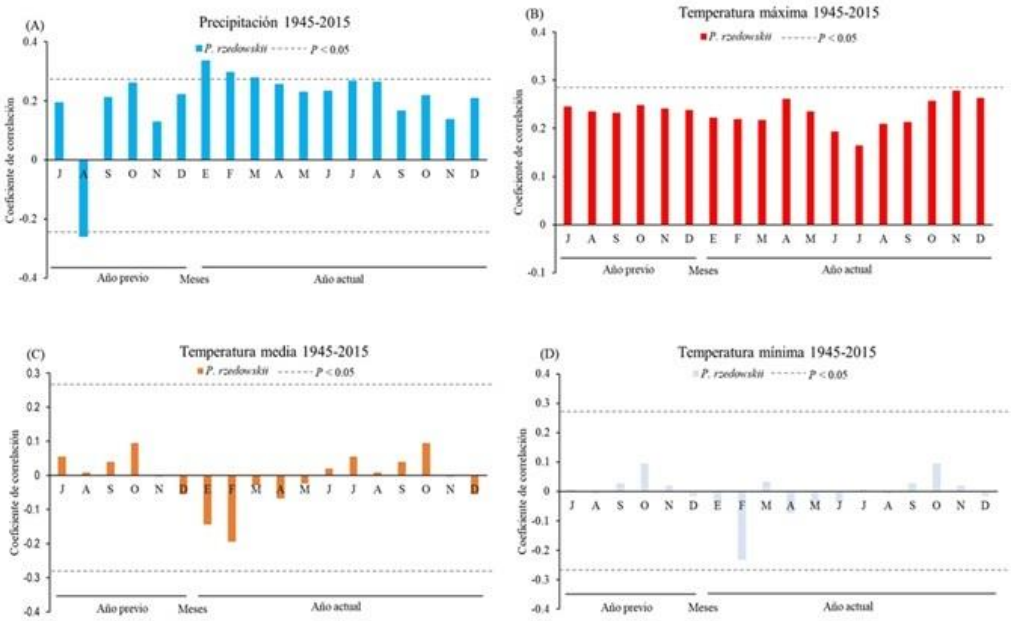


Figura 5. Coeficientes de correlación entre la cronología de *P. rzedowskii* y los registros mensuales de precipitación (A), temperatura máxima (B), temperatura media (C) y temperatura mínima (D). La línea gris discontinua indica el nivel de significancia de cada variable.

Figure 5. Correlation coefficients between the chronology of *P. rzedowskii* and monthly records of precipitation (A), maximum temperature (B), average temperature (C), and minimum temperature (D). The gray dashed line indicates the significance level of each variable.

Los resultados del análisis de correlación entre los registros de precipitación mensual de 1953-2016 de la estación meteorológica Presa Sabaneta y la cronología de *P. martinezii* indicaron una correlación significativa positiva ($p < 0.05$) durante los meses de enero ($r= 0.30$), abril ($r= 0.38$), junio ($r= 0.39$), agosto ($r= 0.43$) y octubre ($r= 0.28$) del año actual del crecimiento (Figura 6A).
Para el caso del análisis de la temperatura máxima, se presentaron valores de correlación negativos significativos entre la cronología de *P. martinezii* y los 18 meses de 1953-2016 ($r > 0.30$, $p < 0.05$), siendo los meses de febrero y mayo, los que presentaron los valores de correlación más altos ($r= -0.60$ y $r= -0.62$; Figura 6B).
Para la temperatura media, se identificó una correlación significativa negativa para los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre del año anterior (1953-2016; $r > 0.37$; $p < 0.05$) del año anterior del crecimiento, así como una correlación negativa con los meses de enero a octubre del año actual de crecimiento de 1953-2016 ($r > 0.32$; $p < 0.05$; Figura 6C).
Para la temperatura mínima, se encontró una asociación positiva significativa para el mes de diciembre del año anterior y diciembre del año actual de crecimiento de 1953-2016 ($r= 0.29$; $p < 0.05$; Figura 6D).

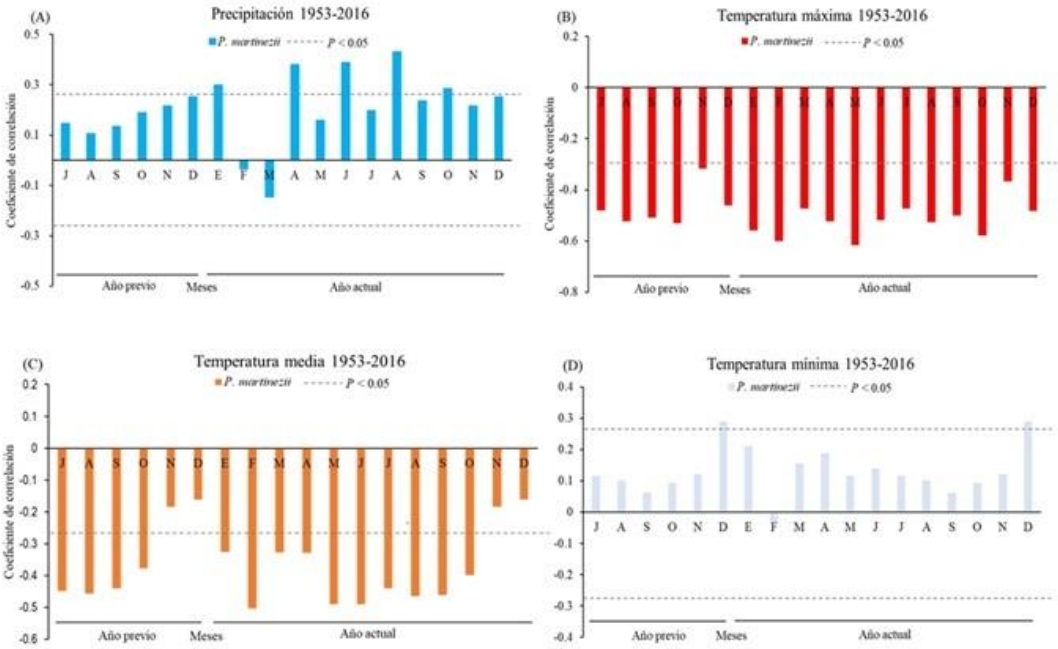


Figura 6. Coeficientes de correlación entre la cronología de *P. martinezii* y los registros mensuales de precipitación (A), temperatura máxima (B), temperatura media (C) y temperatura mínima (D). La línea gris discontinua indica el nivel de significancia de cada variable.
Figure 6. Correlation coefficients between the chronology of *P. martinezii* and monthly records of precipitation (A), maximum temperature (B), average temperature (C), and minimum temperature (D). The gray dotted line indicates the significance level of each variable.

Influencia de ENOS

Los resultados del análisis de correlación entre la cronología de *P. rzedowskii* y el índice IME indicaron una débil influencia positiva no significativa de IME sobre el crecimiento radial de la especie durante los 18 meses evaluados del periodo 1979-2021 ($r < 0.22$; $p > 0.05$; Figura 7). Por otra parte, los resultados del análisis de correlación entre los años extremos (Tabla 3) y los valores mensuales de IME indicaron una débil influencia negativa de IME sobre el crecimiento radial durante los meses de enero-diciembre de los años 1987, 1990, 1991, 1995, 1997, 1999, 2000, 2008 y 2011 ($r= -0.15$; $p < 0.05$), mientras que, para los años 1992, 1993, 2010 y 2011 se encontró

una fuerte correlación positiva no significativa con el promedio mensual de enero-junio (r= 0.91; $p > 0.05$).

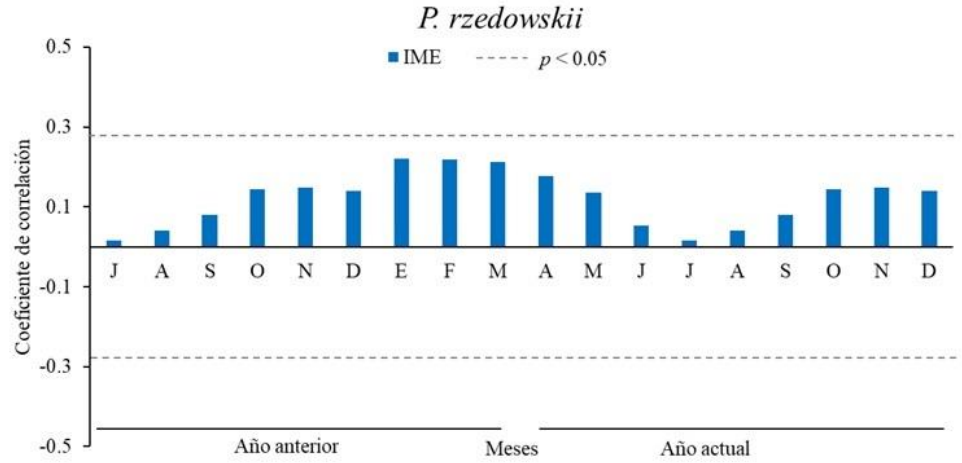


Figura 7. Coeficientes de correlación entre la cronología de *P. rzedowskii* y el índice IME del periodo 1979-2021.
Figure 7. Correlation coefficients between the chronology of *P. rzedowskii* and the IEM index for the period 1979–2021.

Por otra parte, los resultados del análisis de correlación entre la cronología de *P. martinezii* y el índice IME indicaron una correlación positiva significativa ($r > 0.26$; $p < 0.05$) que se extendió desde diciembre del año anterior de crecimiento hasta diciembre del año actual de crecimiento del periodo 1979-2022 (excepto agosto; Figura 8). Por otra parte, los resultados del análisis de correlación entre los años extremos (Tabla 3) y los valores mensuales de IME indicaron una influencia moderada positiva significativa de IME sobre el crecimiento radial de la especie durante el promedio mensual de enero-mayo de 1979 y 1995-2022 (r= 0.47; $p < 0.05$) mientras que, para 1982, 1985, 1986, 1987, 1990 y 1992 se encontró una fuerte influencia negativa no significativa de IME durante junio-diciembre sobre el crecimiento radial de la especie (r= -0.74; $p > 0.05$).

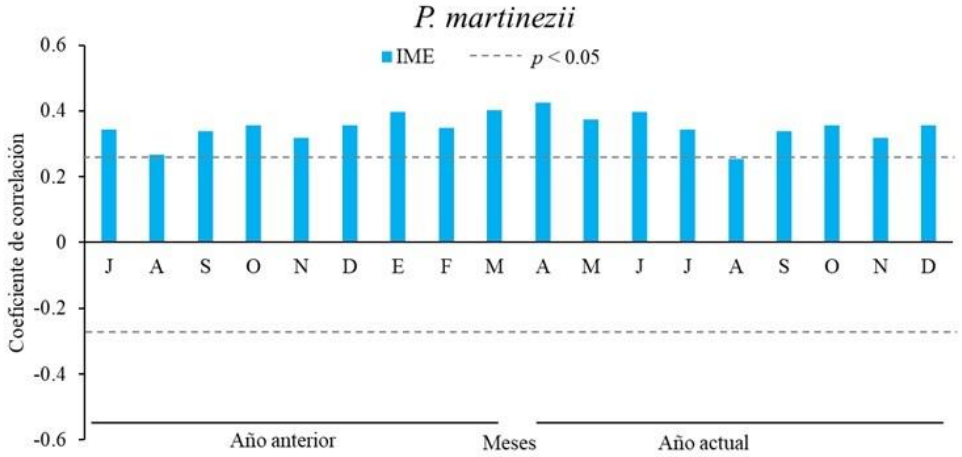


Figura 8. Coeficientes de correlación entre la cronología de *P. martinezii* y el índice IME del periodo 1979-2022.
Figure 8. Correlation coefficients between the chronology of *P. martinezii* and the IEM index for the period 1979–2022.

Tabla 3. Años registrados como eventos extremos en *P. rzedowskii* y *P. martinezii*.
Table 3. Years recorded as extreme events in *P. rzedowskii* and *P. martinezii*.

Especie	Años (IAA < 0.9)	Años (IAA > 1.1)
P. rzedowskii	1987, 1990, 1991, 1995, 1997, 1999, 2000, 2008 y 2011	1992, 1993, 2010 y 2011
P. martinezii	1979 y 1995-2022	1982, 1985, 1986, 1987, 1990 y 1992

IAA; Índice de ancho de anillo

DISCUSIÓN

Los valores de intercorrelación entre series de 0.40 (*P. rzedowskii*) y 0.36 (*P. martinezii*) fueron mayores al umbral de 0.328 ($p < 0.01$) lo que indica que el fechado de anillos de crecimiento es estadísticamente confiable (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001). Los resultados de sensibilidad media de 0.20 obtenido en *P. rzedowskii* y 0.15 para *P. martinezii* son inferiores en comparación con lo reportado para *P. devoniana* (0.23) y *P. hartwegii* (0.24), ambas especies, distribuidas en Michoacán (Marlés, *et al.*, 2015; Carlón, Villanueva. D, Soto, Mendoza, & Macías, 2021).

A pesar de que el suelo representa un factor determinante en las condiciones de la dinámica de crecimiento forestal (Ruíz-Ortíz, 2020), el crecimiento radial de *P. rzedowskii* y *P. martinezii* probablemente se vio influenciado por la combinación de factores como la competencia entre árboles y las prácticas silvícolas efectuadas durante el periodo de administración del bosque, lo que repercutió en la captación de la sensibilidad media de las especies evaluadas (Chadwick & Larson, 1996; Monárrez-González, Pérez-Verdín, López-González, Márquez-Linares, & González-Elizondo, 2018).

La variabilidad de la autocorrelación de primer orden obtenida en *P. rzedowskii* (0.31) indica que el crecimiento radial anual de la especie estuvo moderadamente influenciado por las condiciones climáticas dominantes del año previo (Fritts, 1976). Por su parte, el valor de autocorrelación de primer orden obtenida para *P. martinezii* fue muy alto (0.74), lo que indica una alta influencia de las condiciones climáticas dominantes del año previo sobre el año actual del crecimiento. Por lo que, acorde con estos resultados, *P. rzedowskii* presenta un valor aceptable de autocorrelación de primer orden, mientras que, *P. martinezii* presenta una alta correlación de primer orden que afecta su crecimiento radial anual, esto último, se considera como no deseado para realizar estudios de reconstrucción paleoclimática (Fritts, 1976; Constante, Villanueva, Cerano, Cornejo, & Valencia, 2009; Villanueva-Díaz J. , *et al.*, 2018).

La variación del primer componente principal registrada en *P. rzedowskii* (15.65%) y *P. martinezii* (45.46%) representa la señal común de crecimiento entre los árboles muestreados. Este parámetro oscila entre 0 a 100%, donde valores altos indican una mayor señal climática común en el crecimiento radial (Briffa & Jones, 1990). Acorde con estos resultados, se puede decir que *P. rzedowskii* tiene un crecimiento más heterogéneo, con una baja capacidad de registrar las variaciones climáticas.

La relación señal-ruido obtenida en *P. rzedowskii* de 1.97 y *P. martinezii* de 16.67 representan la proporción de la señal deseada con respecto a los disturbios y otros factores ajenos con el comportamiento del clima, considerados como ruido (Fritts, 1976; Villanueva-Díaz J. , *et al.*, 2018). De acuerdo con este parámetro, *P. rzedowskii* presenta una relación señal-ruido muy baja, caso contrario para *P. martinezii*, donde la relación señal-ruido de 16.67, considerada como alta, la cual pudiera deberse a la presencia de factores locales externos ajenos al clima, como la competencia entre árboles y las prácticas silvícolas realizadas en el sitio, factores que influyeron sobre el crecimiento de la especie.

Respuesta climática de las especies

Pese a que la distancia geográfica lineal entre *P. rzedowskii* y *P. martinezii* es de 235 km, se entiende que las condiciones ambientales donde crecen ambas especies son heterogéneas. Por lo tanto, los árboles de *P. rzedowskii* que se encuentran más cercanos a la costa (65 km de distancia lineal) presentan una respuesta clima-crecimiento radial distinta en comparación con los árboles

de *P. martinezii* que se localizan en un sitio más continental (300 km de distancia lineal del mar), esto se puede explicar por la presencia de barreras geográficas, específicamente, cadenas montañosas, ubicadas en la Sierra Madre del Sur, las cuales modularían mediante la convergencia friccional entre las masas de aire frío y caliente, la cantidad de humedad proveniente del Océano Pacífico (García, 1974; Manzanilla-Quiñones, Aguirre-Calderon, Jiménez-Pérez, & Villanueva-Díaz, 2020) que llega a los sitios de estudio. Por lo tanto, a partir del análisis de las condiciones hidroclimáticas de los sitios de *P. rzedowskii* y *P. martinezii*, se puede afirmar que existe una diferenciación en la repuesta clima-crecimiento radial, similar con lo reportado para *P. herrerae*, *P. durangensis*, *A. durangensis*, *Cupressus lusitanica*, *P. hartwegii*, *Picea mexicana*, *Pseudotsuga menziesii* y *A. vejari*, especies que se distribuyen en un gradiente longitudinal (este-oeste) en el norte de México (Pompa-García, Camarero, & Vivar-Vivar, 2023).

Para el caso de *P. rzedowskii*, la variación de las temperaturas máxima, media y mínima de los 18 meses evaluados no influyeron sobre el crecimiento radial de la especie (1945-2015 $r < 0.28$, $p > 0.05$). La muy baja respuesta detectada entre el crecimiento radial y las temperaturas probablemente se debió a la presencia de factores ecológicos como la competencia y/o la intensidad del manejo forestal (practicas silvícolas), los cuales influyeron en la captación de la sensibilidad climática de la especie, esto último, ha sido corroborado en un bosque de *Pinus patula* Schl. Et Cham. en Puebla (Correa-Díaz, *et al.*, 2025). Aunado a esto, la presencia de suelos fértiles, así como de las condiciones microambientales del sitio donde crecieron los árboles de *P. rzedowskii,* limitó hasta cierto punto en la formación de anillos sensibles (Fritts, 1976; Speer, 2010; Villanueva-Díaz, *et al.*, 2016; Astudillo-Sánchez, Fowler, Villanueva-Díaz, Endara-Agramont, & Soria-Díaz, 2019).

La respuesta negativa significativa del crecimiento radial de *P. rzedowskii* con la precipitación de agosto (1945-2015; $r = -0.26$; $p < 0.05$) del año anterior se debió a que el aumento en la cantidad de lluvia recibida en ese mes, limito el crecimiento radial de la especie, por otra parte, la precipitación del año actual de crecimiento de enero ($r = 0.34$; $p < 0.05$), febrero ($r = 0.30$; $p < 0.05$) y marzo ($r = 0.28$; $p < 0.05$) de 1945-2015, al ser de baja intensidad, quedo almacenada en los primeros horizontes del suelo, para posteriormente, ser usada al inicio de la primavera, sumado a esto, la presencia de temperaturas estables influyeron en el proceso fisiológico del árbol (Biondi, Hartsough, & Galindo-Estrada, 2005).

Para el caso de *P. martinezii*, la variación de la temperatura máxima de 1953-2016 presentó una influencia negativa significativa sobre el crecimiento radial de la especie durante los 18 meses evaluados, específicamente, la influencia de los meses de febrero a mayo se considera como la más alta ($r = -0.55$; $p < 0.05$), por lo que, este periodo de influencia es similar con lo reportado por Cerano-Paredes et al. (2014) en *A. religiosa* del Parque Nacional Pico de Tancítaro, Michoacán durante enero-abril. Asimismo, Carlón *et al.* (2016) hallaron una respuesta negativa significativa de *A. religiosa* y *P. pseudostrobus* de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca durante enero-mayo. De la misma manera, Villanueva-Díaz *et al.* (2018) encontraron una respuesta negativa significativa de la temperatura máxima de enero-junio sobre el crecimiento radial de *P. oocarpa* del Bosque la Primavera, Jalisco. Por lo tanto, se entiende que el aumento de la temperatura máxima invernal tiene un efecto negativo significativo sobre el crecimiento radial de estas especies, es decir, a mayor temperatura máxima registrada durante el invierno, menor crecimiento radial, lo que ocasiona un estrés fisiológico en el árbol, debido al incremento de la evapotranspiración y la pérdida de humedad en el suelo por el efecto de las altas temperaturas (Huang, *et al.*, 2010; Zhou, Fei, Sherry, & Luo, 2012; Carlón, Mendoza, Salicrup, Villanueva, & Lara, 2016).

Para el caso de la temperatura media y mínima, la disminución de la temperatura media durante noviembre y diciembre del año anterior y actual del crecimiento ($r = -0.17$; $p > 0.05$) junto con el aumento de la temperatura mínima del mes de diciembre ($r = 0.29$; $p < 0.05$) favoreció el crecimiento radial de *P. martinezii* durante 1953-2016. Resultados similares han sido reportados por Huante *et al.* (1991) en *A. religiosa* de la Sierra Chincua, Michoacán y por Cerano-Paredes *et al.* (2014) en *A. religiosa* del Pico de Tancítaro, Michoacán. Lo que indica que el aumento de la temperatura media invernal de diciembre-febrero favorece el crecimiento radial de estas especies, distribuidas en el centro-occidente de Michoacán.

La respuesta positiva significativa del crecimiento radial de *P. martinezii* con la precipitación de abril-diciembre del año actual de crecimiento (1953-2016; r= 0.60; $p < 0.05$) es similar con lo reportado por Marlés et al. (2015) en *P. pseudostrobus* del oriente de Michoacán para abril. Esta respuesta del crecimiento radial de *P. martinezii* con la cantidad de precipitación registrada durante la temporada de lluvias difiere con lo reportado por la mayoría de los estudios realizados en México, los cuales señalan un patrón de respuesta entre el crecimiento radial y la precipitación estacional acumulada de noviembre-mayo, que se extiende desde el norte, centro y occidente de México (Stahle, et al., 2016; Villanueva-Díaz J. , et al., 2018; Osorio-Osorio, Astudillo-Sánchez, Villanueva-Díaz, Soria-Díaz, & Vargas-Tristán, 2020; Carlón, Villanueva. D, Soto, Mendoza, & Macías, 2021; Manzanilla-Quiñones, Aguirre-Calderón, Villanueva-Díaz, Martínez-Sifuentes, & Delgado-Valerio, 2021). Sin embargo, es importante mencionar que, al igual con lo reportado por Marles *et al.* (2015) en *P. pseudostrobus*, los árboles muestreados de *P. martinezii* se pueden clasificar como no potenciales para reconstrucción de precipitación acumulada, esto debido a la presencia de factores ajenos al clima que repercutieron en la captación de la señal climática.

Influencia de ENOS

A pesar de que la presencia del Niño Oscilación de Sur suele tener una influencia heterogénea contrastante sobre el crecimiento radial de las coníferas mexicanas (Villanueva-Díaz J. , *et al.*, 2018; Astudillo-Sánchez, Fowler, Villanueva-Díaz, Endara-Agramont, & Soria-Díaz, 2019; Carlón, Villanueva. D, Soto, Mendoza, & Macías, 2021) su afectación sobre el crecimiento radial de *P. rzedowskii* fue muy baja (1979-2021; $r < 0.22$; $p > 0.05$). Resultados similares han sido reportados por Villanueva-Díaz *et al.* (2018) para *P. oocarpa* del Bosque la Primavera, en Jalisco. Lo que indica que la influencia de IME tiene una baja afectación en el crecimiento radial de las coníferas del centro-occidente de México, es decir, la presencia de IME no afecta de manera significativa la variabilidad hidroclimática de la región. Sin embargo, en este estudio se encontró que durante enero-junio de 1992 y 2010, se presentaron condiciones de alta humedad, producto de la influencia de la fase "La Niña", favoreciendo el crecimiento radial de *P. rzedowskii* durante esos años. Aunado a esto, se sabe que el evento de humedad extrema registrado en 1992 se presentó desde el sur de Estados Unidos hasta el centro de México, afectando una superficie aproximada del 70% del país (Stahle, et al., 2016; Bravo, Azpra, Rodríguez, & Rodríguez, 2018). Además, el evento de 2010 correspondió a un episodio débil de "La Niña" registrado en *P. oocarpa* del occidente de México (Villanueva-Díaz J. , *et al.*, 2018).

En el caso de *P. martinezii*, IME mostro una influencia positiva significativa sobre el crecimiento radial de la especie por los efectos de "La Niña", específicamente, durante enero-mayo de 1979 y 1995-2022 (r= 0.47; $p < 0.05$) donde los años 1998, 1999, 2000, 2007, 2008 y 2011 coinciden con lo reportado por Villanueva-Díaz et al. (2018) en *P. oocarpa* del centro-occidente de México, siendo estos años considerados como episodios de "La Niña", sin embargo, la presencia de "La Niña" en el sitio tuvo un efecto dipolar sobre la influencia del crecimiento radial de la especie, donde la ausencia de condiciones húmedas y frías ocasionaron una reducción en el crecimiento radial de *P. martinezii*, es decir, lo opuesto a lo esperado para la zona centro de México (Magaña, Vázquez, Pérez, & Pérez, 2003). Por otra parte, la influencia de IME durante junio-diciembre de 1986 y 1987 coincide con lo reportado por Villanueva-Díaz et al. (2018) en *P. oocarpa* del centro-occidente de México, siendo estos años, considerados como episodios de "El Niño", donde, al igual que en la fase de "La Niña", se presentó una dipolaridad de ENSO sobre el crecimiento radial de la especie, esto provocado por el aumento en la cantidad de precipitación acumulada durante junio-diciembre y al descenso de la temperatura máxima.

CONCLUSIONES

Los árboles muestreados de *P. rzedowskii* presentan un crecimiento radial heterogéneo, con una baja capacidad para registrar las variaciones de temperatura y precipitación, así como de la influencia de ENSO, probablemente debido a la presencia de factores ecológicos ajenos al clima como el manejo forestal (prácticas silvícolas), tipo de suelo y las condiciones microambientales

del sitio, que limitaron la formación de anillos sensibles, por lo cual, los árboles analizados no son aptos para efectuar reconstrucciones paleoclimáticas.

Para el caso de los árboles muestreados de *P. martinezii*, el aumento de la temperatura máxima invernal tiene un efecto negativo significativo sobre el crecimiento radial de la especie, es decir, a mayor temperatura máxima registrada durante el invierno, menor crecimiento radial, lo que ocasiona un estrés fisiológico en el árbol, debido al incremento de la evapotranspiración y la pérdida de humedad en el suelo por el efecto de las altas temperaturas.

Se presentó una dipolaridad de ENSO sobre el crecimiento radial de *P. martinezii*, donde episodios de "El Niño" provocaron un aumento en la precipitación acumulada de junio-diciembre, así como un descenso de la temperatura máxima de ese periodo, mientras que los episodios de "La Niña" ocasionaron condiciones secas y cálidas durante enero-mayo.

Esta dicotomía hallada en *P. rzedowskii* y *P. martinezii* sobre sus distintas respuestas climáticas y oceánicas es fundamental para planear futuras estrategias de manejo y conservación de ambas especies, las cuales presentan poblaciones pequeñas, fragmentadas y aisladas en Michoacán.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo de beca de Estancia Posdoctoral (EPM 2022-2025) otorgada al primer autor. A la Coordinación de la Investigación Científica CIC de Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (Proyecto número 16976) de PDV. A la Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez" de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por las facilidades brindadas durante el desarrollo de esta investigación. A la familia Zapién y a las autoridades de la Comunidad del Varaloso de Coalcomán, Michoacán, por el apoyo durante la toma de datos en campo.

LITERATURA CITADA

Acosta-Hernández, A. C., Pompa-García, M., & Camarero, J. J. (2017). An update review of dendrochronological investigation in Mexico, a megadiverse country with a high potential for tree-ring sciences. *Forests*, 8, 160. 10.3390/f8050160.

Astudillo-Sánchez, C. C., Fowler, M. S., Villanueva-Díaz, J., Endara-Agramont, A. R., & Soria-Díaz, L. (2019). Recruitment and facilitation in Pinus hartwegii, a Mexican alpine treeline ecotone, with potential responses to climate warming. *Trees*, 33, 1087-1100. 10.1007/s00468-019-01844-3.

Biodiversidad Mexicana. (15 de 6 de 2024). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Obtenido de Biodiversidad Mexicana: https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/quees.html?fbclid=IwY2xjawMVyXBleHRuA2FlbQIxMQABHsIOCBSD7r3tW9DLAE3S12dCRwjN4SRdpJRRJjKLg2O27SRzytrFfooBARwj_aem_9F-XIPhU5X4HcYXAte1eeA

Biondi, F., & Waikul, K. (2004). DendroClim2002: a C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers and Geosciences*, 30(3), 303-311. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2003.11.004.

Biondi, F., Hartsough, P. C., & Galindo-Estrada, I. (2005). Daily weather and tree growth at tropical treeline of North America. *Artic, Antartic and Alpine Research*, 37, 6-24. 10.1657/1523-0430(2005)037[0016:dwtga]2.0.co;2 .

Briffa, K. R., & Jones, P. D. (1990). Basic chronology statistics and assessment. In E. R. Cook, & L. A. Kairiukstis, *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences* (pp. 137-152). Boston, USA: Academic Publishers.

Carlón, A. T., Mendoza, M. E., Salicrup, D. R., Villanueva, D. J., & Lara, A. (2016). Climatic responses of Pinus pseudostrobus and Abies religiosa in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Central Mexico. *Dendrochronologia*, 38, 103-116. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.04.002.

Carlón, A. T., Villanueva. D, J., Soto, C. G., Mendoza, M. E., & Macías, J. L. (2021). Tree rings as indicators of climatic variation in the Trans-Mexican Volcanic Belt, central Mexico. *Ecological Indicators*, 120(5), 106920. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106920.

Carlón-Allende, T., De la Peña, K. A., Villanueva-Díaz, J., & Macías-Vázquez, J. L. (2025). Dendrochronological research in Mexico: A bibliometric analysis. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 31, e24037. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2024.09.037.

Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., Vázquez-Selem, L., Trucios-Caciano, R., & Guerra de la Cruz, V. (2014). Reconstrucción de precipitación invierno-primavera para el Parque Nacional Pico de Tancítaro, Michoacán. *Investigaciones Geográficas*, 83, 41-54. https://doi.org/10.14350/rig.35190.

Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Cervantes-Martínez, R., Magaña-Rueda, V. O., Constante-García, V., . . . Váldez-Zepeda, D. (2019). Climatic influence on fire regime (1700 to 2008) in the Nazas watershed, Durango, Mexico. *Fire Ecology*, 15(9), 1-14. 10.1186/s42408-018-0020-x.

Cervantes-Martínez, R., Cerano-Paredes, J., Sánchez-Martínez, G., Villanueva-Díaz, J., Esquivel-Arriaga, G., Cambrón-Sandoval, V. H., . . . Castruita-Esparza, L. U. (2019). Historical bark beetle outbreaks in Mexico, Guatemala and Honduras (1895-2015) and their relationship with droughts. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 25(2), 269-290. 10.5154/r.rchscfa.2019.01.006.

Chadwick, D., & Larson, B. A. (1996). *Forest Stand Dynamics.* New York, USA: Wiley.

CICESE. (2024, 01 15). *Centro de Investigación Cientifica y de Educación Superior de Ensenada*. Retrieved from http://clicom.mex.cicese.mx/

Climate response of Douglas fir reveals recently increased sensitivity to drought stress in Central Europe. (2019).

Constante, G. V., Villanueva, D. J., Cerano, P. J., Cornejo, O. E., & Valencia, M. S. (2009). Dendrocronología de Pinus cembroides Zucc. y reconstrucción de precipitación estacional para el Sureste de Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 34(1), 17-39.

Contreras-Bailón, R., Delgado, V. P., Moreno-Letelier, A., Piñero, D., Manzanilla-Quiñones, U., Saénz-Romero, C., & Molina-Sánchez, A. (2025). Genetic and ecological divergence of Pinus durangensis and Pinus martinezii: two endemic lineages with contrasting evolutionary histories. *International Journal of Plants Sciences*, 186(4), 247-260. https://doi.org/10.1086/734477.

Cook, E. R. (1987). The descomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree Ring Bulletin*, 47: 37-59.

Correa-Díaz, A., Villanueva-Díaz, J., Gutiérrez-García, J. V., Velasco-Bautista, E., Moreno-Sánchez, F., & Zamora-Morales, B. P. (2025). Efecto del clima y el manejo forestal en el crecimiento radial de un bosque de coníferas en Puebla, México. *Madera y Bosques*, 31, e312717. 10.21829/myb.2025.312717.

Cuervo-Robayo, A., Téllez-Valdés, O., Gómez-Albores, M. A., Venegas-Barrera, C. S., Manjarrez, J., & Martínez-Meyer, E. (2014). An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology*, 34(7), 2427-2437. https://doi.org/10.1002/joc.3848.

De la Peña, K. A., Mendoza, M. E., Carlón-Allende, T., Macías-Vázquez, J. L., & Villanueva-Díaz, J. (2024). Dendrogeomorphological analysis of a debris flow in the Monarch

Butterfly Biosphere Reserve, central Mexico. *Natural Hazards*, 121(2), 1575–1598. https://doi.org/10.1007/s11069-024-06873-x.

Delgado, V. P., Pinero, D., Chaos, A., Pérez, N., & Álvarez, E. R. (1999). High population differentiation and genetic variation in the endangered Mexican pine Pinus rzedowskii (Pinaceae). *American Journal of Botany*, 86, 669-676. https://doi.org/10.2307/2656576.

Fritts, H. C. (1976). *Tree rings and climate.* London: Academic Press.

Gernandt, D., & Pérez de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: S126-S133. http://dx.doi.org/10.7550/rmb.32195.

González-Casares, M., Pompa-García, M., & Camarero, J. J. (2017). Differences in Climate-growth relationship indicate diverse drought tolerances among five pin species coexisting in Northwestern Mexico. *Trees*, 31, 531-544. 10.1007/s00468-016-1488-0.

Grissino-Mayer, H. D. (2001). Evatuating cross dating, accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Reseach*, 57(2), 205-221.

Holmes, R. L. (1983). Computer assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree Ring Bulletin*, 43, 69-78.

Huang, J., Tardif, J. C., Bergeron, Y., Denneler, B., Berninger, F., & Girardin, M. P. (2010). Radial growth response of four dominant boreal tree species to climate along a latitudinal gradient in the eastern Canadian boreal forest. *Global Change Biology*, 16, 711-731. 10.1111/j.1365-2486.2009.01990.x.

Huante, P., Rincón, E., & Swetnam, T. W. (1991). Dendrochronology of Abies religiosa in Michoacan, Mexico. *Tree-Ring Bulletin*, 51, 15-28.

INEGI. (2014, 7 15). Conjunto de datos vectoriales edafológicos. Escala 1:250 000. Serie II. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes, México.

INEGI. (2021, 7 15). Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII (capa unión). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes, México.

Manzanilla-Quiñones, U., Aguirre-Calderón, O. A., Villanueva-Díaz, J., Martínez-Sifuentes, A. R., & Delgado-Valerio, P. (2021). Anillos de crecimiento de Pinus hartwegii como indicadores de fluctuaciones climáticas y de la influencia de fenómenos océano-atmósfera en la Faja Volcánica Transmexicana. *Madera y Bosques*, 27(3), e2732276. 10.21829/myb.2021.2732276.

Manzanilla-Quiñones, U., Delgado-Valerio, P., & Molina-Sánchez, A. (2024). Aplicaciones de la dendrocronología en los ecosistemas forestales de México. *Desde el Herbario*, 268-273.

Marlés, M. J., Valor, I. T., Claramunt, L. B., Maneja, Z. R., Pérez, S. D., Sánchez, M. S., & Boada, J. M. (2015). Análisis dendroclimático de Pinus pseudostrobus y Pinus devoniana en los municipios de Áporo y Zitácuaro (Michoacán), Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca. *Investigaciones Geográficas*, 88, 19-32. https://doi.org/10.14350/rig.43338.

Monárrez-González, J. C., Pérez-Verdín, G., López-González, C., Márquez-Linares, M. A., & González-Elizondo, M. D. (2018). Efecto del manejo forestal sobre algunos servicios ecosistémicos en los bosques templados de México. *Madera y Bosques*, 24(2), e2421569. 10.21829/myb.2018.2421569.

NOAA. (2024, 1 15). *National Oceanic Administration Agency*. Retrieved from Dataset Useful for ENSO Research: https://psl.noaa.gov/enso/data.html

Osorio-Osorio, J. A., Astudillo-Sánchez, C. C., Villanueva-Díaz, J., Soria-Díaz, L., & Vargas-Tristán, V. (2020). Reconstrucción histórica de la precipitación en la Reserva de la Biosfera El Cielo, México mediante anillos de crecimiento en Taxodium mucronatum (Cupressaceae). *Revista de Biología Tropical*, 68(3), 818-832.

Perry, J. (1991). *The pines of Mexico and Central America.* Oregon: Timber Press.

Robinson, W. J., & Evans, R. (1980). A Microcomputer based tree-ring measuring system. *Tree-Ring Bulletin*, 40, 59-64. http://hdl.handle.net/10150/260443.

Ruíz-Ortíz, C. H. (2020). *Influencia del tipo de suelo sobre el crecimiento diamétrico anual de Juglans neotropica Diels y Eriotheca ruizii (K. Schum.) A. Robyns en los sectores del*

Recibido:
24/agosto/2025

Aceptado:
19/diciembre/2025

Parque Universitario Francisco Vivar Castro y la Reserva El Chilco, al sur de Ecuador. Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja.

Schulz, E. F. (1976). En E. F. Schulz, *Elementary statistical properties* (págs. 31-73). Colorado, USA: Water Resources Publications.

Semarnat. (2010). *Norma oficial mexicana NOM-059.* Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.

Speer, J. H. (2010). *Fundamentals of tree ring research.* Tucson, Arizona, USA: University of Arizona Press.

Stahle, D. W., Cook, E. R., Burnette, D., Villanueva, D. J., Cerano, J. P., & Griffin, J. M. (2016). The Mexican drought atlas: Tree-ring reconstructions of the soil moisture balance during the late pre-Hispanic, colonial, and modern eras. *Quaternary Science Reviews*, (149), 34-60. 10.1016/j.quascirev.2016.06.018.

Vázquez-Selem, L., Franco-Ramos, O., Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., & Stahle, D. W. (2025). Climatic response of Juniperus monticola Martinez, a multi-century alpine shrub from the high mountains of central Mexico. *The Holocene*, 35(1), 100-110. https://doi.org/10.1177/09596836241286006.

Vejpustková, M., & Čihák, T. (2019). Climate response of Douglas fir reveals recently increased sensitivity to drought stress in Central Europe. *Forests*, 10(2), 97. https://doi.org/10.3390/F10020097.

Villanueva-Díaz, J., Rubio-Camacho, A., Chávez-Durán, A. A., Zavala-Aguirre, J. J., Cerano-Paredes, J., & Martínez-Sifuentes, A. R. (2018). Respuesta climática de Pinus oocarpa Schiede Ex Schetol en el Bosque La Primavera, Jalisco. *Madera y Bosques*, 24(1), e2411464. 10.21829/myb.2018.241464.

Villanueva-Díaz, J., Rubio-Camacho, J., Chávez-Durán, A. A., Zavala-Aguirre, J. J., Cerano-Paredes, J., & Martínez-Sifuentes, A. R. (2018). Respuesta climática de Pinus oocarpa Schiede Ex Schetol en el Bosque La Primavera, Jalisco. *Madera y Bosques*, 24(1), e2411464. 10.21829/myb.2018.241464.

Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Gómez-Guerrero, A., Cerano-Paredes, J., Aguirre-González, N., & Franco-Ramos, O. (2016). Potencial dendrocronológico de Juniperus monticola Martínez en el Monte Tláloc, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 3(2), 175-185.

Yang, M., Yu, Y., Zhang, H., Wang, Q., Gan, M., & Yu, R. (2020). Tree ring based drought variability in Northwest Tajikistan since 1895 AD. *Journal of Arid Land*, 12(3), 413-422. https://doi.org/10.1007/s40333-020-0062-1.

Yang, M., Yu, Y., Zhang, H., Wang, Q., Gan, M., & Yu, R. (2020). Tree ring based drought variability in Northwest Tajikistan since 1895 AD. *Journal of Arid Land*, 12(3), 413-422. https://doi.org/10.1007/s40333-020-0062-1.

Yang, M., Yu, Y., Zhang, H., Wang, Q., Gan, M., & Yu, R. (2020). Tree ring based drought variability in Northwest Tajikistan since 1895 AD. *Journal of Arid Land*, 12(3), 413-422. https://doi.org/10.1007/s40333-020-0062-1.

Yang, M., Yu, Y., Zhang, H., Wang, Q., Gan, M., & Yu, R. (2020). Tree ring based drought variability in Northwest Tajikistan since 1895 AD. *Journal of Arid Land*, 12(3), 413-422. https://doi.org/10.1007/s40333-020-0062-1.

Zhou, X. H., Fei, S. F., Sherry, R., & Luo, Y. Q. (2012). Root biomass dynamics under experimental warming and doubled precipitation in a tallgrass prairie. *Ecosystems*, 15, 542-554. 10.1007/s10021-012-9525-3.

POLIBOTÁNICA

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

CARACTERES MORFOMÉTRICOS Y PATRONES DE GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *Pinus pseudostrobus* Lindl. DE DIFERENTES PROCEDENCIAS

MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS AND GERMINATION PATTERNS OF *Pinus pseudostrobus* Lindl. SEEDS FROM DIFFERENT SOURCES

Madrigal González, D., N. Modesto Sánchez-Vargas, M. Gómez-Romero, M.D. Uribe-Salas, A. Martínez-Palacios, S. Ramos-Ortiz

CARACTERES MORFOMÉTRICOS Y PATRONES DE GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *Pinus pseudostrobus* Lindl. DE DIFERENTES PROCEDENCIAS

MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS AND GERMINATION PATTERNS OF *Pinus pseudostrobus* Lindl. SEEDS FROM DIFFERENT SOURCES

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 165-179 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.9

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

POLIBOTÁNICA

Núm. 61: 165-179 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Caracteres morfométricos y patrones de germinación de semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. de diferentes procedencias

Morphometric characteristics and germination patterns of *Pinus pseudostrobus* Lindl. seeds from different sources

Daniel Madrigal-González https://orcid.org/0000-0001-9368-2319
Nahum M. Sánchez Vargas https: //orcid.org/0000-0003-3505-2778
María Dolores Uribe Salas https://orcid.org/0000-0002-4788-0290
Alejandro Martínez-Palacios https://orcid.org/0000-0002-5197-8629
Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo Tarímbaro, Michoacán, México

Mariela Gómez-Romero http://orcid.org/0000-0003-4511-3001
SECIHTI-Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Morelia, Michoacán, México

Selene Ramos-Ortiz / selene.ramos@umich.mx
https://orcid.org/0000-0002-2171-9116
SECIHTI-Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Tarímbaro, Michoacán, México

Daniel Madrigal González, Nahum Modesto Sánchez-Vargas, Mariela Gómez-Romero, María Dolores Uribe-Salas, Alejandro Martínez-Palacios, Selene Ramos-Ortiz

CARACTERES MORFOMÉTRICOS Y PATRONES DE GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *Pinus pseudostrobus* Lindl. DE DIFERENTES PROCEDENCIAS

MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS AND GERMINATION PATTERNS OF *Pinus pseudostrobus* Lindl. SEEDS FROM DIFFERENT SOURCES

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 165-179. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.9

RESUMEN: El estudio de las fuentes semilleras es crucial para la conservación y uso sostenible de especies forestales. El largo, ancho, grosor y peso de las semillas, son fundamentales para entender su comportamiento en la germinación y desarrollo de las plantas. Los árboles de *Pinus pseudostrobus*, se seleccionaron debido a la calidad de madera y crecimiento rápido. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar las características morfométricas, comportamiento germinativo de semillas y variables ambientales de seis procedencias de *P. pseudostrobus* para identificar variaciones que puedan influir en su rendimiento y adaptabilidad. Se midieron y pesaron 100 semillas de seis procedencias diferentes y se obtuvieron variables ambientales de cada procedencia, las variables de semillas se compararon mediante un análisis de varianza y una prueba de Tukey-Kramer. Los resultados revelaron diferencias significativas en las características de las semillas, obteniéndose valores promedio de longitud (5.23 a 6.29 mm), ancho (3.34 a 4.04 mm), grosor (2.18 a 2.63 mm) y peso (0.010 a 0.031 g). Además, se observaron variaciones en los porcentajes de germinación (0 a 71%). El índice de velocidad de germinación también mostró diferencias entre las procedencias (2.02 a 2.98). Entre las variables ambientales se observaron fluctuaciones entre procedencias en altitud (2700 a 2780 msnm), precipitación media anual (800 a 1180 mm) y tipo de suelo (Cambisol, Andosol y Regosol). Se puede concluir que el índice de semilla obtenido representa el tamaño de las semillas y en general, las semillas con índices superiores germinaron en el período más largo, así mismo, las semillas más pequeñas provienen de los sitios más secos, lo que podría considerarse como una adaptación a las condiciones climáticas.

Palabras clave: pino, caracterización de semillas, plasticidad, adaptación, velocidad de germinación.

ABSTRACT: The study of seed sources is crucial for conserving and sustainably using forest species. Seed length, width, thickness, and weight are key for understanding germination behavior and plant growth. *Pinus pseudostrobus* trees are selected for their

wood quality and rapid growth. Therefore, this research aimed to examine the morphometric characteristics, seed germination behavior, and environmental factors of six *P. pseudostrobus* provenances to identify variations that may influence their yield and adaptability. One hundred seeds from each provenance were measured and weighed, and environmental variables were recorded for each. Seed traits were analyzed using analysis of variance and the Tukey-Kramer test. Results revealed significant differences in seed features, with average values for length (5.23 to 6.29 mm), width (3.34 to 4.04 mm), thickness (2.18 to 2.63 mm), and weight (0.010 to 0.031 g). Variations in germination percentages (0 to 71%) and germination rate index (2.02 to 2.98) were also observed among provenances. Among environmental factors, notable differences were found in altitude (2,700 to 2,780 meters above sea level), annual precipitation (800 to 1,180 mm), and soil types (Cambisol, Andosol, and Regosol). It can be concluded that the seed index reflects seed size, and generally, seeds with higher indices germinate faster. Additionally, the smallest seeds originate from the driest locations, which may indicate adaptation to local climate conditions.
Key words: pine, seed characterization, plasticity, adaptation, germination speed.

INTRODUCCIÓN

Los bosques templados prevalecen en todo en el hemisferio norte; en el Continente Americano, en México, se encuentra la distribución más sureña de este ecosistema con alrededor del 20% de la cobertura forestal del país (Rzedowski, 1978; Galicia *et al.,* 2018); parte de la importancia de este ecosistema, radica en que contiene la presencia de alrededor 46 especies, tres subespecies y 22 variedades del género *Pinus* L. que representan aproximadamente el 50% del total mundial (CONABIO, 2001; Sánchez-González, 2008; Gernardt & Pérez-de, 2014); además, la mayoría de estas especies son de importancia económica para la producción maderable, ya que representa el 1% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional (Galicia *et al.,* 2018); por otra parte, en estos ecosistemas también se concentra la mayor parte de la población rural del país lo que ha sido un importante factor de cambio de uso del suelo en detrimento de los mismos (Bray *et al*., 2007), que se ha traducido en la pérdida de una multitud de servicios ecosistémicos, que son vitales para la preservación del capital natural y la mejora del bienestar social en las diversas regiones forestales del país (Galicia *et al.,* 2018; Palacio-Prieto *et al*., 2000).

Pinus pseudostrobus Lindl. es una conífera perteneciente a la familia Pinaceae, caracterizada por ser una especie forestal que se distribuye principalmente en el Eje Neovolcánico Transversal (centro de México) (Sandoval-García *et al*., 2020); sin embargo, también se pueden identificar poblaciones al norte en Sinaloa, Durango, Coahuila y Nuevo León, así como al sur en Chiapas y Oaxaca (Martínez, 1948); esta especie produce madera de alta calidad y el crecimiento es relativamente rápido, por lo que es altamente aprovechada en bosques naturales y tiene un alto potencial para el establecimiento de plantaciones comerciales (Eguiluz, 1978); se le puede encontrar formando bosques de pino o pino-encino en altitudes que oscilan entre 800 y 3000 msnm y debido a la adaptabilidad a diversas condiciones ambientales, es utilizada en programas de restauración (Perry, 1991), la amplia distribución de la especie da como resultado una variabilidad considerable entre individuos y entre poblaciones, lo que puede resultar de la plasticidad que presenta la especie (Pedroso *et al.,* 2010; Hernández *et al.,* 2012).

Las investigaciones taxonómicas han identificado variedades reconocidas de *P. pseudostrobus* las cuales son: *P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus* (variedad típica), *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* (Lindl.) Shaw, y algunos autores también reconocen la var. *coatepecensis* (Martínez) Stead & Styles (Perry, 1991; García-Valencia *et al*., 2022). Distintos autores documentaron variaciones importantes en las características de las semillas y el potencial reproductivo entre las variedades, además de adaptaciones específicas a diferentes gradientes altitudinales y condiciones climáticas, aspectos fundamentales para comprender su dinámica poblacional y establecer estrategias de manejo y conservación, considerando que representan recursos forestales estratégicos para México (Dvorak *et al*., 2009; López-Toledo *et al*., 2017).

Núm. 61: 165-179 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Por lo tanto, la utilización comercial, la restauración y la conservación de las especies forestales, requieren estar sustentadas por diversos estudios; uno de los más importantes es la variación en semillas como un primer paso hacia la planeación y aprovechamiento del potencial de las especies (Muñoz *et al.,* 2012). Una forma de conocer el comportamiento de las especies es a través de procedencias, en los que se recolectan las semillas de una misma especie, pero en diferentes zonas geográficas con diferentes condiciones ecológicas, las plantas obtenidas de estas semillas se establecen en plantaciones, generalmente pequeñas, bajo un diseño experimental específico, lo que facilita comparar el rendimiento de cada fuente de semilla (Zobel y Talbert, 1988; Rodríguez *et al.*, 2012),

Para poder plantear estrategias dirigidas a la conservación y uso de una especie o población se debe conocer el comportamiento natural de las fuentes semilleras y la variabilidad presente entre ellas (Carmona *et al*., 2003; Flores-López *et al*., 2012). La conservación de las especies, poblaciones y ecosistemas forestales depende fundamentalmente de las semillas producidas por los individuos (Zobel & Talbert, 1988; Nienstaedt, 1990), además de las condiciones ambientales que se presentan en los sitios. La realización de estudios que consideren variables de las semillas, como la longitud, el ancho, el grosor, el peso y la germinación de cada una de las procedencias de una especie, es fundamental para identificar la relación del comportamiento germinativo respecto a las características morfométricas de las semillas (Alba-Landa *et al*., 2007; Rodríguez-Laguna *et al*., 2012; Rodríguez *et al*., 2023). Es esencial para comprender la importancia que las variables de la semilla pueden tener en la germinación y desarrollo de las plantas (Cervantes-Machuca *et al*., 2023; Muñoz-Flores *et al*., 2023), y así presentar alternativas que faciliten tener un panorama más claro al momento de seleccionar la semilla a sembrar (Eguiluz-Piedra, 1982; Aragón-Peralta *et al*., 2020; Morales *et al*., 2022). Bajo la hipótesis de que *P. pseudostrobus*, por ser una especie ampliamente distribuida en México, se ha adaptado a las condiciones ambientales en las que crece para sobrevivir, estas adaptaciones deben expresarse en cambios en estructuras como las semillas. En consecuencia, el objetivo de la presente investigación fue evaluar las características morfométricas, comportamiento germinativo de semillas y variables ambientales de seis procedencias de *P. pseudostrobus* para identificar variaciones que puedan influir en su rendimiento y adaptabilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se contó con semilla de seis procedencias distintas recolectadas en diciembre, 2016, las cuales fueron proporcionadas por el Colegio de Postgraduados, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, la Universidad Veracruzana y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; estas se mantuvieron separadas por procedencias y se almacenaron a una temperatura controlada de 4 °C desde su recolección hasta el inicio del experimento, asegurando la homogeneidad en su manejo y la comparabilidad de los resultados entre procedencias. Se implementó un protocolo estandarizado de almacenamiento, siguiendo las recomendaciones de Bonner *et al.* (2008). Se contó con tres procedencias de *P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus*, dos de *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* y una de *P. pseudostrobus* var. *coatepecensis* (Tabla 1). Se realizó una caracterización a nivel de tipo de suelo, tipo de vegetación y tipo de clima por procedencia, utilizando el software QGIS (2023) y la serie VII de uso de suelo y vegetación de INEGI (2021) (Tabla 1) para tener la mayor cantidad de elementos ecológicos y climáticos que pudieran aportar a la explicación del comportamiento de las características morfológicas y germinativas.

Tabla 1. Localización geográfica y caracterización de tipo de clima, suelo y vegetación para las procedencias de estudio de *Pinus pseudostrobus* en México.
Table 1. Geographical location and characterization of climate type, soil, and vegetation for the study provenances of *Pinus pseudostrobus* in Mexico.

Procedencia	Taxón	Coordenadas	Altitud msnm	Tipo de clima	Tipo de suelo	Tipo de vegetación	Precipitación media anual (mm)
Amecameca, Estado de México (P1)	*P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus*	19° 8'3.00"N 98°43'26.21"O	2740	Templado subhúmedo	Cambisol	Bosque pino-encino	800
Sta. Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2)	*P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus*	19°50'59.16"N 100°39'2.30"O	2780	Templado subhúmedo	Andosol	Bosque pino-encino	800
El Floripondio, Zapotlán el Grande, Jalisco (P3)	*P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus*	19°37'19.96"N 103°37'0.56"O	2730	Templado subhúmedo	Regosol	Bosque pino	800
La Gloria, Perote, Veracruz (P3)	*P. pseudostrobus* var. *oaxacana*	19°22'56.20"N 97°15'0.08"O	2700	Semifrío subhúmedo	Andosol	Bosque pino	1180
Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5)	*P. pseudostrobus* var. *oaxacana*	19°31'37.62"N 97°13'39.75"O	2750	Templado subhúmedo	Andosol	Bosque pino	800
Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6)	*P. pseudostrobus* var. *coatepecensis*	19°30'51.64"N 97° 3'53.96"O	2720	Templado húmedo	Andosol	Derivada bosque pino-encino	1000

En laboratorio se trabajó con cuatro muestras de 25 semillas por cada procedencia elegidas completamente al azar, teniendo en total 600 semillas. En las semillas, las variables evaluadas de manera individual fueron: longitud (mm), ancho (mm) y grosor (mm), obtenidas con un vernier digital (STREN HER-41 ±0.1 mm), además de índice de semillas (IS), velocidad y porcentaje de germinación. El peso (g) de cada una de las semillas se obtuvo con una balanza analítica marca OHAUS. Cada semilla fue separada en una bolsa de papel encerado y etiquetada para hacer un seguimiento individual.

Posteriormente, las semillas fueron sembradas bajo un diseño completamente al azar en contenedores rígidos de plástico de 310 ml de capacidad, en un sustrato de agrolita, vermiculita y turba de musgo en proporción 1:1:2, dispuestos en charolas con 54 cavidades en condiciones de vivero. De acuerdo con Sáenz-Reyes *et al.* (2014) se aplicó un riego inicial de 200-300 ml por contenedor al momento de la siembra, manteniendo riegos posteriores cada 24 horas durante los primeros 15 días, ajustando la frecuencia según las condiciones ambientales. Cada contenedor se etiquetó con el número de semilla y procedencia para conservar la identidad. El experimento se llevó a cabo en el vivero José Ma. Morelos de la Comisión Forestal de Michoacán (COFOM), se cubrió con malla sombra de 35% de cobertura. La germinación se monitoreó desde la siembra hasta dejar de presentar cambios, llevando un registro diario de germinación de manera individual por semilla.

Se generó una base de datos con todas las características medidas. Los datos morfométricos de las semillas se analizaron mediante el análisis de varianza de una vía; para definir diferencias entre las procedencias, se compararon los valores de las medias por el método de Tukey-Kramer con el procedimiento ANOVA del paquete estadístico SAS (SAS Institut, 2019); adicionalmente, se obtuvo un índice de semilla que pudiera expresar, en un solo valor, el tamaño general de la semilla, multiplicando las variables longitud, ancho y grueso de semilla con la fórmula: índice de semilla = longitud de semilla × ancho de semilla × grueso de semilla (Hampton & TeKrony, 1995). Se consideró una semilla germinada aquella que presentó, al menos, un centímetro de radícula. Para analizar la trayectoria de la germinación entre las procedencias, se utilizó el estimador de Kaplan-Mier (Satten, 2001), un método no paramétrico utilizado para estimar la función de supervivencia a través del tiempo. Se realizó un análisis de supervivencia, adaptado a la germinación, con una distribución binomial, este procedimiento permite que la varianza binomial sea no-constante, asegura que las predicciones se mantengan en el rango 0-1 y produce estimaciones más precisas (Castañón-Malpica *et al*., 2024). Se estimó el índice de velocidad de

germinación con la fórmula IVG = $\sum[n_i/(\sum t_i)]$ dónde: n_i es el número de semillas germinadas en el intervalo de tiempo t_i y $\sum t_i$ es el período en días desde la siembra hasta el día final de la experimentación (Caroca *et al*., 2016). La correlación de Pearson se realizó entre características morfométricas, porcentaje e índice de velocidad de germinación, e índice de semilla; para los análisis las variables morfométricas fueron estandarizadas con media cero y varianza uno, la germinación fue transformada a valores de arcoseno con la siguiente fórmula: Y=arcoseno(raiz(X/100))×(180/π) donde Y es la el valor transformado, X es el porcentaje de germinación y π es el valor de pi (Durán-Mendoza *et al*., 2025).

RESULTADOS

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en todas las variables evaluadas (P<0.001), excepto en peso de semilla (P=0.1118). En la prueba de Tukey-Kramer (p=0.05), la procedencia que mostró los promedios más bajos en las variables morfométricas longitud de semilla (LS; 5.23 mm), ancho de semilla (AS; 3.34 mm), grueso de semilla (GS; 2.18 mm), peso de semilla (PS; 0.010 g) e índice de semilla (IS; 38.32) fue la localidad El Floripondio, Zapotlán el Grande, Jalisco (P3). La variable longitud de semilla (LS) no mostró diferencias significativas en La Gloria (P4) y Mesa del Laurel (P6), que presentaron los valores más altos (6.29 mm y 6.19 mm, respectivamente), seguidas de Amecameca (P1), Jeráhuaro (P2) y Francisco I. Madero (P5). Los mayores valores promedio de ancho de semilla (AS) los presentaron las semillas de Jeráhuaro (3.89 mm), La Gloria (4.04 mm) y Mesa del Laurel (3.95 mm), seguidas de Amecameca y Francisco I. Madero. El grueso de semilla (GS) tuvo mayor variación entre procedencias, presentó el mayor valor en La Gloria (2.63 mm), seguido por Mesa del Laurel; Amecameca y Francisco I. Madero no mostraron diferencias, así como Jeráhuaro y El Floripondio. Finalmente, el peso de semilla (PS) de Mesa del Laurel fue el más alto (0.031 g), sin embargo, no fue significativamente diferente de Francisco I. Madero, La Gloria, Amecameca y Jeráhuaro (Tabla 2, Figura 1). El análisis del índice de semilla (IS) permitió distinguir cuatro grupos diferentes, el valor más alto lo presentó La Gloria (P4), seguida de Mesa del Laurel (P6); Amecameca (P1), Jeráhuaro (P2) y Francisco I. Madero (P5) conformaron otro grupo distinto con valores intermedios y finalmente El Floripondio conformó el último grupo con los valores más bajos (Tabla 2).

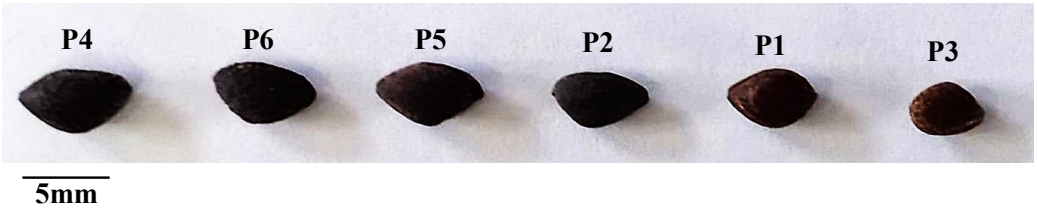


Figura 1. Representación de la variación en el tamaño de semillas de *P. pseudostrobus* provenientes de las seis procedencias: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5) y Mesa del laurel, Coatepec, Veracruz (P6).
Figure 1. Representation of variation in the size of *P. pseudostrobus* seeds from the six provenances: Amecameca, State of Mexico (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); and Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6).

Núm. 61: 165-179 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Tabla 2. Valores promedio y error estándar por procedencia de las características morfométricas de *Pinus pseudostrobus.*
Table 2. Average values and standard error by provenance of the morphometric characteristics of *Pinus pseudostrobus.*

Procedencia	Longitud de semilla (mm)	Ancho de semilla (mm)	Grueso de semilla (mm)	Peso de semilla (g)	Índice de semilla
Amecameca (P1)	5.56±0.06 b	3.74±0.04 b	2.39±0.02 c	0.024±0.005 a	50.40±1.25 c
Jeráhuaro (P2)	5.76±0.04 b	3.89±0.03 a	2.25±0.02 d	0.023±0.002 a	50.50±0.69 c
El Floripondio (P3)	5.23±0.04 c	3.34±0.03 c	2.18±0.02 d	0.010±0.000 b	38.32±0.68 d
La Gloria (P4)	6.29±0.06 a	4.04±0.04 a	2.63±0.03 a	0.027±0.001 a	67.71±1.58 a
Francisco I. Madero (P5)	5.77±0.07 b	3.65±0.04 b	2.43±0.03 c	0.028±0.002 a	52.21±1.36 c
Mesa del Laurel (P6)	6.19±0.07 a	3.95±0.04 a	2.54±0.02 b	0.031±0.004 a	62.46±1.33 b
Promedio	5.93±0.04	3.88±0.02	2.46±0.01	0.029±0.002	57.44±0.88

P1=Amecameca, Estado de México, P2=Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán, P3=El Floripondio, Zapotlán, Jalisco, P4=La Gloria, Perote, Veracruz, P5=Francisco I. Madero, Perote, Veracruz, P6=Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz. Letras diferentes en una misma columna, muestran diferencias significativas (P<0.05) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer

Los resultados del análisis para evaluar el porcentaje de germinación mostraron diferencias estadísticamente significativas (P<0.0001). El mayor porcentaje de germinación se presentó en la procedencia de Amecameca, Estado de México (71%) mientras que el porcentaje más bajo lo presentó El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (0%: podría atribuirse a las condiciones en las que fueron colectadas las semillas, así como al tipo de almacenamiento y manejo al que estuvieron sometidas) (Figura 2).

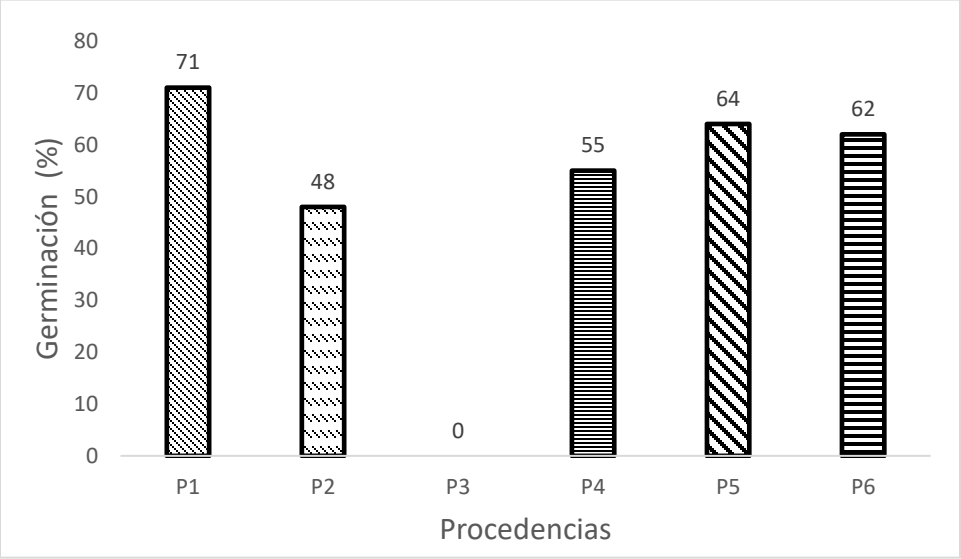


Figura 2. Porcentaje de germinación total por procedencia *de Pinus pseudostrobus*: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P1); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6). De acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer todas las procedencias fueron significativamente diferentes unas de otras (P<0.05).
Figure 2. Percentage of total germination by origin of *Pinus pseudostrobus*: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P1); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6). According to the Tukey-Kramer test, all provenances were significantly different from each other (P < 0.05).

La velocidad de germinación presentó diferencias estadísticamente significativas entre las procedencias ($P<0.05$). Con base en la prueba de Tukey-Kramer se formaron dos grupos: el primer grupo lo conformaron las procedencias Amecameca (P1), Jeráhuaro y (P2); el segundo grupo lo conformó La Gloria (P4), pero también se encuentran incluidas las Francisco I. Madero (P5) y Mesa del Laurel (P6). La procedencia El Floripondio (P3) fue excluida debido a que su germinación fue 0 % (Figura 3).

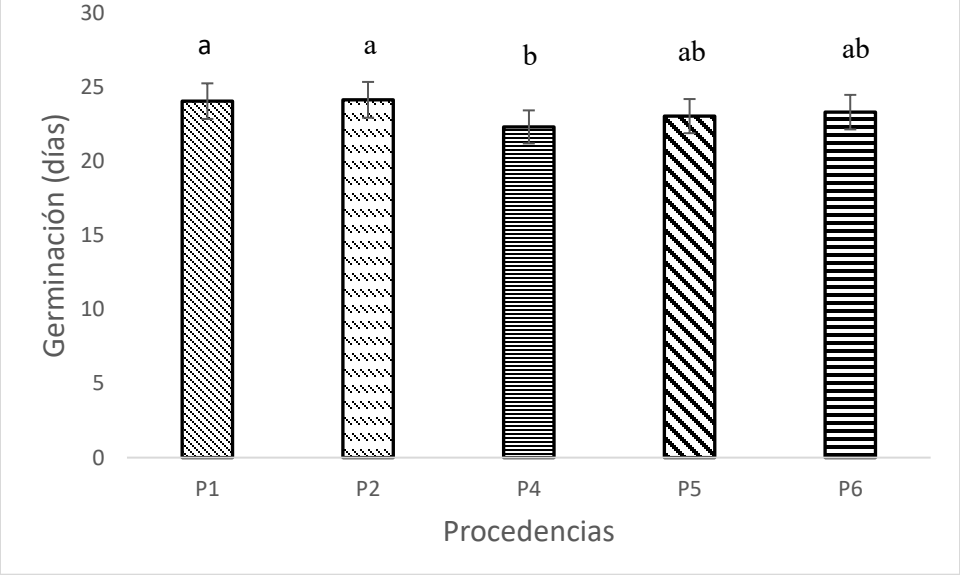


Figura 3. Velocidad de germinación en días por procedencia de *Pinus pseudostrobus*: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P1); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6). Letras diferentes indican diferencia significativa, de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer ($P=0.05$).
Figure 3. Germination rate in days by the origin of *Pinus pseudostrobus*: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P1); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6). Different letters indicate significant differences, as determined by the Tukey-Kramer test ($P < 0.05$).

En relación con el análisis de trayectoria de la germinación entre las procedencias (estimador de Kaplan-Mier), la germinación inició el día 18 después de la siembra en todas las procedencias, presentando la máxima germinación en las procedencias Amecameca (P1), Jeráhuaro (P2) y Francisco I. Madero (P5) al día 23 y finalizando al día 29; en La Gloria (P4) finalizó al día 28, mientras que en la Mesa del Laurel (P6) al día 27. La Figura 4 permite observar que, en general, entre los 25 y 27 días se puede alcanzar el mayor porcentaje de germinación que puede ser de hasta 70%.

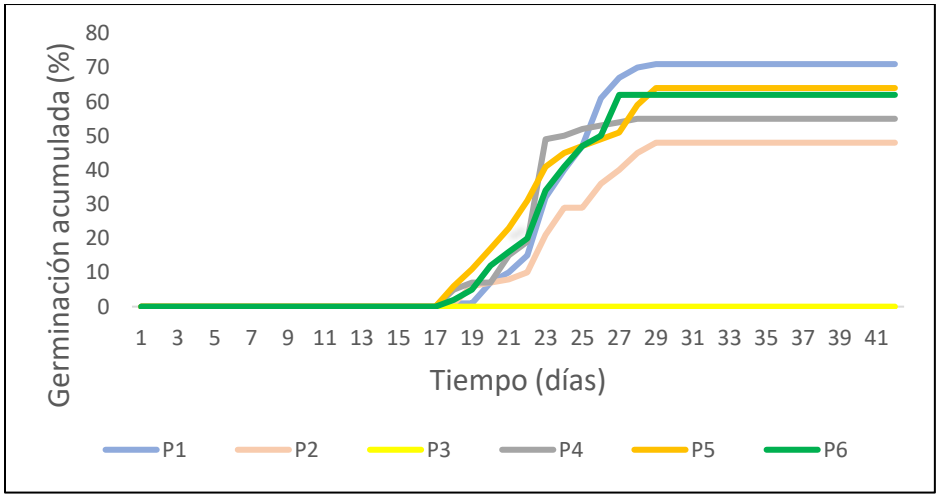


Figura 4. Germinación acumulada en días para las procedencias de *Pinus pseudostrobus*: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6). De acuerdo con la prueba de Chi-cuadrada se presentaron diferencias significativas ($\chi 2$=11.327, G.L.= 4, P=0.023).
Figure 4. Germination accumulated in days for the provenances of *Pinus pseudostrobus*: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P1); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6). According to the Chi-square test, there were significant differences ($\chi 2$=11.327, G.L.= 4, P=0.023).

Los valores de correlación fueron bajos para varios pares de variables y no significativos en algunos casos, lo que significa una falta relación entre esas variables. Las altas correlaciones entre las variables longitud de semilla (LS), ancho de semilla (AS) y grueso de semilla (GS) con el índice de semilla (IS) ($0.76 \leq r \leq 0.84$), incluso con valores mayores que las correlaciones entre las variables individuales de tamaño de semilla, mostraron que el índice de semilla utilizado es un buen indicador del tamaño de las semillas. Las correlaciones entre longitud de semilla (LS), ancho de semilla (AS), grueso de semilla (GS) y peso de semilla (PS) con respecto al porcentaje de germinación fueron bajas y negativas ($-0.03 \leq r \leq 0.21$), incluso el índice de semilla (r=-0.17), lo que indica que no hay relación entre el tamaño de las semillas y el porcentaje de germinación. La correlación entre el índice de velocidad de germinación (IVG) y el porcentaje de correlación fue muy alto (r=0.98), probablemente por tratarse de variables correlacionadas (Tabla 3).

Tabla 3. Coeficiente de correlación de Pearson de las características evaluadas para las seis procedencias de *Pinus pseudostrobus.*
Table 3. Pearson's correlation coefficient of the characteristics evaluated for the six provenances of *Pinus pseudostrobus.*

	Ancho de semilla	Grueso de semilla	Peso de Semilla	Índice de velocidad de germinación	Indice de semilla	Germinación (%)
Longitud de semilla (LS)	0.61	0.41	0.31	-0.13	0.82	-0.19
Ancho de semilla (AS)		0.47	0.29	-0.18	0.84	-0.21
Grueso de semilla (GS)			0.22	0.04 ^{ns}	0.76	-0.03 ^{ns}
Peso de semilla (PS)				-0.05^{ns}	0.34	-0.08 ^{ns}
Índice de velocidad de germinación (IVG)					-0.09 ^{ns}	0.98
Índice de semilla (IS)						-0.17

longitud de semilla= LS, ancho de semilla= AS, grueso de semilla=GS, Peso de Semilla= PS Índice de velocidad de germinación= IVG, Índice de semilla =IS * significativo ($P \leq 0.0306$).

Núm. 61: 165-179 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

DISCUSIÓN

En la presente investigación, la variable de longitud de semilla (LS), en las procedencias evaluadas, mostró un máximo de 6.29 mm y un mínimo de 5.23 mm, estos valores son iguales a los reportados por Sivacioglu & Ayan, (2009) en *Pinus nigra*, donde también obtuvieron una longitud de semilla de 6.29 mm situada en el extremo superior del rango proporcionado en nuestra investigación. Similares resultados para *P. pseudostrobus* reportan Carmona *et al.*(2003) y Hernández-Carmona *et al.* (2003), quienes identificaron diferencias significativas entre las semillas de diversas localidades sugiriendo coincidencias (un valor máximo de 5.74 mm y un mínimo de 5.24 mm) de longitud de semilla con los valores reportados en nuestro estudio; la variable ancho de semilla (AS) mostró valores que oscilaban entre 4.04 mm y 3.34 mm, que son comparables a los observados por Muñoz-Flores *et al.* (2023), quienes reportan un valor máximo de 4.19 mm y un mínimo de 3.84 mm. La variable de grosor de semilla (GS), arrojó un promedio máximo de 2.63 mm y un mínimo de 2.18 mm, promedios que se encuentran dentro del rango establecido para *P. pseudostrobus* por Cervantes-Machuca *et al.* (2023), quienes registraron un valor máximo de 2.31 mm; con respecto al peso de semilla (PS), el valor máximo promedio registrado fue de 0.031 g, mientras que el mínimo fue de 0.010 g, que se alinean con el rango reportado para esta especie por Muñoz-Flores *et al.* (2023) quienes indicaron un valor máximo de 0.030 g y un mínimo de 0.017 g.

La longitud de las semillas (LG) de *P. pseudostrobus* oscila entre 5 a 7 mm (Narave *et al*., 1997). En comparación con otras especies coníferas que presentan rangos similares para esta variable, tales como *P. martinezii* (Morales *et al.,* 2017), *P. greggii* (Rodríguez *et al.,* 2012; Mendizábal-Hernández *et al*., 2015) y *P. hartwegii* (Hernández *et al.,* 2012). Entre las variables ambientales se observaron fluctuaciones entre procedencias en altitud (2700 a 2780 msnm), precipitación media anual (800 a 1180 mm) y tipo de suelo (Cambisol, Andosol y Regosol). Un análisis detallado de las variables relacionadas con longitud (LS), ancho (AS), grosor (GS) y peso (PS) de la semilla, junto con un análisis de las características climáticas, edáficas y de vegetación de las procedencias de *P. pseudostrobus*, se observaron tendencias que permiten agrupar las procedencias. Por ejemplo con respecto a la variable longitud de semilla (LS), el análisis estadístico y la caracterización climática (Tabla 1), mostró la presencia de tres grupos distintos: Amecameca (P1), Jeráhuaro (P2) y Francisco I. Madero (P5), que se agruparon debido a la ausencia de diferencias estadísticas significativas y a su clima templado subhúmedo compartido; por el contrario, el otro grupo lo conforma La Gloria (P4) y Mesa del Laurel (P6) que se encuentran en condiciones climáticas diferentes: semifrío subhúmedo y templado húmedo, respectivamente, pero ambos comparten el mismo tipo de suelo, Andosol. El grupo restante está constituido por la procedencia El Floripondio (P3), que, si bien comparte las condiciones climáticas de Amecameca (P1), Jeráhuaro (P2) y Francisco I. Madero (P5), se encuentra en los suelos de tipo Regosol. Para la variable ancho de semilla (AS) también se surgieron tres grupos: Jeráhuaro (P2), La Gloria (P4) y Mesa del Laurel (P6) que habitan en diferentes condiciones climáticas, pero comparten el mismo tipo de suelo: Andosol; el segundo grupo está conformado por Amecameca (P1) y Francisco I. Madero (P5) que crecen en mismas condiciones climáticas: Templado subhúmedo y de suelo: Andosol, aunque en diferente tipo de vegetación: Bosque de pino-encino y bosque de pino, respectivamente; finalmente, la procedencia El Floripondio se asocia con un tipo de suelo, Regosol. La variable de grosor de semilla (GS) dio como resultado la formación de cuatro grupos: el primero comprende La Gloria (P4), el segundo Mesa del Laurel (P6), el tercero abarca Amecameca (P1) y Francisco I. Madero (P5), y el último grupo incluye Jeráhuaro /(P2) y El Floripondio (P3), que parecen estar más relacionadas con las condiciones climáticas predominantes de sus procedencias: semifrío subhúmedo, templado húmedo, templado subhúmedo y templado subhúmedo, respectivamente. En este último grupo parece existir una compensación entre el tipo de suelo y el de vegetación (Tabla 1).

Varios estudios sobre las coníferas con respecto a características morfológicas, destacan la influencia de las condiciones geográficas y climáticas en rasgos como las características de los conos, la morfología de las agujas y la diversidad genética (Liepe, 2014; Iwaizumi *et al*., 2019) y los principios de adaptación local (Kawecki & Ebert, 2004; Voltas *et al.,* 2023). Esto puede

atribuirse al hecho de que las poblaciones o individuos, a pesar de pertenecer a la misma especie, muestran respuestas variadas en lugares específicos lo que resulta en comportamientos distintos (interacción individual con sitio) (Alba, 1993, 1996; Clark, 2010; Valladares *et al*., 2014; Matveev *et al.,* 2022).

El porcentaje de germinación presentó los valores mínimos de 0 y máximos de 71% entre procedencias, coincidiendo los valores máximos con lo reportado para *P. pseudostrobus* (en un rango del 70 al 80.5% dependiendo del sustrato) por Aparicio *et al*. (1999), estos porcentajes también fueron similares a los reportados para otras especies de pino: *P. hartwegii* (Ortega-Mata *et al.,* 2003) y *P. greggii* (Mendizábal-Hernández *et al.,* 2015). La procedencia Amecameca (P1), con valores bajos para las variables morfométricas de semillas evaluadas y el valor más bajo de índice de semilla (IS), presentó el porcentaje más alto de germinación (71%), con respecto a las demás procedencias, esto puede ser una estrategia de reproducción o de adaptación a las condiciones del sitio donde se encuentra (Solís-Sandoval *et al.,* 2019), ya que el tipo de suelo de esta procedencia es poco desarrollado y generalmente bajo en nutrientes; por otro lado, la procedencia Jeráhuaro (P2) que presentó el porcentaje de germinación más bajo (48 %), presentó un índice de semilla (IS) similar al de Amecameca (P1), pero se desarrolla en suelos de origen volcánico de buena fertilidad.

Para el índice de velocidad de germinación (IVG) el inicio de germinación fue el día 18 después de la siembra para todas las procedencias, se presentaron diferencias estadísticamente significativas, La Gloria (P4; 22.33 días) presentó diferencias con Amecameca (PI; 24.07 días) y Jeráhuaro (P2; 24.16 días), pero no presentó diferencias entre la Francisco I. Madero (P5; 23.06 días) y Mesa del Laurel (P6; 23.33 días) y estas dos fueron similares a las Amecameca (P1) y Jeráhuaro (P2); estos resultados coinciden con lo reportado por Aparicio *et al.* (1999) para *P. pseudostrobus* (de 17.5 a 18.5 días, dependiendo del sustrato) al inicio de la germinación aun cuando no se aplicó ningún tratamiento pregerminativo a las semillas.

La correlación entre características de semillas (longitud, ancho, grosor e índice de semilla) fue significativa entre longitud de semilla y ancho de semilla: r = 0.61; longitud de semilla y grueso de semilla: r = 0.41; longitud de semilla y peso de semilla: r = 0.31; ancho de semilla y grueso de semilla: r = 0.47; ancho de semilla y peso de semilla: r = 0.29; grueso de semilla y Peso de Semilla: r = 0.22, las correlaciones entre las variables longitud de semilla, ancho de semilla y grueso de semilla con el índice de semilla ($0.76 \leq r \leq 0.84$) fueron incluso mayores que las correlaciones entre las variables individuales, lo que mostró que el índice de semilla utilizado es un buen indicador del tamaño de las semillas. Todas estas correlaciones fueron significativas ($P \leq 0.0306$); estos resultados son similares a los reportados por Alba-Landa *et al.* (2007); si bien la correlación negativa entre velocidad de germinación y el índice de semilla fue baja (r=-0.20), el hecho de que sea significativo debe tomarse en cuenta como una característica adaptativa de la especie (Solís-Sandoval *et al.,* 2019).

En conjunto, estos estudios ilustran cómo las coníferas se adaptan a su entorno mediante la diferenciación genética y la plasticidad fenotípica, lo que contribuye a su supervivencia y éxito evolutivo. Finalmente, se ha profundizado en la interpretación de las diferencias observadas entre las procedencias, considerando tanto las características morfológicas como las variables ambientales de los sitios de origen (Cai *et al*., 2016; Köbölkuti & Höhn, 2018; Leal *et al*., 2020; Rodríguez *et al*., 2023).

CONCLUSIÓN

La presente investigación mostró que las variables: longitud de semilla (LS), ancho de semilla (AS), grueso de semilla (GS) e índice de semilla (IS), en la procedencia de la Gloria, Perote, Veracruz (P4), fue la que mostró las mayores dimensiones; para la variable peso de semilla (PS), la Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6), fue la que obtuvo un valor promedio mayor.

En cuanto a la velocidad de germinación (IVG), la Gloria, Perote, Veracruz (P4) fue la que germinó en menor tiempo, mientras que Amecameca, Estado de México (P1) y de Santa Ana

Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2), mostraron la mayor duración de germinación; en otras palabras, las semillas con mayor índice tuvieron mejor porcentaje de germinación (correlación positiva r=0.40), pero germinaron más lentamente (correlación negativa r=-0.20 entre índice de semilla y velocidad de germinación). Con respecto a los porcentajes de germinación, la procedencia de Amecameca, Estado de México (P1) presentó el porcentaje más alto (71 %), mientras que el porcentaje más bajo, excluyendo El Floripondio (P3), se observó en Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2), con un 48%.

En general, las procedencias evaluadas mostraron una plasticidad considerable y demostraron rasgos adaptativos pertinentes a los sitios de procedencia. Si se considerara la posibilidad de establecer programas de producción de plantas, cualquiera de las procedencias evaluadas podría ser eficaz, sin embargo, la opción más recomendable sería la procedencia de Amecameca (P1), (Estado de México) que presentó el mayor porcentaje de germinación (una variable esencial para los programas de producción de planta). Finalmente, se puede concluir que el índice de semilla obtenido representa el tamaño de las semillas y en general, las semillas con índices superiores germinaron en el período más largo, así mismo, las semillas más pequeñas provienen de los sitios más secos, lo que podría considerarse como una adaptación a las condiciones climáticas.

AGRADECIMIENTOS

Este manuscrito es un producto del Proyecto 277784: “Establecimiento de huertos semilleros regionales y ensayos de progenie de *Pinus pseudostrobus* para la evaluación genética de los progenitores” financiado por el extinto Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal (CONAFOR-CONACyT) y la beca No. 1275231 otorgada por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI).

LITERATURA CITADA

Alba L., J. 1993. Colecta y manejo de semillas forestales. Centro de Genética Forestal, Universidad Veracruzana, Xalapa, México. 62-63 p.

Alba L., J. 1996. Mejoramiento genético forestal en el estado de Veracruz. Tesis de maestría en Ciencias. Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana. 80 p.

Alba-Landa, J., Ramírez-García, E. O. y Aparicio-Rentería, A. 2007. Correlación de semillas y plántulas de *Pinus teocote* Schl. *et* Cham. de tres procedencias del estado de Ver, México. Foresta Veracruzana, 9(1): 23-28.

Aparicio-Rentería, A., Cruz-Jiménez, H., y Alba-Landa, J. 1999. Efecto de seis sustratos sobre la germinación de *Pinus patula* Sch. *et* Cham*., Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus pseudostrobus* Lindl. en condiciones de vivero. Foresta Veracruzana, 1(2): 31-34. Foresta Veracruzana http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49710206

Aragón-Peralta R. D., Rodríguez-Ortiz, G., Vargas-Hernández, J. J., Enríquez del Valle, J. R. Hernández-Hernández, A., y Campos-Ángeles, G.V. 2020. Selección fenotípica y características reproductivas de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov) SG Harrison. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 11(59): 118-140. https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.700

Bonner, F. T., Karrfalt, R. P., & Nisley, R. G. 2008. The woody plant seed manual. USDA Forest Service.

Bray, D., Merino, L., & Barry, D. (eds). 2007. Los bosques comunitarios de México: Manejo sustentable de paisajes forestales. México: Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat), Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, Instituto de Geografía-UNAM, Florida International Institute.

Cai, N., Xu, Y., Shi, C., He, B., Li, G., Li, Y., & Duan, A. 2016. Variation in seed and seedling traits and their relations to geo-climatic factors among populations in Yunnan Pine (*Pinus yunnanensis*). Journal of Forestry Research, 27(5): 1009-1017.

https://doi.org/10.1007/S11676-016-0228-Z

Carmona, O. H., García, E. O. R., y Hernández, L. M. 2003. Variación en semillas de cinco procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Foresta veracruzana*, *5*(2): 23-28. Foresta Veracruzana. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49750204

Caroca, R., Zapata, N., & Vargas, M. 2016. Efecto de la temperatura sobre la germinación de cuatro genotipos de maní (*Arachis hypogaea* L.). Chilean journal of agricultural & animal sciences, 32(2): 94-101.

Castañón Malpica, A. T., Gallardo Hernández, C., & Toledo Aceves, T. 2024. Germination and emergence of *Quercus meavei* and *Quercus delgadoana*, threatened species of the cloud forest: effect of natural conditioning. Acta botánica mexicana, (131).

Cervantes-Machuca, M. M., Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez del Valle, J. R., y Rodríguez-Vásquez, M. E. 2023. Caracterización morfológica de semillas y eficiencia germinativa de *Pinus patula* var. *longepedunculata* y *P. pseudostrobus* var. *oaxacana.* e-CUCBA (20): 44-51.

Clark, J. S. (2010). Individuals and the variation needed for high species diversity in forest trees. Science, 327(5969): 1129–1132. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1183506

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. 2001. Estrategia nacional sobre biodiversidad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.

Durán-Mendoza, E., Cornejo-Gallegos, M., Martínez-Palacios, A., Pedraza-Santos, M. E., Sánchez-Vargas, N. M., Valdovinos-Ramírez, G. A., & Mandujano-Sánchez, M. D. C. 2025. Circannual Clock in Laelia speciosa (Orchidaceae) Through Dormancy vs. Germination Dynamics of Seeds Stored Under Controlled Conditions. Plants, 14(3): 336.

Dvorak, W. S., Potter, K. M., Hipkins, V. D., & Hodge, G. R. 2009. Genetic diversity and gene exchange in *Pinus oocarpa*, a Mesoamerican pine with resistance to the pitch canker fungus (*Fusarium circinatum*). International Journal of Plant Sciences, 170(5): 609-626.

Eguiluz P., T. 1978. Ensayo de la investigación de conocimientos sobre el género *Pinus* en México, Tesis profesional, U. A. CH. Chapingo, México. 623 p.

Eguiluz-Piedra, T. 1982. Clima y distribución del género *Pinus* en México. Revista Ciencia Forestal, 38(7): 30-43.

Flores-López, C., Geada-López, G., López-Upton, J., & López-Ramírez, E. 2012. Producción de semillas e indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinezii* TF Patterson. Revista Forestal Baracoa, 31(2): 49-58.

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. y 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): 1-18.

García-Valencia, L. E., Pérez-García, J. Z., Vallejo-Reyna, M. A., Reynoso-Santos, R., Vargas-Hernández, J. J., & García-Campusano, F. 2022. cpSSR and high-resolution melting analysis (HRM) for *Pinus pseudostrobus* Lindl. Variety Genotyping and Discrimination. Forests, 13(2): 200. https://doi.org/10.3390/f13020200

Gernandt, D. S., & Pérez-de, J. A. 2014. Biodiversity of *Pinophyta* (conifers) in Mexico. Revista Mexicana De Biodiversidad, 85. https://doi.org/10.7550/RMB.32195

Hampton, J. G., & TeKrony, D. M. 1995. Handbook of vigour test methods. International Seed Testing Association.

Hernández V., S., López E., R. G., Sánchez P., P., Villarreal R., M., Parra T., S., Iglesias, L. G., Solís-Ramos, L. Y., y Viveros-Viveros, H. 2012. Variación morfométrica en dos poblaciones naturales de *Pinus hartwegii* Lindl. del estado de Veracruz. Phyton, 81(2), 239-247.

Hernández-Carmona, O., Ramírez García, E. O., & Mendizábal Hernández, L. del C. 2003. Variación en semillas de cinco procedencias de *Pinus pseudostrobus Lindl*. *5*(2): 23-28.

Hernández-Díaz, J. C., López-Sánchez, C. A., Martínez-Guerrero, J. H., & Wehenkel, C. 2020. Morphological Differences in *Pinus strobiformis* across latitudinal and elevational

gradients. Frontiers in Plant Science, 11: 559697. https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.559697

INEGI. 2021. Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación. Serie VII. Escala 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/temas/ususuelo/

Iwaizumi, M. G., Ohtani, M., & Takahashi, M. 2019. Geographic cline and climatic effects on cone characteristics of natural populations of *Pinus densiflora* throughout the Japanese archipelago. Journal of Forest Research, 24(3): 187–196. https://doi.org/10.1080/13416979.2019.1603666

Kawecki, T. J., & Ebert, D. 2004. Conceptual issues in local adaptation. Ecology Letters, 7(12): 1225-1241.

Köbölkuti, Z. A., & Höhn, M. 2018. Habitat type differentation in peripheral *Pinus sylvestris* populations based on seed traits and germination data. Studia bot. Hung, 49(1): 97–119. https://doi.org/10.17110/STUDBOT.2018.49.1.97

Leal-Sáenz, A., Waring, K. M., Menon, M., Cushman, S. A., Eckert, A. J., Flores-Rentería, L., Hernández-Díaz, J. C., López-Sánchez, C. A., Martínez-Guerrero, J. H., & Wehenkel, C. 2020. Morphological Differences in *Pinus strobiformis* Across Latitudinal and Elevational Gradients. Frontiers in Plant Science, 11: 559697. https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.559697

Liepe, K. J. 2014. Genetic variation in lodgepole pine and interior spruce: adaptation to climate and implications for seed transfer. https://doi.org/10.7939/R3ZS2KN37

López-Toledo, L., Heredia-Hernández, M., Castellanos-Acuña, D., Blanco-García, A., & Saénz-Romero, C. 2017. Reproductive investment of *Pinus pseudostrobus* along an altitudinal gradient in Western Mexico: implications of climate change. New Forests 48: 867–881. https://doi.org/10.1007/s11056-017-9602-8

Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. Ediciones Botas. Mexico, pp 108-126.

Matveev, S., Litovchenko, D., Gusev, A., & Golovin, Yu. G. 2022. Specificity of individual response radial increment of scots pine in the voronezh biosphere reserve on the differentiated forest conditions. Reproductive and Developmental Biology, 12(11): 1863. https://doi.org/10.3390/life12111863

Mendizábal-Hernández, L. C., Alba-Landa, J., Rodríguez-Juárez, M. C., Ramírez-García, E. O., Márquez-Ramírez, J., y Cruz-Jiménez, H. 2015. Estudio de germinación de cinco procedencias de *Pinus greggii* Engelm. Foresta Veracruzana, 17(1): 49-56.

Michelon, T. B., Santos, F. S. dos, Belniaki, A. C., Vieira, E. S. N., & Panobianco, M. 2022. Time reduction to evaluate *Pinus taeda* seeds germination by time-to-event analysis. Scientia Agricola, 79(6). https://doi.org/10.1590/1678-992X-2021-0092

Morales Hernández, J., Gómez Romero, M., Sánchez Vargas, N. M., Velázquez Becerra, C., Cruz-de-León, J., y Ambriz, E. 2022. Producción de semillas e indicadores reproductivos en *Pinus martinezii* de dos procedencias del estado de Michoacán, México. Bosque, 43(3): 221-229

Morales-Hernández, J., Zepeda-Guzmán, S., Cruz-de León, J., Gómez-Romero, M., y Ambriz-Parra, J. E. 2017. Descripción macroscópica y germinación de semillas de *Pinus martinezii* Larsen del estado de Michoacán. Foresta Veracruzana, 19(1), 23-28.

Muñoz F., H. J., Orozco G., G., Coria A., V. M., Muñoz V., Y.Y., y García M., J. J. 2012. Comparación de dos métodos de selección de árboles superiores en un área semillera de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schltdl. *et* Cham. en Michoacán, México. Foresta Veracruzana, 14(1): 1-8.

Muñoz-Flores, H. J., Sáenz Reyes, J., Gómez Cárdenas, M., Hernández Ramos, J., y Barrera Ramírez, R. 2023. Variación morfológica en semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. altamente productores de resina. Acta Universitaria, 33. 1-14. https://doi.org/10.15174/au.2023.3549

Narave Flores, H., Taylor, K., Y Gómez-Pompa, A. 1997. Flora de Veracruz: Pinaceae. 1-53.

Recibido:
20/enero/2025

Aceptado:
26/noviembre/2025

Nienstaedt, H. 1990. Importancia de la variación natural. En: Memoria del Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales. Centro de Genética Forestal A. C. Lomas de San Juan Chapingo, México pp.16-18.

Ortega-Mata, A., Mendizabal Hernández, L., Alba Landa, J., y Aparicio Rentería, A., 2003. Germinación y crecimiento inicial de *Pinus hartwegii* Lindl. de siete poblaciones del Estado de México. Foresta Veracruzana, 5(2): 29-34. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4975020

Palacio-Prieto, J. L., Bocco, G., Velázquez, A., Mas, J. F., Takaki-Takaki, F., Victoria, A., y Trejo-Vázquez, I. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. Investigaciones Geográficas, (43): 183-203.

Pedroso, H. L., Rocha-Filho, L. C., y Lomônaco, C. 2010. Variación fenotípica de plantas del Cerrado (*Sabana brasileña*) frente a la heterogeneidad ambiental. *Ecosistemas, 19*(1): 24-36.

Perry, Jr. J.P. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.

QGIS Development Team 2023. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. http://qgis.osgeo.org

Rodríguez-Laguna, R., Razo Zárate, R., Juárez Muñoz, J., Capulín Grande, J., & Soto Gutiérrez, R. 2012. Tamaño de cono y semilla en procedencias de *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* establecidas en diferentes suelos. Revista Fitotecnia Mexicana, 35(4): 289-298.

Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez del Valle, J. R., & Rodríguez-Vásquez, M. E. 2023. Caracterización morfológica de semillas y eficiencia germinativa de *Pinus patula* var. *longepedunculata* y *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*. E-Cucba, 10(20): 44-51.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ciudad de México, México: Limusa. 1-496.

Sáenz-Reyes, J. T., Muñoz-Flores, H. J., & Rueda-Sánchez, A. 2014. Especies promisorias de clima templado para plantaciones forestales comerciales en México. Libro Técnico Núm. 10. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México.

Sánchez-González, A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. Madera y Bosques, 14(1):107-120.

Sandoval-García, R., González-Cubas, R., & Bautista-Cruz, A. 2020. Asociación ecológica de *Pinus pseudostrobus* (Pinaceae) como respuesta de las variaciones biogeográficas en el Centro-Sur de México. Acta Botánica Mexicana, (127).

SAS Institute. 2019. SAS/OR 9.3 User's Guide: Mathematical Programming Examples. SAS institute.

Satten, G. A., & Datta, S. 2001. The Kaplan–Meier estimator as an inverse-probability-of-censoring weighted average. The American Statistician, 55(3): 207-210.

Sivacioglu A, Ayan S. 2010. Variation in cone and seed characteristics in a clonal seed orchard of Anatolian black pine [*Pinus nigra* Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe]. J Environ Biol. 31(1-2):119-23.

Solís-Sandoval, S., Gómez-Romero, M., & Velázquez-Becerra, C. (2019). Viabilidad y germinación de semilla de Cordia elaeagnoides A. DC. Polibotánica, (48), 121-134. https://doi.org/10.18387/polibotanica.48.10.

Valladares, F., Matesanz, S., Guilhaumon, F., Araújo, M. B., Balaguer, L., Benito-Garzón, M., & Zavala, M. A. 2014. The effects of phenotypic plasticity and local adaptation on forecasts of species range shifts under climate change. Ecology Letters, 17(11): 1351-1364.

Voltas, J., Amigó, R., Shestakova, T. A., di Matteo, G., Díaz, R., & Zas, R. 2024. Phylogeography and climate shape the quantitative genetic landscape and range-wide plasticity of a prevalent conifer. Ecological Monographs 94(1): e1596.

Young, R. A. 1991. Introducción a las Ciencias Forestales. Edit. Limusa. México D. F. 632 p.

Zobel, B. y Talbert, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Ed. Limusa. México D. F. 545 p.

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

GERMINACIÓN DE *Ormosia macrocalyx* Ducke (FABACEAE), ÁRBOL NATIVO EN PELIGRO DE EXTINCIÓN

GERMINATION OF *Ormosia macrocalyx* Ducke (FABACEAE), AN ENDANGERED NATIVE TREE

Pozo Gómez, B.K., C. Orantes García, D.M. Pozo Gómez, A.G. Verdugo Valdez, M.S. Sánchez Cortés, R.A. Moreno Moreno

GERMINACIÓN DE *Ormosia macrocalyx* Ducke (FABACEAE), ÁRBOL NATIVO EN PELIGRO DE EXTINCIÓN
GERMINATION OF *Ormosia macrocalyx* Ducke (FABACEAE), AN ENDANGERED NATIVE TREE

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 181-191 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.10

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Germinación de *Ormosia macrocalyx* Ducke (Fabaceae), árbol nativo en peligro de extinción

Germination of *Ormosia macrocalyx* Ducke (Fabaceae), an endangered native tree

Brenda Karina Pozo Gómez, Carolina Orantes García, Dulce María Pozo Gómez, Alma Gabriela Verdugo Valdez, María Silvia Sánchez Cortés, Rubén Antonio Moreno Moreno

GERMINACIÓN DE ORMOSIA MACROCALYX DUCKE (FABACEAE), ÁRBOL NATIVO EN PELIGRO DE EXTINCIÓN

GERMINATION OF ORMOSIA MACROCALYX DUCKE (FABACEAE), AN ENDANGERED NATIVE TREE

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 181-191. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.10

Brenda Karina Pozo-Gómez https://orcid.org/0009-0000-3357-0649
Maestría en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Norte Poniente núm. 1155, Col. Lajas Maciel, CP 29039, Chiapas, México. Número de beca 843448

Carolina Orantes García / carolina.orantes@unicach.mx
https://orcid.org/0000-0001-8604-7448
Dulce María Pozo Gómez https://orcid.org/0000-0002-9249-0072
Alma Gabriela Verdugo Valdez https://orcid.org/0000-0002-3879-0672
María Silvia Sánchez-Cortés https://orcid.org/0000-0002-3916-3048
Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Norte Poniente núm. 1155, Colonia Lajas Maciel, CP 29039, Chiapas, México

Rubén Antonio Moreno-Moreno https://orcid.org/0000-0003-0296-1318
Facultad de Ciencias Humanas y Sociales, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Norte Poniente núm. 1155, Colonia Lajas Maciel, CP 29039, Chiapas, México

RESUMEN: *Ormosia macrocalyx*, comúnmente llamada colorín en el sur de México, es un árbol nativo de Mesoamérica, que para las comunidades rurales tiene una diversidad de usos; desde las semillas en la artesanía, hojas y corteza en la herbolaria tradicional, hasta la madera que por su dureza es muy utilizada en la construcción de muebles y casas. Sin embargo, el uso desmedido y el manejo no sustentable ha traído como consecuencia que actualmente sea catalogada como especie en peligro de extinción. La finalidad de esta investigación fue analizar el proceso germinativo, con el fin de generar información que permita desarrollar alternativas de conservación y manejo sustentable. A las semillas recolectadas, se les determinó el peso (g), largo (mm) y ancho (mm), mediante la prueba de tetrazolio se analizó la viabilidad y para el proceso de germinación se aplicaron tres tratamientos pregerminativos. Se aplicó un diseño completamente aleatorio. El tamaño de las semillas en promedio fue de 10.85 ± 0.54 mm de largo y 9.95 ± 0.54 mm de ancho, con un peso de 0.61 ± 0.08 g, presentaron 100% ± 2.44 de viabilidad. El proceso germinativo de las semillas escarificadas inició a los 12 días después de la siembra (dds), obteniéndose 83% de germinación alta en comparación con el testigo que fue de 31.33%. Esta especie requiere de tratamientos de escarificación para acelerar el proceso germinativo y obtener un mayor porcentaje final de germinación.
Palabras clave: Fabaceae, análisis de semillas, tratamientos pregerminativos, manejo sustentable.

ABSTRACT: *Ormosia macrocalyx*, commonly known as colorín in southern Mexico, is a native tree with various uses in rural communities. Its seeds are used in handicrafts, its leaves and bark in traditional herbal medicine, and its wood, due to its hardness, is utilized in furniture and house construction. However, uncontrolled exploitation without sustainable management has led to its classification as an endangered species. The objective of this research was to analyze the germination process of its seeds to generate information that could help develop conservation and sustainable management strategies. Seeds were collected to determine their weight (g), length (mm), and width (mm). Viability was assessed using tetrazolium, and three pre-germination treatments were applied. A completely randomized design was used. The average seed size was

10.85 ± 0.54 mm in length and 9.95 ± 0.54 mm in width, with a weight of 0.61 ± 0.08 g. They exhibited 100% ± 2.44% viability. The germination process of scarified seeds began 12 days after sowing (DAS), achieving 83% germination, significantly higher than the control (31.33%). It is concluded that this species requires scarification treatments to accelerate the germination process and increase the final germination rate.
Key words: Fabaceae, seed analysis, pre-germination treatments, sustainable management.

INTRODUCCIÓN

La flora de México es considerada una de las más diversas del mundo, sin embargo, en la actualidad esta diversidad enfrenta una pérdida irreparable, por lo que ha ido disminuyendo debido a las diferentes actividades antropogénicas como la producción ganadera, cambio de uso de uso de suelo, la deforestación, fragmentación de ecosistemas, poniendo en riesgo la continuidad de las especies y sus poblaciones (González-Valdivia *et al.*, 2012). Tal es el caso de la especie *Ormosia macrocalyx* Ducke, que actualmente se encuentra en peligro de extinción según la NOM-059-SEMARNAT-2010, debido a que no existen disposiciones legales para su uso. Esta especie es un árbol multipropósito, que pertenece a la familia Fabaceae, sus vainas producen unas semillas de color rojo brillante, que son utilizadas en la artesanía; para la elaboración de pulseras, collares, amuletos. Las flores de color violeta y la corteza son utilizadas en la medicina tradicional. La madera es útil en la carpintería, construcción de puentes y canoas (Pérez-Hernández *et al.*, 2011). En comunidades del sur de México estos árboles son llamados comúnmente como; colorín, coralillo o frijolillo, pueden alcanzar hasta 40 m de altura y entre 2.5 a 3.5 cm de diámetro normal. En México y en América tropical, esta especie se distribuye en áreas con precipitación mayor de 800 mm y temperatura media mínima de 22 °C anuales. Los datos sobre la presencia de esta especie en México son escasos, se encuentra con mayor frecuencia en áreas naturales protegidas de los estados sureños del país; en remanentes de selva, pero también algunos individuos en sistemas agrícolas de subsistencia, en plantaciones agroforestales o como árboles aislados en pastizales cultivados o inducidos (González-Valdivia *et al.*, 2012; Vargas-Simón *et al.*, 2018)

Es importante mencionar que el aprovechamiento de *O. macrocalyx* se realiza de poblaciones silvestres, en los estados de Chiapas, Tabasco, Oaxaca y Veracruz y se encuentran muy pocos individuos, debido a la reducción drástica de su hábitat y aprovechamiento no sustentable de la misma (Vargas-Simón *et al.*, 2018).

Existen escasos estudios sobre la especie; Sánchez (2021), realizó un estudio sobre desarrollo y crecimiento de *O. macrocalyx*, donde el análisis demostró que el crecimiento fue favorecido por la temperatura y la precipitación, lo cual se reflejó en una alta sobrevivencia. Otro trabajo fue el de Vargas-Simón *et al.* (2017), quienes realizaron un estudio sobre la germinación de dicha especie donde mencionan que las semillas presentan latencia física debido a una cubierta seminal dura e impermeable al agua, limitando su germinación y propagación. Román *et al.* (2012), también demostraron que las semillas de *O. macrocalyx* pueden almacenarse a 20 °C y permanecer viables durante más de 36 meses.

Por ello, esta investigación tuvo por objetivo analizar el proceso germinativo de las semillas de *O. macrocalyx* mediante la aplicación de tratamientos pregerminativos, con el fin de generar información básica que permita desarrollar alternativas de propagación y manejo sustentable de la especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos fueron recolectados, de cuatro árboles elegidos de manera dirigida por su accesibilidad de muestreo (González, 2006), localizados en el tramo carretero Arriaga-Tierra y Libertad, en la porción noroeste de la Sierra Madre de Chiapas, área que conforma la Reserva de La Biosfera La Sepultura, Chiapas, México (Figura 1).

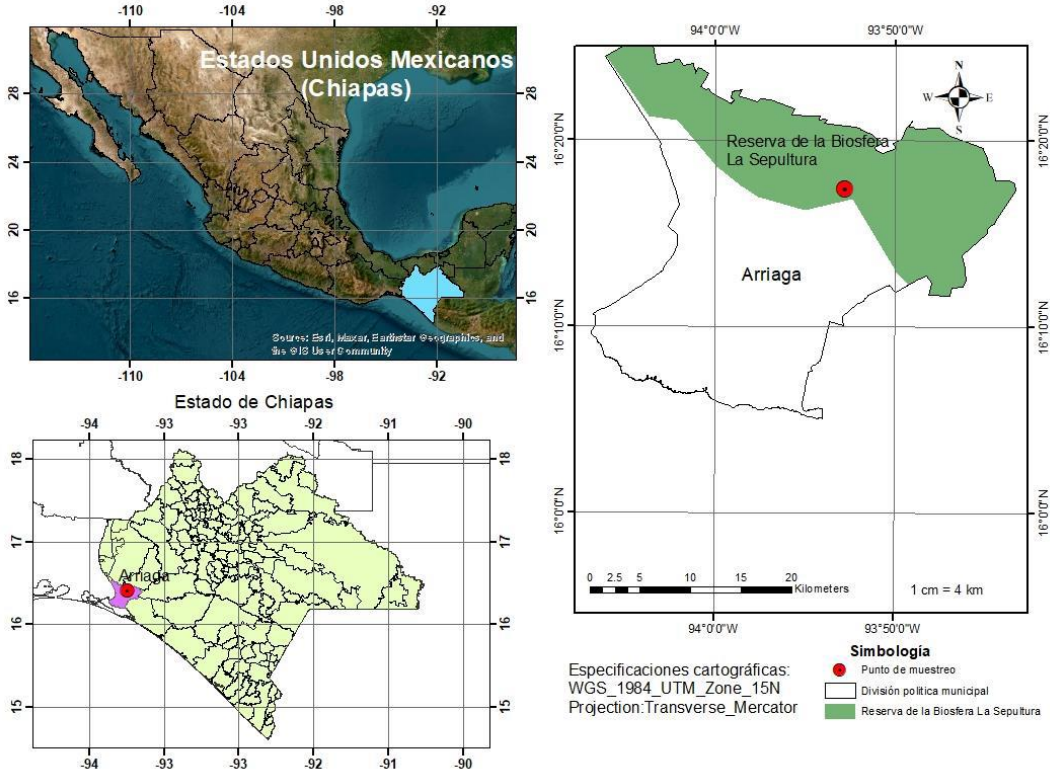


Figura 1. Mapa de localización de la recolecta de frutos de *Ormosia macrocalyx*, Reserva de La Biosfera La Sepultura, Chiapas, México.
Figure 1. Location map of the *Ormosia macrocalyx* fruit collection, La Sepultura Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico.

De cada árbol se recolectaros 100 frutos maduros de tipo vaina (N = 4), en total fueron 400 vainas mezcladas de manera homogénea, eliminándose las vainas dañadas y/o vanas. La coloración de la vaina permite ver el grado de maduración de las semillas (las vainas maduras presentan un color castaño, dentro de estas se encuentran las semillas duras de color rojo lustruso, lo que indica que han alcanzan la madurez). Los frutos fueron guardados en bolsas de papel estraza para su traslado al laboratorio del Banco de Germoplasma Vegetal de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), para su posterior análisis.

Las semillas fueron retiradas de las vainas, contando el número que cada vaina contenía, posteriormente fueron integradas al azar a una muestra total para realizar todas las pruebas. A las semillas se les determinó el ancho y largo mediante un calibrador digital Caliper® con precisión de 0.1 mm; el peso se calculó con una balanza analítica digital Ohaus Adventurer® con precisión de 0.0001 g. Se utilizaron cuatro muestras aleatorias de 100 semillas (Valdés-Rodríguez et al., 2013).

Prueba de viabilidad

Se tomaron al azar tres muestras de 20 semillas maduras recién recolectadas (dos días después de la recolecta), las cuales fueron colocadas en agua destilada por 24 h para reducir la dureza de la testa. Con la ayuda de un bisturí se realizó un corte longitudinal a las semillas para dividir los cotiledones, se colocaron en cajas de Petri y se les agregaron 10 gotas de 2, 3, 5 trifenil cloruro de tetrazolio diluido (1% p/v) (Orantes-García *et al.*, 2013). Posteriormente se evaluó el patrón de tinción de las semillas bajo un microscopio estereoscópico y se estimó el porcentaje de viabilidad (Rao *et al.*, 2007).

Prueba de germinación

Para evaluar la germinación de las semillas, se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Se aplicaron tres tratamientos pregerminativos: a) escarificación mecánica; esto se realizó utilizando una lija de agua-120 grano medio Truper®, para adelgazar la testa en el área localizada cerca del micropilo, cuidando no dañar el embrión, b) hidratación; las semillas fueron remojadas en agua a temperatura ambiente (25 ºC), por un periodo de 24 h, c) testigo; semillas sin ningún tratamiento. Se utilizaron un total de 90 semillas por tratamiento con tres repeticiones (3 x 3 x 30). Cada semilla fue considerada como unidad experimental, teniendo como variable independiente el tiempo y como variables de respuesta el porcentaje de germinación final (PG), germinación acumulada (GA) y el tiempo promedio de germinación (T) (Pozo-Gómez et al., 2019)

Después de aplicar los diferentes tratamientos pregerminativos, las semillas fueron colocadas en charolas de unicel para especies forestales tipo Koper block® (60 cm x 35 cm x 12 cm), con sustrato de fibra de coco a una profundidad de 3 cm con el micrópilo hacia abajo. Se aplicó riego a capacidad de campo cada tres días. Las observaciones se realizaron cada tres días durante tres meses.

Posteriormente a la germinación, se tomaron 50 semillas germinadas para observar las estructuras importantes en el crecimiento y desarrollo de la plántula; tipo de germinación, hojas primarias, largo y grosor del tallo, numero de hojas y longitud de la raíz para la identificación de la especie en su estadio temprano (López-Ríos, 2005). El diámetro del tallo y altura de la plántula se determinó con un calibrador digital Caliper® con precisión de 0.1 mm. Las hojas solo se contaron de acuerdo al número de brotes. Los datos se tomaron desde los 15 hasta los 90 días después de la emergencia del sustrato. Los riegos se realizaron cada 3 días.

Los datos obtenidos de las pruebas de viabilidad y germinación, se les determino si cumplían con los requerimientos de normalidad, por medio de Tukey, con los niveles de significancia de $p \leq 0.5$. Una vez que se comprobaron los datos se procedió a realizar un análisis de varianza (ANOVA). Los análisis estadísticos fueron analizados mediante el paquete estadístico R.4.3.2® (R Core Team, 2023).

RESULTADOS

Semillas de *Ormosia macrocalyx*

Las semillas de esta especie se encuentran dentro de una vaina, donde el número puede variar entre 1 a 5 semillas por vaina. Presentan una testa de color rojo lustroso con una consistencia dura y superficie lisa, micrópilo conspicuo en posición basal. En promedio miden 10.85 ± 0.54 mm de largo, 9.95 ± 0.54 mm de ancho y pueden llegar a pesar 0.61 ± 0.08 g en promedio (Figura 2).

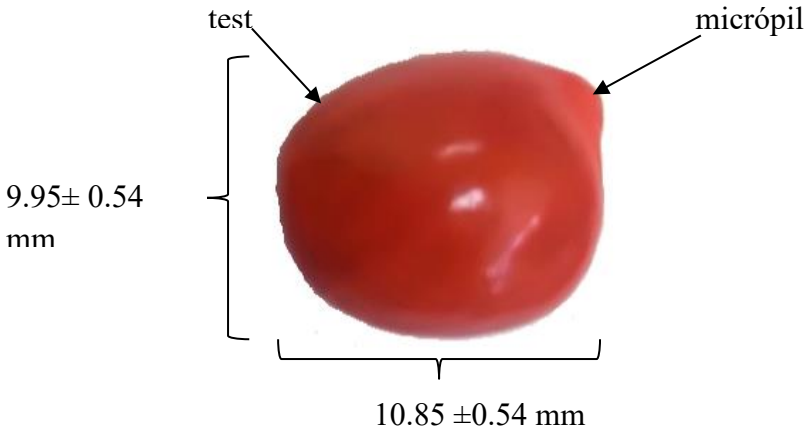


Figura 2. Características de las semillas de *Ormosia macrocalix*, árbol nativo de Chiapas, México.
Figure 2. Characteristics of the seeds of *Ormosia macrocalyx*, a tree native to Chiapas, Mexico.

Viabilidad de las semillas

Se observó que las semillas maduras, recién recolectadas presentaron 100% ± 2.44 de tinción. Aunado a ello se identificaron tres patrones topológicos: a) semillas libres de coloración, no viables, b) semillas con baja coloración, no viables y c) semillas teñidas de rojo intenso, totalmente viables (Figura 3).

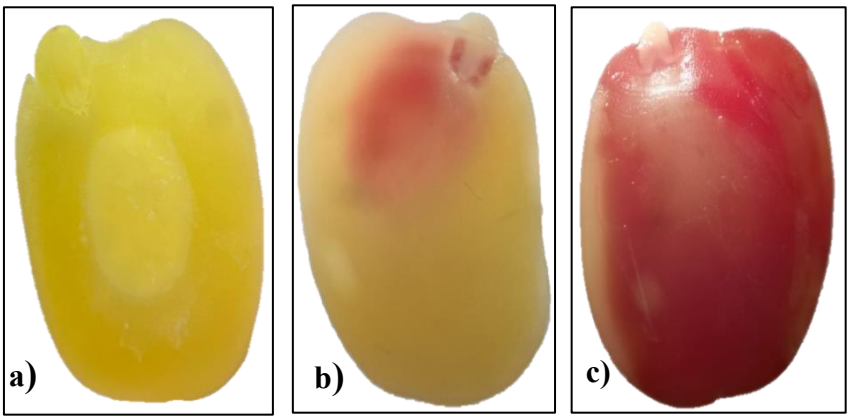


Figura 3. Patrón topológico en semillas de *Ormosia macrocalyx*: a) semilla libre de coloración, b) embrión parcialmente teñido, c) embrión totalmente teñido de una coloración rojo intenso.
Figure 3. Topological pattern in *Ormosia macrocalyx* seeds: a) seed free of coloration, b) partially stained embryo, c) embryo completely stained with an intense red coloration.

Germinación de las semillas

El porcentaje de germinación final de las semillas de *O. macrocalyx* mostraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.0001$). Las semillas maduras recien recolectadas, sometidas al tratamiento de escarificación mecanica obtuvieron en promedio el porcentaje final más alto (83±0.6%), comparada con el testigo que presento 31.33±1.5%. El remojo en agua, no favorecio al proceso germinativo de las semillas de *O. macrocalyx* (Figura 4).

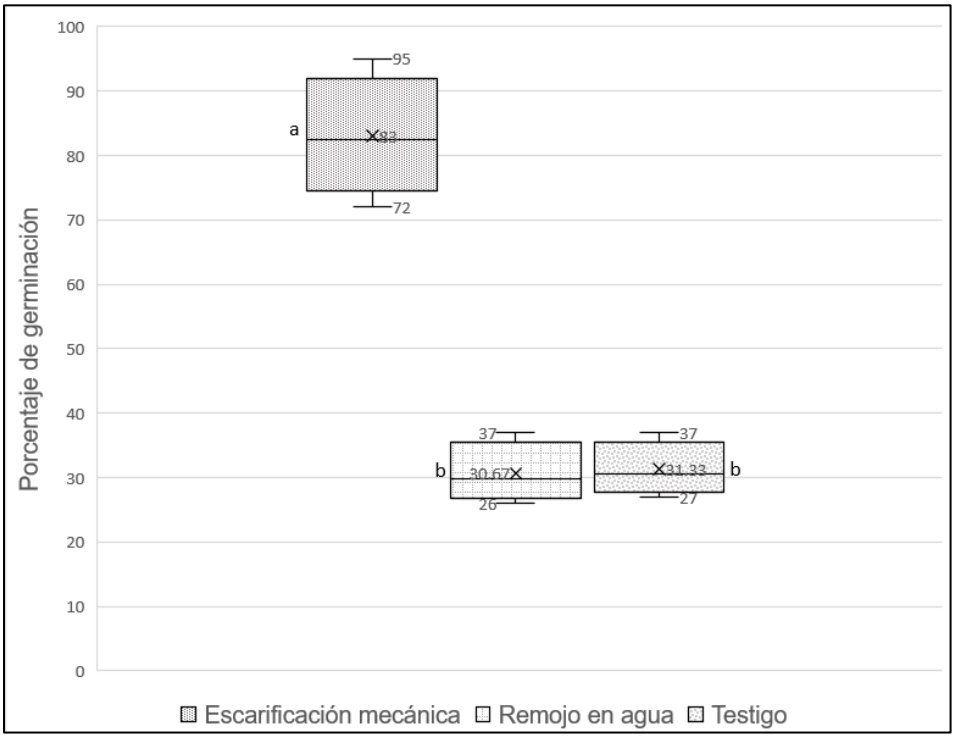


Figura 4. Porcentaje de germinación de las semillas *Ormosia macrocalyx*, bajo dos tratamientos y testigo.
Figure 4. Germination percentage of *Ormosia macrocalyx* seeds, under two treatments and control.

En cuanto a la germinación acumulada, se señala la relación entre el tiempo de germinación de *O. macrocalyx* que dió inicio a partir del día 12, en el día 24 se observa un incremento en el número de semillas germinadas manteniéndose hasta los 90 días para el tratamiento de escarificación. Mientras que para el testigo y el tratamiento en remojo en agua la germinación inició días después y en el resto de los días fue más lenta (Figura 5).

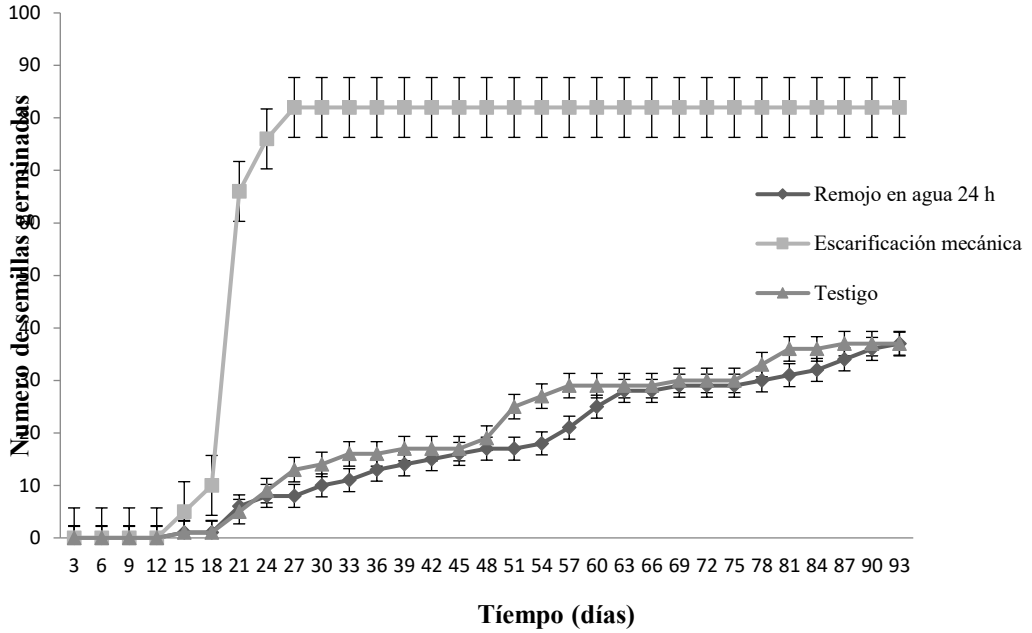


Figura 5. Germinación acumulada en semillas de *O. macrocalyx* de acuerdo a los tratamientos aplicados durante 90 días.
Figure 5. Cumulative germination in *Ormosia macrocalyx* seeds according to the treatments applied during 90 days.

Crecimiento y desarrollo de plántulas de *Ormosia macrocalyx*

La germinación de las semillas de *O. macrocalyx* es de tipo epigea, ya que sus cotiledones emergen del suelo debido al crecimiento del hipocótilo. Las semillas de *O. macrocalyx* germinan a los 12 días, desarrollando una pequeña yema de 3.73 mm, dando origen al hipocótilo, el cual empuja la plúmula y eleva a los cotiledones que a los 25 días adquieren una coloración verdosa. Posteriormente, a los 29 días se originan las primeras hojas con una longitud de 2.33 mm. A los 48 días aparecen las ramificaciones de la raíz principal originadas por el crecimiento de la radícula. El epicótilo se sigue extendiendo desde la inserción de los cotiledones hasta las primeras hojas, que a los 58 días alcanzan los 73.11 mm. Los cotiledones después de haber alimentado a la plántula se arrugan y caen, para dar paso a las hojas verdaderas que adquieren un color verde más intenso (Figura 6).

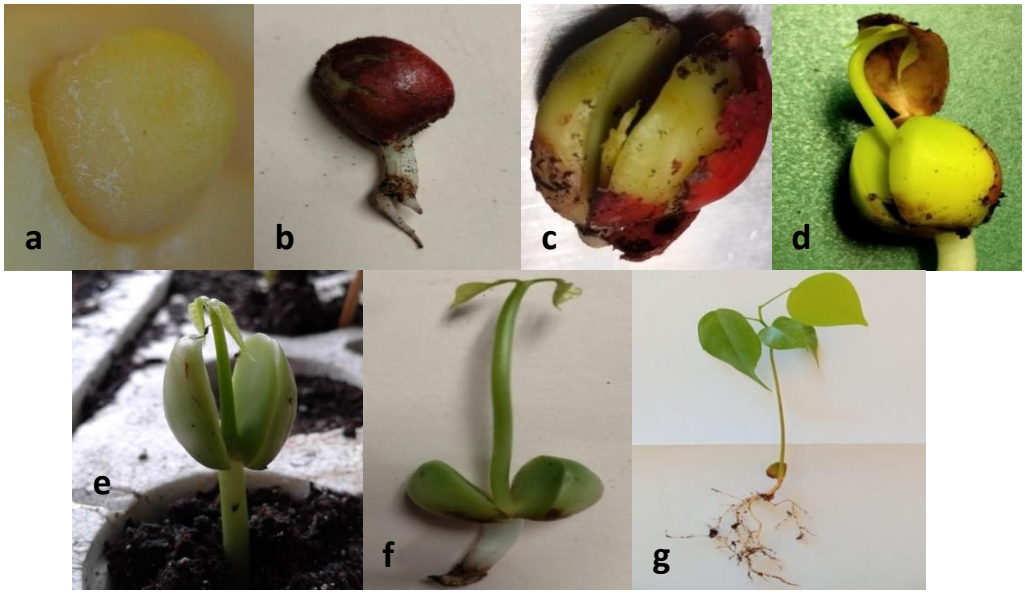


Figura 6. Etapas principales de crecimiento de *O. macrocalyx,* a) yema de inicio de la germinación, b) origen del hipocótilo, c) aparición de las primeras hojas, d) desarrollo del epicótilo, e) crecimiento de la plántula y presencia de una germinación de tipo epigea, f) crecimiento de plántula y extinción paulatina de cotiledones, g) presencia de la plántula con hojas desarrolladas y raíces ramificadas.
Figure 6. Main growth stages of *Ormosia macrocalyx*, a) germination bud, b) origin of the hypocotyl, c) appearance of the first leaves, d) development of the epicotyl, e) the structures continue to extend and epigeal germination is observed, f) cotyledons are observed, g) a seedling with developed leaves and branched roots is observed.

DISCUSIÓN

Según Sánchez (2021), *O. macrocalyx* es una planta arbórea nativa de zonas tropicales de América Latina, produce semillas de color rojo, muy lustrosas, de 10 a 13 mm de largo y 10 mm de ancho. Un tamaño grande favorece a la semilla y se relaciona con una mayor cantidad de reservas para el desarrollo de la futura planta. El tamaño de la semilla no sólo está relacionado con la cantidad de reservas que acumula para su germinación y crecimiento, sino que el medio en el que se desarrollan también contribuye. La disponibilidad de humedad, la facilidad para captar luz o la cantidad de nutrientes disponibles que hay en el suelo, también condicionan su tamaño (Antón *et al.*, 2005). Foster (2008), menciona que esta especie presenta poca dispersión de sus semillas, las cuales permanecen adheridas al árbol parental por períodos prolongados, y las semillas requieren alta humedad para germinar.

En cuanto a la viabilidad, es un indicador importante de la calidad de la semilla para que esta pueda germinar, crecer, desarrollar una nueva planta y completar el ciclo de vida. A simple vista es difícil saber si una semilla está viva o muerta, es por eso que para saber si las semillas de *O. macrocalyx* estaban viables, la prueba de viabilidad indirecta mediante el empleo de Trifeniltetrazolio es muy útil. De este procedimiento se identificaron tres patrones topológicos, semillas libres de coloración, semillas parcialmente teñidas y semillas totalmente teñidas, estas últimas indicando 100% de viabilidad (Pérez y Villamil, 2001). Esto se asemeja con lo descrito por Gómez-Hernández *et al.* (2022), quienes identificaron tres patrones topológicos en semillas de una especie forestal. Es importante mencionar que el periodo de tiempo de viabilidad es variable y depende del tipo de semilla y de las condiciones de almacenamiento o del ambiente en donde estas se encuentren (Doria, 2010; Calvo Cruz, 2015). La no viabilidad de las semillas puede deberse a varios factores, entre ellos; la falta de fertilización, embrión no formado, o semillas inmaduras, esto puede afectar la tinción de las semillas (Pérez y Villamil, 1999).

Para la prueba de germinación mediante la aplicación de tratamientos pregerminativos, se puede decir que las semillas de esta especie si necesitan de una escarificación (con una lija o cualquier otro método que permita desgastar el área del micrópilo), ya que este procedimiento es el más adecuado para estas semillas de acuerdo a lo reportado por Vargas-Simón *et al.* (2017), que también hace referencia a que este tratamiento es el más efectivo para las semillas de la especie en estudio, puesto que estas semillas presentan una cubierta seminal lo que dificulta la germinación de la semilla por si sola. Las semillas de *O. macrocalyx* parecen presentar latencia física (Sautu *et al.*, 2007).

Para el caso de *O. macrocalyx* la germinación inicia entre los 8 y 14 días y a los 40 días se obtiene el 70 a 90% de la germinación y previo remojo en agua por un periodo de 24 h (Vargas-Simón *et al.*, 2017), estos resultados se relacionan con lo obtenido en esta investigación, ya que la germinación inicio a los 12 días y se obtuvo el máximo a los 27 días. Bec *et al.* (2015), menciona que el crecimiento en longitud de las especies forestales depende del ambiente del lugar de procedencia. Es indispensable contar con las descripciones de las plántulas de especies arbóreas, ya que esto es sumamente útil para estudios fisiológicos, taxonómicos o ecológicos. Varios caracteres definen a una especie en su crecimiento preliminar: el tipo de germinación, la forma, entre otras. Aunado a ello la velocidad de crecimiento de las especies forestales varía dependiendo del genotipo y el ambiente en el que se encuentren (Vargas-Simón *et al.*, 2017).

CONCLUSIONES

Se concluye que el tratamiento de escarificación, mediante el lijado de la testa de las semillas de *O. macroxaly,* es eficiente para acelerar el proceso germinativo y obtener un mayor porcentaje de germinación final. Es importante señalar que la realización de estudios que permiten generar información sobre propagación de especies amenazadas como *O. macroxaly*, representa una etapa fundamental que contribuye al conocimiento de especies nativas.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo otorgado a través de la Beca en el Sistema Nacional de Posgrados (SNP).

LITERATURA CITADA

Antón, N., Hernanz, A., Soblechero, E., & Durán Altisent, J. M. (2005). La semilla y su morfología. Agricultura: *Revista agropecuaria*, 877, 612-615.

Bec, J. L., Courbaud, B., Moguédec, G. L., & Pélissier, R. (2015). Characterizing Tropical Tree Species Growth Strategies: Learning from Inter-Individual Variability and Scale Invariance. PLOS ONE, 10(3), e0117028. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117028

Calvo Cruz, D. S. (2015). Caracterización morfológica y fisiológica de semillas y plántulas de Macleania rupestris (Kunth) A.C. Smith. http://hdl.handle.net/10554/11876

Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales,* 31(1), 00-00.

Foster, M. S. (2008). Potential effects of arboreal and terrestrial avian dispersers on seed dormancy, seed germination and seedling establishment in Ormosia (Papilionoideae) species in Peru. *Journal of Tropical Ecology*, 14, 619–627.

Gómez-Hernández, M. M., Orantes-García, C., Verdugo-Valdez, A. G., Pozo-Gómez, D. M., Moreno-Moreno, R. A., & Sánchez-Cortes, M. S. (2022). Contribución al conocimiento del árbol leche María (*Calophyllum brasiliense* Cambess, Clusiaceae): morfometría,

Recibido:
28/abril/2025

Aceptado:
28/noviembre/2025

viabilidad y germinación de semillas. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 8(1), Article 1. https://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/188

González, A. R. (2006). Ecología. Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades. Pontificia Universidad Javeriana.

González-Valdivia, N., Ochoa-Gaona, S., Ferguson, B. G., Pozo, C., Kampichler, C., & Pérez-Hernández, I. (2012). Análisis comparativo de la estructura, diversidad y composición de comunidades arbóreas de un paisaje agropecuario en Tabasco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad,* 83, 83–99.

López-Ríos, G. F. (2005). *Ecofisiología de árboles*. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Orantes-García, C., Pérez-Farrera, M. Á., Rioja-Paradela, T. M., & Garrido- Ramírez, E. R. (2013). Viabilidad y germinación de semillas de tres especies arbóreas nativas de la selva tropical, Chiapas, México. *Polibotánica,* 36, 117-127.

Pérez, G. F., & Pita Villamil, P. J. M.(1999). Dormición de Semillas. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Madrid, España.

Pérez, G. F., & Villamil P. J. M. (2001).Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas. Universidad Politécnica de Madrid, España.

Pérez-Hernández, I., Ochoa-Gaona, S., Vargas-Simón, G., Mendoza-Carranza, M., & González-Valdivia, N. A. (2011). Germinación y supervivencia de seis especies nativas de un bosque tropical de Tabasco, México. *Madera y bosques,* 17(1), 71-91.

Pozo-Gómez, D. M., Orantes-García, C., Rioja-Paradela, T. M., Moreno-Moreno, R. A., Farrera-Sarmiento, O., Pozo-Gómez, D. M., Orantes-García, C., Rioja-Paradela, T. M., Moreno-Moreno, R. A., & Farrera-Sarmiento, O. (2019). Diferencias en morfometría y germinación de semillas de Croton guatemalensis (Euphorbiaceae), procedentes de poblaciones silvestres de la Selva Zoque, Chiapas, México. *Acta botánica mexicana,* 126. https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1384

R Core Team. (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing (Versión 4.3.2) [C; Windows]. R Foundation for Statistical Computing. http://www.R-project.org/

Rao, N. K., Hanson, J., Dulloo, M. E., Ghosh, K., Nowell, D., & Larinde, M. (2007). Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. https://hdl.handle.net/10568/1946

Román, F., De Liones, R., Sautu, A., Deago, J., & Hall. J. S. (2012). Guía para la propagación de 120 especies de árboles nativos de Panamá y el neotrópico. New Haven: Enviromental Leadership & Training Initiative (ELTI).

Sánchez, G. H. (2021). Programa producción agroalimentaria en el trópico.

Sautu, A., Baskin, J. M., Baskin, C. C., Deago, J., & Condit, R. (2007). Classification and ecological relationships of seed dormancy in a seasonal moist tropical forest, Panama, Central America. *Seed Science Research,* 17,127-141.

Valdés-Rodríguez, O. A., Sánchez-Sánchez, O., Pérez-Vázquez, A., & Zavala del Angel, I. (2013). Alometría de semillas de *Jatropha curcas* L. mexicanas. *Revista mexicana de ciencias* agrícolas, 4(SPE5), 967-978.

Vargas-Simón, G., Martínez-Zurimendi, P., Domínguez-Domínguez, M., Pire, R., (2017). Seed germination in *Ormosia macrocalyx*, an endangered tropical forest tree. *Botanical Sciences,* 95(2), 329-341. https://doi.org/10.17129/botsci.823

Vargas-Simón, G., Núñez-Piedra, M. L., Domínguez-Domínguez, M., Alegría-González, W. R., & Martínez-Zurimendi, P. (2018). Distribución de *Ormosia macrocalyx* en México y delimitación de sus áreas de ocupación. *Revista mexicana de biodiversidad,* 89, 1201-1211.

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

PROPAGACIÓN *in vitro* DE CALLOS DE MORERA (*Morus alba* L.) COMO ALTERNATIVA ALIMENTICIA PARA LARVAS DE GUSANOS DE SEDA (*Bombyx mori*)

In vitro PROPAGATION OF *Morus alba* L. CALLI AS AN ALTERNATIVE FEED FOR SILKWORM (*Bombyx mori*) LARVAE

Hernández Rojas, A.R., J.L. Rodríguez-de la O, A. Rodríguez-Ortega, E. García-López, R.D. Romero-Santos, J.L. Sebastían-Nicolás, M. Hernández-Hernández

PROPAGACIÓN *in vitro* DE CALLOS DE MORERA (*Morus alba* L.) COMO ALTERNATIVA ALIMENTICIA PARA LARVAS DE GUSANOS DE SEDA (*Bombyx mori*)
In vitro PROPAGATION OF *Morus alba* L. CALLI AS AN ALTERNATIVE FEED FOR SILKWORM (*Bombyx mori*) LARVAE

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 193-204 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.11

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

POLIBOTÁNICA

Núm. 61: 193-204 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Propagación *in vitro* de callos de morera (*Morus alba* L.) como alternativa alimenticia para larvas de gusanos de seda (*Bombyx mori*)

In vitro propagation of *Morus alba* L. calli as an alternative feed for silkworm (*Bombyx mori*) larvae

Alma Rosa Hernández-Rojas / ar.hernandez@uiceh.edu.mx
https://orcid.org/0009-0004-8627-077X
Universidad Intercultural del Estado de Hidalgo. Carretera Tenango a San Bartolo Km 2.5, CP 43487, El Desdaví, Tenango de Doria, Hidalgo, México

José Luis Rodríguez-de la O https://orcid.org/0000-0002-2331-9984
Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, Km 38.5, Chapingo, Estado de México, CP 56230

Alejandro Rodríguez-Ortega https://orcid.org/0000-0002-9716-4778
Universidad Politécnica de Francisco I Madero. Domicilio Conocido SN, 42660, Tepatepec, Hidalgo

Elvis García-López https://orcid.org/0000-0003-3532-6812
Rosita Deny Romero-Santos https://orcid.org/0000-0001-8586-9298
Jessica Lizbeth Sebastián-Nicolás https://orcid.org/0000-0002-2206-4991
Universidad Intercultural del Estado de Hidalgo. Carretera Tenango a San Bartolo Km 2.5, CP 43487, El Desdaví, Tenango de Doria, Hidalgo, México

Manuel HernándezHernández http://orcid.org/0000-0001-6057-6667
Universidad Intercultural de Puebla. Calle Principal a Lipuntahuaca s/n. Lipuntahuaca, Huehuetla, Puebla

ABSTRACT: Mulberry *Morus alba* L. is a deciduous tree which leaves yield is a feeding source with high nutrients content and digestibility. The *in vitro* culture allows the vegetal tissue proliferation from young explants and the addition of growth regulators. The subject of the present research is to promote the undifferentiation cellular in leave tissue and origin callogenesis in plants of *Morus alba*, L. var. SLP5 and SLP3 supplemented with plant growth regulators 2,4-D and TDZ and evidence the acceptability of *in vitro* cultured mulberry calli in the feeding of the first silkworm larvae stages (*Bombyx mori*). The three portions of mulberry leaves var. SLP5 and SLP3 were cultured in MS modified medium supplemented with 7.0 g L^{-1} agar, 3% sucrose, 0.4 mg L^{-1} thiamine and 100 mg L^{-1} myo-inositol with 2,4- dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D, 1 and 3 mg L^{-1}) combine with thidiazuron (TDZ, 1 and 3 mg L^{-1}), in a completed randomized design (1:1; 1:3; 3:1 and 3:3 mg L^{-1}) with 5 replicates among two months. The SLP5 variety displayed a bigger weight 2.49±0.48 g and volume 2.83±0.86 cm^3 than SLP3 variety. The calli obtained in treatment 4 (3 mg L^{-1} of 2,4-D and 3 mg L^{-1} TDZ) displayed a bigger volume 3.39±0.80 cm^3 and weight 2.93±0.33 g ($p \leq 0.05$). In regard to the leaves sections, the explants growth calli do not show significantly differences ($p \leq 0.05$). The silkworm larvae growth was bigger for treatment 4 weight 2.66±1.87 g and length de 2.62±2.10 cm ($p \leq 0.05$). It is worth to mention that the *in vitro* cultured mulberry calli as food acceptance was similar for all treatments. In this research the *in vitro* propagation of white mulberry calli was independent from the plant variety. The calli white mulberry propagated *in vitro* were accepted in the feeding of silkworm larvae under laboratory conditions.

Key words: *Morus* sp, plant growth regulators, calli, *Bombyx mori.*

Alma Rosa Hernández Rojas, José Luis Rodríguez-de la O, Alejandro Rodríguez-Ortega, Elvis García-López, Rosita Deny Romero-Santos, Jessica Lizbeth Sebastían-Nicolás, Manuel Hernández-Hernández

PROPAGACIÓN *in vitro* DE CALLOS DE MORERA (*Morus alba* L.) COMO ALTERNATIVA ALIMENTICIA PARA LARVAS DE GUSANOS DE SEDA (*Bombyx mori*)

In vitro PROPAGATION OF *Morus alba* L. CALLI AS AN ALTERNATIVE FEED FOR SILKWORM (*Bombyx mori*) LARVAE

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 193-204. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.11

RESUMEN: La morera *Morus alba* L. es un árbol caducifolio cuya producción de hojas es utilizada como fuente alimenticia por sus altos contenidos de nutrientes y digestibilidad. El cultivo *in vitro* permite la proliferación de tejidos vegetales a partir de explantes jóvenes y la adición de reguladores de crecimiento. El objetivo de la presente investigación es promover la desdiferenciación celular en tejido de hojas y originar callogénesis en plantas de *Morus alba*, L. var. SLP5 y SLP3 suplementado con reguladores de crecimiento 2,4-D y TDZ y evidenciar la aceptabilidad de los callos de morera cultivados *in vitro* en la alimentación de los primeros estadios larvarios de los gusanos de seda (*Bombyx mori*). Se cultivaron explantes de tres porciones de hojas de morera de var. SLP5 y SLP3 en medio de cultivo modificado de MS suplementado con 7.0 g L^{-1} agar, 3% sacarosa, 0.4 mg L^{-1} tiamina y 100 mg L^{-1} mio-inositol con 2,4- ácido diclorofenoxiacetico (2,4-D, 1 y 3 mg L^{-1}) combinado con tidiazuron (TDZ, 1 y 3 mg L^{-1}), bajo un diseño completamente al azar (1:1; 1:3; 3:1 y 3:3 mgL^{-1}) con 5 repeticiones durante dos meses. La variedad SLP5 mostró mayor peso 2.49±0.48 g y volumen 2.83±0.86 cm^3 que la variedad SLP3. Los callos obtenidos en el tratamiento 4 (3 mg L^{-1} de 2,4-D y 3 mg L^{-1} TDZ) mostraron mayor volumen 3.39±0.80 cm^3 y peso 2.93±0.33 g ($p \leq 0.05$). Respecto a las secciones de hoja, los callos crecidos a partir de los explantes no mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). El crecimiento de las larvas de gusano de seda fue mayor para el tratamiento 4 con un peso 2.66±1.87 g y longitud de 2.62±2.10 cm ($p \leq 0.05$). Cabe mencionar que la aceptación de los callos de morera producidos *in vitro* en la alimentación de larvas de gusano de seda fue similar para todos los tratamientos. En esta investigación la propagación *in vitro* de los callos de morera blanca fue independiente de la variedad de planta. Los callos de morera propagados *in vitro* fueron aceptados en la alimentación de larvas de gusano de seda bajo condiciones de laboratorio.
Palabras clave: *Morus* sp, reguladores de crecimiento en plantas, *Bombyx mori.*

INTRODUCTION

The *Morus* sp (mulberries) are flowering and deciduous plants of *Moraceae* family. Mulberries have been domesticated over thousands of years and are cultivated in Asian, European, American, and African continents (Özgen *et al*., 2009). There are many applications to mulberries, which include livestock feeding (Sánchez, 2000; Milera *et al*., 2010; Islam *et al*., 2014) gardening or landscaping (Ljubojević *et al.*, 2023), environmental safety (Mallick & Sengupta, 2022), and natural products (Özgen *et al.*, 2009; Mallick & Sengupta, 2022). Their multiple applications led to great exploitation worldwide, from smallholders to large-scale production (Sánchez, 2002). The impressive adaptability of mulberries comes from their simple cultivation, fast growth, and survival under challenging environments (Rahman & Islam, 2021).

The main agronomic application of mulberries is for leaf harvest and thus feeding the silkworm (*Bombyx mori*) under sericulture or silk farming (Özgen *et al*., 2009; Bobis *et al.*, 2018; Mallick & Sengupta, 2022). Importantly, mulberries leaves are the sole food provided to silkworms (Kumar *et al*., 2012; Rahman & Islam, 2021). Data from multiple reports indicated that fruits and leaves have high content of crude protein, sugars, fatty acids, micronutrients, and dry-matter digestibility, which supports its multiple applications (Bamikole *et al*., 2005; Liang *et al*., 2012; Koyunco *et al*., 2014; Zach *et al*., 2017). However, mulberries require adequate management practices to provide such high nutritional content (Benavides *et al*., 1994). Mulberry are deciduous trees and their leaf production is destined to feeding the silkworm larvae, however through winter and under plague and disease attack thous yield is diminished and the leaves quality reduce (Banday *et al*., 2017).

In vitro culture of plant tissues allows large-scale propagation of desirable genotypes under sterile conditions (Sharma & Thorpe, 1990; Sil, 2021). Such approaches usually rely on young explants for *in vitro* propagation, since there is greater viability (Acuña, 2020), alongside the use of plant growth regulators (Freire-Seijo, 2003; Ikeuchi *et al*., 2013; Geetha & Murugan, 2017). *In vitro* mulberry calli culture is strongly influence by the addition of plant growth regulators to the culture media. The auxin and cytokinine stimulate necessary reactions for the calli, steam or

rooths *in vitro* culture from an explant (Ikeuchi *et al*., 2013). Bhau y Wakhlu (2001) report the use of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) and benzyladenine (BA) (1.0 mg L^{-1} y 0.5 mg L^{-1}) successfully in the propagation of mulberry calli from leaf explants, internodes and stalk.
The *in vitro* propagation of mulberries calli offers the possibility of feeding silkworm larvae continuously. The utilization of sterile mulberry calli production as a model in silkworm larvae feeding guaranty the availability of silkworms as a research organism model in further applications (Ashraf & Qamar, 2023).
The aim of this study was to determine the effect of variety alongside plant growth regulator supplementation on i*n vitro* propagation of white mulberries (*Morus alba* L.) calli and its application as a supplementary feed for growing silkworm larvae.

MATERIAL AND METHODS

Location and vegetal material
The project was developed according to institutional and national legislation. The experiments were performed in the plant tissue culture laboratory at the Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, located in Texcoco, Mexico in 2014.
The vegetative material was obtained from two years old white mulberry trees (*Morus alba* L.) of the SLP3 and SLP5 varieties grew and acclimated in a greenhouse. The white mulberry characteristics were SLP3 larger ≈20cm softer (pliable) and thinner leaves and SLP5 smaller ≈15cm visibly thicker and brittle leaves.
Plants were placed in 40 x 40 cm polyethylene pots filled with 3 to 6 mm tezontle substrate and were irrigated with 250 ml tap water twice a day and supplemented weekly with a 3 ml L^{-1} Byfolan®, 0.5g L^{-1} Aliette® and 1.5g L^{-1} AgrimyCu® solution by sprinkled to control contamination in plants. Plants were cultivated by 1.5 years.

In vitro growth leaves culture
The *in vitro* culture was established with 20 SLP3 and 20 SLP5 young leaves (seven to eight cm length) that were washed with Roma® detergent (5g L^{-1}) and Tween™-80 (Fisher Chemical) hi-purity (1 ml L^{-1}) in distilled water for 20 min. Further, leaves were surface disinfest with 70% ethanol for three minutes, and subsequently in a solution of 10 ml•100 ml sodium hypochlorite (Cloralex®). Leaves of mulberries were transferred to Petri dishes and rinsed three times with sterile ultra-purify water.
The culture medium to *in vitro* propagation was based on a modified version of the MS medium (Sigma Aldrich ®) (Murashige & Skoog, 1962) supplemented with 7.0 g L^{-1} Meyer ® agar (≥99%), 3% sucrose (99.5%) (Sigma Aldrich ®), 0.4 mg L^{-1} thiamine (≥99%) (Sigma Aldrich ®), and 100 mg L^{-1} myo-inositol (≥99%) (Sigma Aldrich ®). The pH of the solution was adjusted to 5.7 $\pm$ 0.1. 20 ml the culture medium was placed in (200 ml) Gerber® flasks, which were sealed with polyethylene tops, and sterilized by autoclaving at 121°C, 15 PSI for 40 min. Afterwords the flasks were set at room temperature 22 ± 1°C and the plant growth regulators 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) (≥95%) and thidiazuron (TDZ) both from Sigma Aldrich® were added as is described in experimental design treatments.
Leaves rinsed in sterile ultra-purify water were dissected with scalpel in three portions: apical, medium and basal acording to Freschi *et al.* (2010). Each leaf portion were placed randomly in Gerber® flasks with culture medium MS for each treatment. Flasks were sealed to avoid contamination and placed in a dark growth chamber at 22±1°C, culture was performed for 60 days.

Explants decontamination protocol
The explants exposed to contamination were retrieved from *in vitro* culture and submerged in a Roma® detergent (5g L^{-1}) and Tween™-80 (Fisher Chemical) hi-purity (1ml L^{-1}) solution in distilled water. Subsequently, explants were submerged in 70% ethanol for three min, submerged in 10 ml•100 ml sodium hypochlorite (Cloralex®) solution for 15 min, and placed with 4%

calcium hypochlorite for 15 min. Additionally, explants were exposed to a 100% Timsen® solution for 15 min, Benlate® and Fungimycin 100® 2g L^{-1} solutions for 10 min, and rinsed in 100% Protect® H_2O_2 before being placed in a Petri dish containing MS medium.

Experimental Design

To determinate the effect of mulberries (*Morus Alba* L.) variety and supplementation of plant growth regulators on *in vitro* mulberry calli propagation, a completely randomized design was performed with four treatments: *i*) 1 mg L^{-1} 2,4-D/ 3 mg L^{-1} TDZ, *ii*) 3 mg L^{-1} 2,4-D/1 mg L^{-1} TDZ, *iii*) 1 mg L^{-1} 2,4-D/1 mg L^{-1} TDZ and *vi*) 3 mg L^{-1} 2,4-D/3 mg L^{-1} TDZ with five replicates; each flask was an experimental unit. There were evaluate weight and volume as non-destructive measurements (quantitative variables) and visual coloring as qualitative variable for *in vitro* grown calli, during the culture period in 14 days intervals.

Evaluation of in vitro *grown calli to feed Bombyx mori larvae*

The unhatching silkworm eggs were obtained from the Universidad Politécnica Francisco I. Madero, Tepatepec - Hidalgo, Mexico and were maintained at room temperature at 22±1°C in the plant tissue culture laboratory until larvae hatching.

Five silkworm larvae were placed in 10 cm disposable Petri dishes at room temperature at 22 ±1°C immediately after hatching. The explant *in vitro* grown and calli were used to feed the silkworm larvae totally the first 21 days, twice a day (9:00 and 19:00 h). The effect of feeding with *in vitro* grown calli of white mulberries was determined by measuring the weight and length of silkworm larvae at seven days intervals. The silkworm larvae survival percent was determined at the end of the 21 days experiment. Subsequently the larvae were feed 25 days more with mulberry leaves until the cocoon weave at day 46 and the emerging of the moth after 12 to 15 days after.

Statistical analysis

The variables weight and volume of the *in vitro* grow mulberry calli and the length and weight of the silkworm larvae feed with *in vitro* grow calli were analyzed with an analysis of variance (ANOVA) and the *post-hoc* analysis was done with Tukey's mean test at 5% significance level with the software Statistical Analysis System® (SAS) 9.0.

RESULTS AND DISCUSSION

In vitro propagation of white mulberries calli from leaves explants

The differences in development of white mulberries calli *in vitro* became evident from week two onward (**Figure 1**).

The treatment T4 and T2 displayed the best traits, which included calli weight and volume (**Table 1**) ($p \leq 0.05$). Under the comparison between varieties of white mulberries, the variety SLP5 was different in weight and volume than the variety SLP3, ($p \leq 0.05$) (**Table 2**).

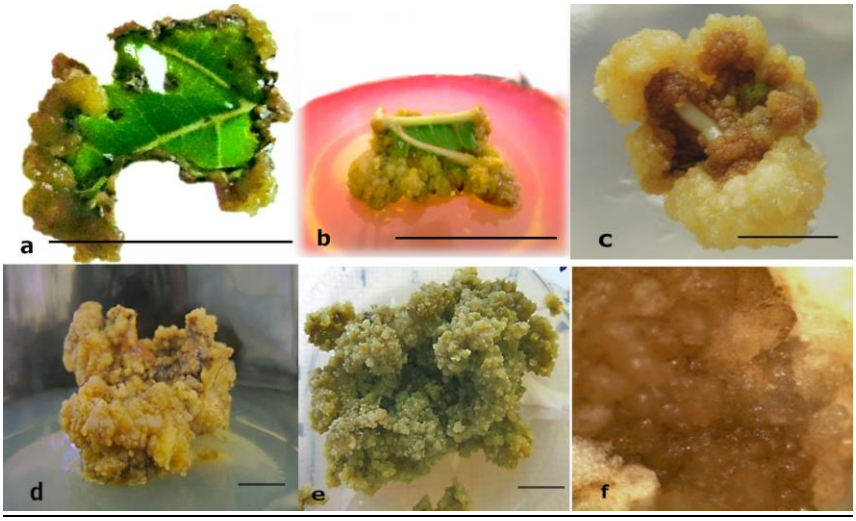


Figure 1. *In vitro* culture of *Morus alba* L. calli from leaf explants. a-c) Second, fourth, and sixth week after *in vitro* culture respectively; d-e) Eighth week; f) Enlarged view of calli during the eighth week of culture. Scale barr 0.5 cm.
Figura 1. Cultivo *in vitro* de callos de *Morus alba* L. a partir de explantos foliares. a-c) Segunda, cuarta y sexta semana después del cultivo *in vitro*, respectivamente; d-e) Octava semana; f) Vista ampliada de los callos durante la octava semana de cultivo. Barra de escala de 0.5 cm.

Table 1. Mean weight and volume *in vitro* grow calli of white mulberry (*Morus alba* L.) suplemented with 2,4-D and TDZ.
Tabla 1. Peso y volumen medio de callos de cultivo *in vitro* de morera blanca (*Morus alba* L.) suplementados con 2,4-D y TDZ.

Treatment*	Weight (g)	Volume (cm^3)
4	2.93±0.33[a]**	3.39±0.79[a]
2	2.89±0.24[a]	3.20±0.55[a]
1	2.07±0.19[b]	2.080±0.17[b]
3	2.02±0.11[b]	2.28±0.34[b]
MSD	**0.1097**	**0.2414**

*Treatments 1) 1 mgL^{-1} 2,4-D/ 3 mgL^{-1} TDZ, 2) 3 mgL^{-1} 2,4-D/1 mgL^{-1} TDZ, 3) 1 mgL^{-1} 2,4-D/1 mgL^{-1} TDZ and 4) 3 mgL^{-1} 2,4-D/3 mgL^{-1} TDZ.
**Means different superscript letters, within the same columns are statistically difference significative Tukey´s test (<0.05).

Table 2. Comparison of variety on weight and volume of *in vitro* grown calli of white mulberry (*Morus alba* L.).
Tabla 2. Comparación de variedades en peso y volumen de callos cultivados *in vitro* de morera blanca (*Morus alba* L.).

Variety	Weight (g)	Volume (cm^3)
SLP5	2.48±0.48[a*]	2.83±0.86[a]
SLP3	2.46±0.51[a]	2.68±0.67[b]
MSD	**0.0591**	**0.13**

*Means different superscript letters, within the same columns are statistically difference significative Tukey´s test (<0.05). MSD: minimum statistical difference.

However, the portions of leaves did not affect significantly *in vitro* growth (**Table 3**). The *in vitro* grown calli displayed friable texture, separately from the treatment. Further, most *in vitro* grown calli of white mulberries were spongy-like and granular. The color of *in vitro* grown calli changed during their growth (**Table 4**), gradually mulberry calli acquired a darker coloring due the natural tissue oxidation (**Figure 2**).

Table 3. Mean weight and volume of *in vitro* grown calli of white mulberry (*Morus alba* L.) obtained from three different leaf sections.
Tabla 3. Peso y volumen medio de callos cultivados *in vitro* de morera blanca (*Morus alba* L.) obtenidos de tres secciones de hojas diferentes.

Leaf part	Weight (g)	Volume (cm3)
Basal	2.52±0.19[a*]	2.72±0.39[a]
Medium	2.46±0.19[a]	2.69±0.42[a]
Apical	2.44±0.26[a]	2.79±0.56[a]
MSD	**0.0866**	**0.1906**

*Means different superscript letters, within the same columns are statistically difference significative Tukey´s test (<0.05). MSD: minimum statistical difference.

Table 4. Calli color obtained from *in vitro* culture of white mulberry (*Morus alba* L.) varieties exposed to different auxin supplementation.
Tabla 4. Color de callos obtenidos del cultivo in vitro de variedades de morera blanca (*Morus alba* L.) expuestas a diferentes suplementaciones de auxinas.

		Treatments*			
Days	**Variety**	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**
14	SLP5	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
28	SLP5	Yellow	Yellow-cream	Yellow-cream	Yellow
42	SLP5	Yellow-cream	Yellow-orange	Yellow-orange	Yellow-orange
56	SLP5	Orange-coffee	Yellow-coffee	Yellow-coffee	Yellow-orange
14	SLP3	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
28	SLP3	Yellow	Yellow-cream	Yellow-cream	Yellow
42	SLP3	Yellow-cream	Yellow-orange	Yellow-orange	Yellow-orange
56	SLP3	Orange-coffee	Yellow-coffee	Yellow-coffee	Yellow-orange

*T1: 1mgL^{-1} 2,4-D/ 3mgL^{-1} TDZ; T2: 3mgL^{-1} 2,4-D/1mgL^{-1} TDZ; T3: 1mgL^{-1} 2,4-D/1mgL^{-1} TDZ and T4: 3mgL^{-1} 2,4-D/3mgL^{-1} TDZ.

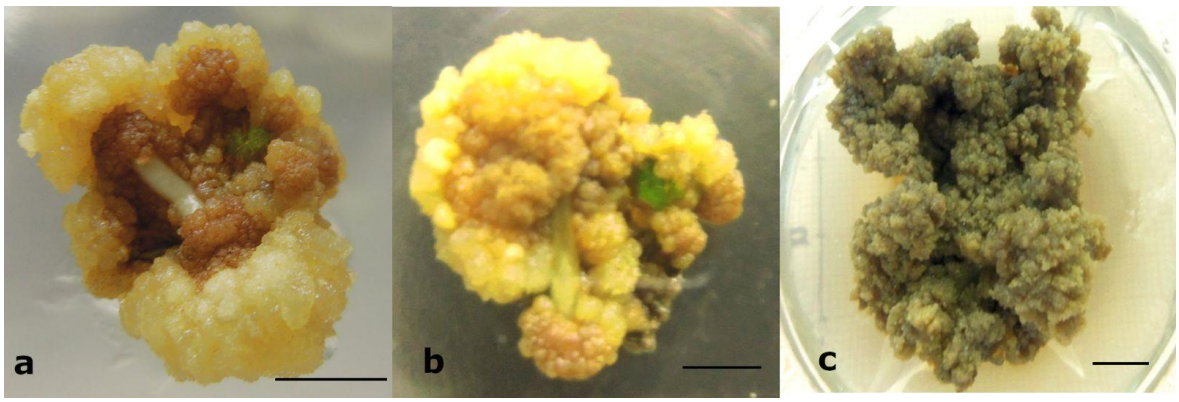


Figure 2. Color of *Morus alba* L. calli under *in vitro* conditions. a) Fourth week of culture. b) Seventh week of culture. c) Necrosis in calli at the eighth week of culture. Scale barr 1 cm.
Figura 2. Color de los callos de *Morus alba* L. en condiciones *in vitro*. a) Cuarta semana de cultivo. b) Séptima semana de cultivo. c) Necrosis en los callos en la octava semana de cultivo. Barra de escala de 1 cm.

Plant growth regulators supplementation with 2,4-D was the best approach for growing *in vitro* calli of white mulberries. The culture conditions are paramount for plant regeneration during *in vitro* propagation (Taha *et al*., 2020), while much progress was made in this technology for

mulberries (Thomas, 2002; Vijayan *et al*., 2011; Taha *et al*., 2020). Plant growth regulators are instrumental to calli induction and plant regeneration under *in vitro* conditions (Freire-Seijo, 2003; Geetha & Murugan, 2017). Ikeuchi *et al.* (2013) mention that the auxin and cytokinine stimulate necessary reactions for the calli, steam and roots *in vitro* cultured from an explant. Several growth regulators (e.g., auxins, cytokinins) have been tested for *in vitro* propagation of mulberries (Geetha & Murugan, 2017; Fonseca-Carrasco *et al*., 2020; Taha *et al*., 2020). The most prominent role of 2,4-D was similar to several previous studies (Pierik, 1990; Bhau & Wakhlu, 2001; Cholo & Delgado, 2011; Espinosa *et al*., 2012), thus demonstrating its prominent role of the growth and development of mulberries.

During experiment the grow *in vitro* explants get contaminated with fungi and bacteria from 120 flasks get contamined 13 flasks (11%) and was recuperated 10 flasks (80%) by the decontamination protocol. In Hernández & González (2010), mentioned that the season of the year and the collection procedure are a frequently origin of contamination and made emphasis in the need of developing decontamination protocols for *in vitro* culture plant tissues.

Feeding silkworm larvae with white mulberries calli

The feeding silkworm larvae with *in vitro* grown white mulberry calli with different concentration of plant growth regulator affect the larvae growth, denote a bigger weight and length in T4 (**Table 5**).

Table 5. Mean length and weight of silkworm (*Bombyx mori*) larvae fed with *in vitro* grown calli of white mulberry (*Morus alba* L.) for 21 days

Tabla 5. Longitud y peso promedio de larvas de gusano de seda (*Bombyx mori*) alimentadas con callos de morera blanca (*Morus alba* L.) cultivados in vitro durante 21 días

Treatment*	Lenght (cm)	Weight (g)
4	2.62±2.10^{a}**	2.66±1.87^{a}
2	2.52±2.04^{ab}	2.60±1.85^{a}
3	2.47±2.00^{b}	2.59±1.85^{a}
1	2.35±1.92^{c}	2.46±1.77^{b}
MSD	**0.1020**	**0.0771**

*Treatments 1) 1 mgL^{-1} 2,4-D/ 3 mgL^{-1} TDZ, 2) 3 mgL^{-1} 2,4-D/1 mgL^{-1} TDZ, 3) 1 mgL^{-1} 2,4-D/1 mgL^{-1} TDZ and 4) 3 mgL^{-1} 2,4-D/3 mgL^{-1} TDZ.

**Means different superscript letters, within the same columns are statistically difference significative Tukey´s test (<0.05).

The silkworm larvae stage has a variable duration that depends from the environmental conditions; at 20 °C the cycle length is about 50 to 55 days (Rodríguez *et al*., 2012), in this research the larval stage showed a 45 days duration in normal conditions at room temperature at 22±1°C (**Figure 3**). The survival of silkworm larvae was 57.14%, from this, 23 larvae, 100% weaved silk cocoons emerge into moths. Silk cocoons had a mean length of 2.54 ±0.20 cm and a mean diameter of 1.315 ± 0.09 cm (**Figure 4**).

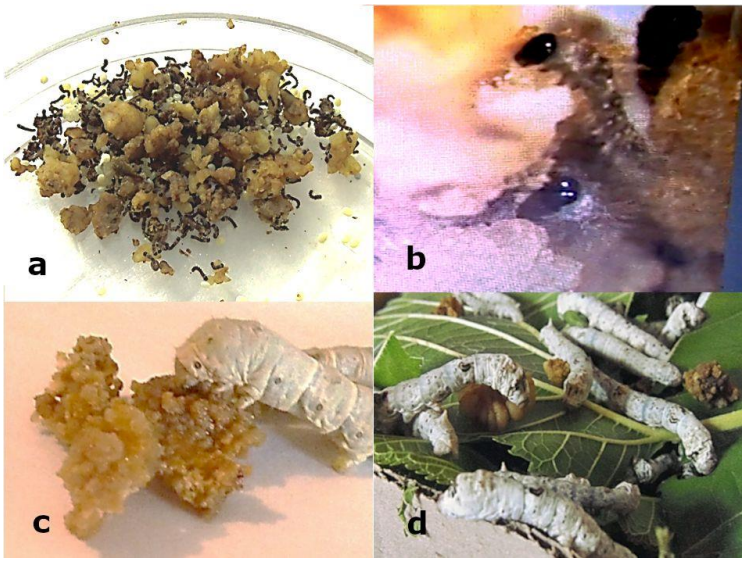


Figure 3. Feeding silkworm (*Bombyx mori*) larvae with *in vitro* grown calli of *Morus alba* L. a -b) First larval stage. c-d) Fourth larval stage.
Figura 3. Alimentación de larvas de gusano de seda (*Bombyx mori*) con callos cultivados *in vitro* de *Morus alba* L. a-b) Primer estadio larvario. c-d) Cuarto estadio larvario.

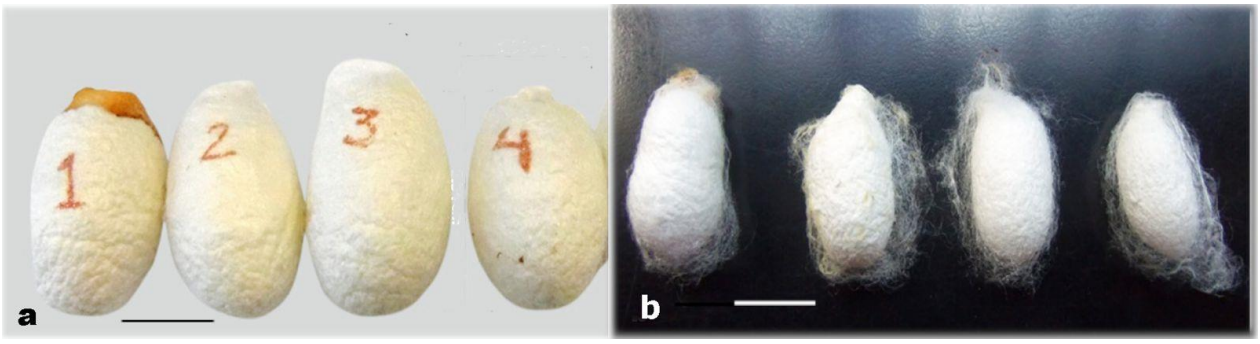


Figure 4. Cocoons obtained from adult silkworms (*Bombyx mori*) fed for 35 days with *in vitro* grown calli of *Morus alba L.* varieties SLP5 (a) and SLP3 (b). Scale barr 1 cm.
Figura 4. Capullos obtenidos de gusanos de seda adultos (*Bombyx mori*) alimentados durante 35 días con callos cultivados *in vitro* de *Morus alba* L., variedades SLP5 (a) y SLP3 (b). Barra de escala de 1 cm.

The fact that silkworm feeding relies solely on mulberries makes it susceptible to undersupply if the plant faces environmental challenges or incidence of disease and blight (Kumar *et al*., 2012; Caccam & Mendoza, 2015; Rahman & Islam, 2021). Therefore, technology alternatives that safeguard the feeding supply for silkworms is highly desirable. As far as is known, the *in vitro* grown mulberries have not been tested for feeding silkworms. Under such scenario, in this research the *in vitro* propagation of mulberries calli were feeding acceptable by silkworm larvae under sterile conditions (Sharma & Thorpe, 1990; Sil, 2021).

The white mulberry SLP5 variety was the most productive between those tested here for *in vitro* growth of calli. There is vast evidence that mulberry variety plays an important role on *in vitro* propagation efficiency (Bhatnagar *et al*., 2001; Taha *et al*., 2020). These results were similar to previous reports on the growth rate of plants (Rodríguez-Ortega *et al*., 2013), thus suggesting that *in vitro* growth may mirror the *in vivo* growth kinetics among varieties.

CONCLUSION

In this research the *in vitro* propagation of white mulberry was independent on plant variety. White mulberry *in vitro* growth calli under treatment four and two ($3mgL^{-1}$ 2,4-D/$3mgL^{-1}$ TDZ *and* $3mgL^{-1}$ 2,4-D/$1mgL^{-1}$ TDZ) performed the best characteristics in the evaluated variables. The *in vitro* propagation of mulberries calli were acceptable as food by silkworm larvae under laboratory conditions.

ACKNOWLEDGMENTS

To the Plant Tissue Culture Laboratory at the Departmento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo for the facilities in the development of this research.

REFERENCES

Acuña, C. (08 de 01 de 2020). *La biotecnología forestal.* Obtenido de Argenbio: https://www.argenbio.org/recursos/biblioteca?task=download.send&id=83&catid=3&m=0

Ashraf H. & Qamar A. (2023). Silkworm *Bombyx mori* as a model organism: A review. *Physiological Entomology*, 48 (4):107–121. doi: 10.1111/phen.12421

Bamikole, M., Ikhatua, M., Ikhatua, U., & Ezenwa, I. (2005). Nutritive Value of Mulberry (*Morus* spp.) Leaves in the Growing Rabbits in Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition, 4*, 231-236. doi: 10.3923/pjn.2005.231.236

Banday, M., Rasool Mir, M., Raja Reshi, R., Farooq Baqual, M., Lateef Khan, I., & Naqash, F. (2017). Floristic Composition and Phytosociology of Weed Flora of Mulberry (*Morus* spp.) Gardens of Kashmir Valley. *International Journal of Pure and Applied Bioscience, 5*(6), 1304-1311. doi:http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.5310

Benavides, J. E., Lachaux, M., & Fuentes , M. (1994). Efecto de la aplicación de estiércol de cabra en el suelo sobre la calidad y producción de biomasa de Morera (*Morus* sp.). En J. E. Benavides, *Árboles y arbustos forrajeros en América Central* (págs. 495-514). Turrialba, CR: CATIE.

Bhau, B. S., & Wakhlu, A. K. (2001). Effect of genotype, explant type and growth regulators on organogenesis in *Morus alba*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 66*, 25-29. https://doi.org/10.1023/A:1010617212237

Bhatnagar, S., Kapur, A., & Khurana, P. (2001). TDZ-Mediated Differentiation in Commercially Valuable Indian Mulberry, *Morus indica* Cultivars K2 and DD. *Plant biotechnology, 18*(1), 61-65. https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.18.61

Bobis, O., Dezmirean, D. S., Marghitas, L. A., Bonta, V., Urcan, A., Pasca, C., & Moise, A. R. (2018). *Morus* sp. for revigorating silkworm breeding in romania and promoting health benefits of leaves and fruits. *Scientific Papers. Series B, Horticulture., LXII*, 211-216. Obtenido de https://horticulturejournal.usamv.ro/pdf/2018/Art36.pdf

Caccam, M. M., & Mendoza, T. C. (2015). Improving Mulberry (*Morus alba* L.) Leaf Yield and Quality to Increase Silkworm Productivity in Northern Luzon, Philippines. *Annals of Tropical Research, 37*(1), 1-25. doi:https://doi.org/10.32945/atr3711.2015

Cholo Masapanta, L. F., & Delgado Rodríguez, H. B. (2011). Formación de callos en el cultivo de la morera (*Morus alba* L.). *(Tesis de Licenciatura).* Universidad de Granma, Faculta de Ciencias Agrícolas, Bayamo, Cuba. Obtenido de https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d39b0a62-12ed-49a9-bcbc-f01d42e25b2e/content

Espinosa, A., Silva, J., Sariego, S., Cholo Masapanta, L., & Delgado, H. (2012). Effect of explant type and concentration of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on callus formation in *Morus*

alba L. *Pastos y Forrajes, 35*(4), 407-416. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000400006

Fonseca-Carrasco, Y. Y., Brizuela-Fuentes, L., & Silva-Pupo, J. J. (2020). Obtainment of calluses from *Morus alba* L. var. *acorazonada* with different culture media and explant types. *Pastos y Forrajes, 43*(1), 63-70. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942020000100066

Freire-Seijo, M. (2003). Aspectos básicos de la embriogénesis somática. *Biotecnología Vegetal, 3*(4), 195-209. Obtenido de https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/263/html

Freschi, L., Takahashi, C. A., Cambui, C. A., Semprebom, T. R., Bertinatto, C. A., Tamoso, M. P. & Mercier, H. (2010). Specific leaf areas of the tank bromeliad Guzmania monostachia perform distinct functions in response to water shortage. *Journal of Plant Physiology*, 526-533. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.10.011

Geetha, T., & Murugan, N. (2017). Plant Growth Regulators in Mulberry. *Annual Research & Review in Biology, 13*(3), 1-11. https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/29637.

Hernández, Y. & González, M. E. (2010). Efectos de la contaminación microbiana y oxidación fenólica en el establecimiento *in vitro* de frutales perenes. *Revista Cultivos Tropicales,* 31(4):58-69.

Ikechu, M., Sugimoto, K., & Iwase, A. (2013). Plant Callus: Mechanisms of Induction and Repression. *The Plant Cell, 25*(9), 3159-3173. https://doi.org/10.1105/tpc.113.116053

Islam, M. R., Siddiqui, M. N., Khatun , A., Siddiky, M. N., Rahman, M. Z., Bostami, A. M., & Selim, A. S. (2014). Dietary effect of Mulberry leaf (*Morus alba*) meal on growth performance and serum cholesterol level of broiler chickens. *SAARC Journal of Agriculture*, 79-89. https://doi.org/10.3329/sja.v12i2.21920

Koyunco, F., Cetinbas, M., & Erbal, Í. (2014). Nutritional constituents of wild-grown black mulberry (*Morus nigra* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality, 87*. doi:https://doi.org/10.5073/JABFQ.2014.087.014

Kumar, V., Kodandaramaiah, J., & Rajan, M. V. (2012). Leaf and anatomical traits in relation to physiological characteristics in mulberry (*Morus* sp.) cultivars. *Turkish Journal of Botany*, 683-689. https://doi.org/10.3906/bot-1003-48

Liang, L., Wu, X., Zhu, M., Zhao, W., Li, F., Zou, Y., & Yang, L. (2012). Chemical composition, nutritional value, and antioxidant activities of eight mulberry cultivars from China. *Pharmacogn Mag, 8*(31), 215-24. https://doi.org/10.4103/0973-1296.99287

Ljubojević, M., Šavikin, K., Zdunić, G., Bijelić, S., Mrđan, S., Kozomara, M., . . . Narandžić, T. (2023). Selection of Mulberry Genotypes from Northern Serbia for 'Ornafruit' Purposes. *Horticulturae, 9*(1), 1-14. https://doi.org/10.3390/horticulturae9010028

Mallick , P., & Sengupta, M. (2022). Prospect and Commercial Production of Economically Important Plant Mulberry (Morus Sp.) Towards the Upliftment of Rural Economy. En S. Gupta, & P. Chaturvedi, *Commercial Scale Tissue Culture for Horticulture and Plantation Crops* (págs. 219-243). Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0055-6_10

Milera, M., Sánchez, T., & Martín , G. (2010). Morus sp. para la alimentación de bovinos en desarrollo. *Pastos y Forrajes, 33*(1), 73-79. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942010000100006

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/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

Özgen, M., Serce, S., & Kaya, C. (2009). Phytochemical and antioxidant properties of anthocyanin-rich *Morus nigra* and *Morus rubra* fruits. *Scientia Horticulturae, 119*(3), 275-279. :https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.007

Pierik, R. L. (1990). *Cultivo in vitro de las plantas superiores.* Madrid, España: Mundi-Prensa.

Rahman, M. S., & Islam, S. M. (2021). Studies on Food, Health and Environmental Perspectives In Mulberry (Morus Spp.) – A Review. *Journal of Bio-Science, 29*(1), 163-179. https://doi.org/10.3329/jbs.v29i0.54832

Recibido:
4/marzo/2025

Aceptado:
19/diciembre/2025

Rodríguez O. A., Vargas M. J., Ventura M. A., Martínez M. A., Rodríguez M. J., Muhammad, E., & Lara V. F. M. (2012). *Manual de sericultura en Hidalgo.* México: UPFIM. Obtenido de https://upfim.edu.mx/wp-content/investigacion/libros/Libro%202012%20Manual%20de%20Sericultura%20en%20Hidalgo.pdf?_t=1686948044

Rodríguez-Ortega, A., Martínez-Menchaca, A., Ventura-Maza, A., Vargas-Monter, J., Ehsan, M., & Lara Viveros, F. M. (2013). Evaluación de variedades de morera en la alimentación del gusano de seda (Bombyx mori) en Hidalgo, México*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 4*(5), 701-712. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000500004

Sánchez, M. (2000). Mulberry: an exceptional forage available almost worldwide! *World Animal Review, 93*(1), 1-21. Obtenido de chrome-extehttps://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=80483ccd819586471d8e8a565a59a95411e7ceec

Sánchez, M. D. (2002). Mulberry for Animal Production. *World distribution and utilization of mulberry and its potential for animal feeding. 147*, págs. 1-9. Roma: Food and Agriculture Organization of the United National. Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations, Proceedings of an electronic conference: https://www.fao.org/4/x9895e/x9895e02.htm#bm02

Sharma, K. K., & Thorpe, T. A. (1990). In vitro propagation of mulberry (Morus alba L.) through nodal segments. *Scientia Horticulturae, 42*(4), 307-320. https://doi.org/10.1016/0304-4238(90)90054-I

Sil, S. K. (2021). Influence of Auxin and Cytokinin on Callus Induction of Mulberry. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology, 25*(4), 2310-2318. Obtenido de https://www.proquest.com/openview/dbc595157f3d981e1584af7d39ec8280/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2031963

Taha, H., Ghazy, U. M., Gabr, A. M., EL-Kazzaz, A. A., Ahmed, E. M., & Haggag, K. M. (2020). Optimization of *in vitro* culture conditions affecting propagation of mulberry plant. *Bulletin of the National Research Centre, 44*, 1-9. doi:https://doi.org/10.1186/s42269-020-00314-y

Thomas, T. D. (2002). Advances in mulberry tissue culture. *Journal of Plant Biology, 45*, 7-21. https://doi.org/10.1007/BF03030427

Vijayan, K., Tikader, A., & Teixeira da Silva, J. A. (2011). Application of Tissue Culture Techniques for Propagation and Crop Improvement in Mulberry (Morus spp.). *Tree and Forestry Science and Biotechnology, 5*(1), 1-13. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/2011/TFSB_5(SI1)/TFSB_5(SI1)1-13o.pdf

Zach, A., Trull, H. E., Ortiz, M. L., Brem, J. J., & Brem, J. C. (2017). Degradación ruminal de materia seca de *Morus* sp en caprinos en diferentes estaciones del año. *Revista Veterinaria, 28*(2), 141-144. Obtenido de https://www.scielo.org.ar/pdf/revet/v28n2/v28n2a10.pdf

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

MEJORAS EN UN MÉTODO COMERCIAL DE EXTRACCIÓN DE ADN PARA OBTENER EXTRACTOS DE ÁCIDO NUCLEICO DE ALTA CALIDAD A PARTIR DE YEMAS VEGETATIVAS DE *Populus tremuloides* Michx.

IMPROVEMENTS TO A COMMERCIAL DNA EXTRACTION METHOD FOR HIGH-QUALITY NUCLEIC ACID EXTRACTIONS FROM *Populus tremuloides* Michx. VEGETATIVE BUDS

Gutierrez, C., M. Barraza Salas, I.M. Porth, C. Wehenkel

MEJORAS EN UN MÉTODO COMERCIAL DE EXTRACCIÓN DE ADN PARA OBTENER EXTRACTOS DE ÁCIDO NUCLEICO DE ALTA CALIDAD A PARTIR DE YEMAS VEGETATIVAS DE *Populus tremuloides* Michx.
IMPROVEMENTS TO A COMMERCIAL DNA EXTRACTION METHOD FOR HIGH-QUALITY NUCLEIC ACID EXTRACTIONS FROM *Populus tremuloides* Michx. VEGETATIVE BUDS

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 205-220 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.12

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

POLIBOTÁNICA

Núm. 61: 205-220 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Mejoras en un método comercial de extracción de ADN para obtener extractos de ácido nucleico de alta calidad a partir de yemas vegetativas de *Populus tremuloides* Michx.

Improvements to a commercial DNA extraction method for high-quality nucleic acid extractions from *Populus tremuloides* Michx. vegetative buds

Cecilia Nataly Gutiérrez-Contreras https://orcid.org/0009-0003-5827-7299
Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Boulevard del Guadiana #501 Ciudad Universitaria, CP 34160

Marcelo Barraza-Salas https://orcid.org/0000-0003-4076-4382
Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, González de La Vega SN-SSERVIOS MULTIPLES, SARH, CP 34160

Ilga Mercedes Porth, https://orcid.org/0000-0002-9344-6348
Institut de biologie intégrative et des systèmes, Université Laval, Pavillon Charles-Eugène Marchand, 10130 Avenue de la Médecine, G1V0A6 Quebec, Canada

Christian Wehenkel / wehenkel@ujed.mx
https://orcid.org/0000-0002-2341-5458
Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango, Boulevard del Guadiana #501 Ciudad Universitaria, CP 34160

ABSTRACT: Quaking aspen (*Populus tremuloides*) is a tree species of interest due to the potential discovery of an adaptive history in its genome, which is why the correct isolation of its DNA is essential. In this study, two extraction methods based on the NucleoSpin™ Plant II kit were investigated using vegetative buds from eight paired samples. Method 1 used buffer PL1, a homogenizer, and a 30-minute incubation with RNase; Method 2 employed buffer PL2, glass beads, and a 45-minute incubation with RNase. DNA quality and quantity were assessed by spectrophotometry, gel electrophoresis, and PCR amplification. A paired *t*-test revealed that Method 1 yielded a significantly higher DNA concentration than Method 2 (mean difference = 71.98 ng/µL; 95% CI 17.3–126.7; $p = 0.017$; dz = 1.10). In contrast, no significant differences in the 260/280 ratio were observed, either by the paired *t*-test (mean difference = 0.10; 95% CI −0.08–0.28; $p = 0.219$) or by the Wilcoxon signed-rank test (median difference = +0.02; 95% CI −0.01–0.295; $p = 0.25$). Method 1 produced higher yields but with DNA fragmentation visible on the gel, which may interfere with some analyses. Method 2 showed a lower concentration but slightly clearer bands on the gel, indicating better DNA integrity. PCR was successful in both cases, but the higher DNA integrity in Method 2 suggests that this method is more suitable for studies requiring intact DNA. Although Method 1 yields a larger amount, Method 2 is preferable when DNA integrity is critical for genomic analysis.
Key words: quaking aspen, isolation, PCR amplification, DNA integrity, genetics
RESUMEN: El álamo temblón (*Populus tremuloides*) es una especie arbórea de interés debido al potencial descubrimiento de una historia adaptativa en su genoma, por lo que el aislamiento correcto de su ADN resulta esencial. En este estudio se investigaron dos métodos de extracción basados en el kit NucleoSpin™ Plant II, utilizando yemas de

Cecilia Gutierrez, Marcelo Barraza Salas, Ilga Mercedes Porth, Christian Wehenkel

MEJORAS EN UN MÉTODO COMERCIAL DE EXTRACCIÓN DE ADN PARA OBTENER EXTRACTOS DE ÁCIDO NUCLEICO DE ALTA CALIDAD A PARTIR DE YEMAS VEGETATIVAS DE *Populus tremuloides* Michx.

IMPROVEMENTS TO A COMMERCIAL DNA EXTRACTION METHOD FOR HIGH-QUALITY NUCLEIC ACID EXTRACTIONS FROM *Populus tremuloides* Michx. VEGETATIVE BUDS

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 205-220. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.12

crecimiento de ocho muestras apareadas. El método 1 empleó el tampón PL1, un homogeneizador y una incubación de 30 minutos con RNasa; el método 2 utilizó el tampón PL2, perlas de vidrio y una incubación de 45 minutos con RNasa. La calidad y cantidad del ADN se evaluaron mediante espectrofotometría, electroforesis en gel y amplificación por PCR. Una prueba t apareada reveló que el método 1 produjo una concentración de ADN significativamente mayor que el método 2 (diferencia media = 71.98 ng/µL; IC 95%: 17.3–126.7; $p = 0.017$; dz = 1.10). En contraste, no se observaron diferencias significativas en la relación 260/280, ya fuera mediante la prueba t apareada (diferencia media = 0.10; IC 95%: −0.08–0.28; $p = 0.219$) o la prueba de rangos con signo de Wilcoxon (diferencia mediana = +0.02; IC 95%: −0.01–0.295; $p = 0.25$). El método 1 produjo mayores rendimientos, pero con fragmentación del ADN visible en el gel, lo que puede interferir en algunos análisis. El método 2 mostró una menor concentración, pero bandas ligeramente más definidas en el gel, lo que indica mejor integridad del ADN. La PCR fue exitosa en ambos casos, aunque la mayor integridad del ADN en el método 2 sugiere que este método es más adecuado para estudios que requieren ADN intacto. Aunque el método 1 genera una mayor cantidad, el método 2 es preferible cuando la integridad del ADN es crítica para el análisis genómico.
Palabras claves: álamo temblón, aislamiento, amplificación por PCR, integridad del ADN, genética

INTRODUCTION

DNA extraction is a critical step in molecular biology studies, particularly for species of ecological and evolutionary interest such as quaking aspen (*Populus tremuloides*) (Goessen *et al.*, 2022). This species is widely distributed across North America, from Alaska to central Mexico, and plays a fundamental role in forest ecosystems due to its clonal reproduction and the presence of ancient DNA in some populations (Mitton & Grant, 1996; Mock *et al.*, 2008). Southern populations of *P. tremuloides*, particularly those in Mexico, have been hypothesized to represent relict lineages, remnants of ancient genetic diversity that have persisted in isolation following glacial retreats. These populations may harbor unique allelic combinations shaped by long-term climatic and geographic constraints, making them valuable for studying local adaptation and evolutionary history (Goessen *et al.*, 2022; Hernández-Velasco *et al.*, 2024).

Understanding its genetic composition requires high-quality DNA for applications such as PCR amplification, sequencing, and genomic analyses (Saiki *et al.*, 1988; Zhu *et al.*, 2020) as well as differentiation and hybridization studies in tree species (Sánchez-Hernández *et al.*, 2022; Wehenkel *et al.*, 2020). However, DNA extraction from plants is challenging due to the presence of secondary metabolites, polysaccharides, and phenolic compounds that can compromise DNA purity and integrity (Mitchell, *et al.*, 2023; Porebski *et al.*, 1997; Schenk *et al.*, 2023). In the case of *P. tremuloides,* it has been reported that modifications to commercial DNA extraction protocols are necessary (Goessen *et al.*, 2022).

To overcome these challenges, various DNA extraction protocols have been developed for *Populus,* with the cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) method being one of the most commonly used, originally proposed by (Doyle & Doyle, 1990) and later modified (Qiu *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2023). Additionally, commercial kits have been used for microsatellite analysis (Blonder *et al.*, 2020), and some studies have developed custom protocols based on phenol-chloroform extraction (Bagley *et al.*, 2020). The CTAB method is a cost-effective and widely used alternative, although its efficiency depends on the type of tissue and sample conditions (Schenk *et al.*, 2023). In contrast, commercial kits such as the Macherey-Nagel™ Nucleo Spin™ Plant II offer standardized protocols with reagents designed to minimize contaminants. However, these kits may not always provide the highest DNA quality for all research applications (Méndez-Cea *et al.*, 2019; Shields *et al.*, 2013). In some cases, developing a custom protocol or adapting commercial procedures may be preferable (Jiao *et al.*, 2015).

This study compares two variations of the NucleoSpin™ Plant II kit protocol for DNA extraction from *P. tremuloides*, which differ in homogenization techniques and lysis buffers. The kit manual recommends homogenizing samples with liquid nitrogen or laboratory ball mills, resources that are not always available. In addition, it offers two alternative buffers for cell lysis (PL1 based on CTAB-based and Sodium Dodecyl Sulfate, SDS-based PL2), which have each different degrees of effectiveness depending on the properties of the plant tissue. Testing these options was therefore important in order to establish an optimized and accessible protocol for extracting DNA from buds of *P. tremuloides*.

The objective is to assess how these modifications impact DNA yield, purity (260/280 ratios), and fragment integrity, which are critical aspects for applications requiring high-quality DNA. Unlike previous studies that have compared multiple extraction methods (Verbylaite *et al.*, 2010), this study focuses on evaluating adjustments within a widely used commercial kit to determine whether these modifications can improve the quality of extracted DNA.

By analyzing DNA concentration, purity, and PCR amplification success, this study seeks to determine the suitability of these variations for genomic applications in *P. tremuloides*, thus contributing to the optimization of DNA extraction strategies for genetic and evolutionary studies of the species.

MATERIALS AND METHODS

Samples studied and their genomic DNA extraction

In April 2022, vegetative buds were collected from three *P. tremuloides* trees in Santiago Papasquiaro, *Durango*, Mexico located at 25°1'40.5" Lat. N and 105°42'8.5" Long. W, at an elevation of 2568 m. The collected population is referred to as SAA, the number that follows indicates the sampled tree, and the orientation (north, south, east, west) indicates the position of the collected buds. The samples were transported in airtight bags for approximately eight hours and then stored at -18°C in a Daewoo refrigerator-freezer, model DFR-N141D, for eight months before being processed in the laboratory (due to restrictions on access to instruments and the laboratory). DNA was isolated using two adaptations of the Macherey-Nagel™ Nucleo Spin™ Plant II Mini kit protocol for plant DNA. By focusing on buds, we were therefore able to ensure both a high DNA yield and biological relevance for future epigenetic applications.

DNA isolation protocol

1. Homogenization of the sample and cell lysis

Variation Method 1

The Nucleo Spin™ Plant II manual recommends using up to 100 mg wet weight or 20 mg dry weight of plant tissue for DNA extraction. In this study, the lignified hull of the buds was removed, leaving the central part, which was weighed to an optimal 30-40 mg. Initial tests showed that sample weights below 20-30 mg or more than 40–50 mg resulted in lower DNA concentration and purity. The buds were ground in a mortar and placed in 1.5 mL microtubes.

An aliquot of 400 µL of lysis buffer PL1, containing CTAB (which was included as part of the prepared buffer in the NucleoSpin™ Plant II kit, Macherey-Nagel, Germany), was added to each sample. CTAB releases nucleic acids and forms an insoluble complex when NaCl concentration is reduced to ~0.5 M. Phenolic compounds, polysaccharides, and other contaminants are removed with the supernatant as they do not precipitate under these conditions (Ausubel *et al.*, 2003).

The samples and buffer were mixed in a vortex mixer (Vortex-Genie 2, Scientific Industries, Inc.) for one minute at maximum speed and shaking at approximately 3200 rpm. The mixture was then homogenized for 10 sec (D-160 DLAB® tissue homogenizer) and centrifuged (Legend Micro 21R, Centrifuge, Thermo Fisher Scientific, 2011, Germany) at 11000 rpm for two minutes. The aqueous phase was transferred to a new tube, and 10 µL of RNase (which was included as part of NucleoSpin™ Plant II kit, Macherey-Nagel, Germany) was then added to each sample. The RNase contained in the kit was prepared by addition of 600 µL of nuclease-free water and

incubation (Incubator H_2O Bath series, Sheldon Manufacturing, Inc., Shel Lab, USA) at 65 °C for 30 minutes.

Variation Method 2

For the second DNA extraction process, 6 to 8 sample buds, with a total weight of 30–40 mg, were used. The samples were ground in a mortar and placed in 1.5 mL microtubes. Five mg of 0.1 mm glass beads and 400 µL of PL2 lysis buffer (SDS-based, provided in the NucleoSpin™ Plant II kit, Macherey-Nagel, Germany) were added to each sample. SDS is an anionic detergent that solubilizes cell membranes and denatures proteins, facilitating the release of nucleic acids.
The sample was mixed with the buffer and the glass beads in a vortex mixer (Vortex-Genie 2, Scientific Industries Inc.) for five minutes at maximum speed and shaking at approximately 3200 rpm. After centrifugation for two minutes, the aqueous phase was placed in a new 1.5 mL tube, avoiding the concentrated mass at the end of the tube, and 10 µL of RNase (previously prepared) was added to each sample.
The samples were incubated at 65 °C for 45 minutes (Incubator H2O Bath series, Sheldon Manufacturing, Inc., Shel Lab, USA) and then allowed to cool for five minutes at room temperature, before 75 µL of PL3 buffer (protein precipitation buffer, potassium acetate-based, provided in the kit) was added. The mixtures were processed in the vortex mixer and incubated (Incubator H2O Bath series, Sheldon Manufacturing, Inc., Shel Lab, USA) at -80 ºC for five minutes. The samples were then left at room temperature to thaw.

2. Filtration, adjustment of DNA binding conditions, DNA binding to silica membrane

After incubation, the samples underwent a filtration and lysate clarification process using the violet column (supplied with the kit), followed by the addition of buffer PC under different conditions depending on the method:

Variation Method 1

The lysate was applied to the violet column and centrifuged at 13,000 rpm for two minutes. The column was discarded, and 450 µL of buffer PC (guanidine hydrochloride-based) was added directly to the clarified lysate in the collection tube. The mixture was gently vortexed for 5 seconds before proceeding to DNA binding on the silica column.

Variation Method 2

Thawed samples were also clarified using the violet column and centrifuged at 13,000 rpm for two minutes. In this case, the aqueous phase was transferred to a new tube, and 450 µL of buffer PC was added to the recovered supernatant. The mixture was vortexed briefly before being loaded onto the silica column for DNA binding.

Application of PC Buffer and Green Column:

In both methods, an aliquot of 450 µL of buffer PC (which was included as part of the buffers in the NucleoSpin™ Plant II kit, Macherey-Nagel, Germany) was then added to the tubes containing the samples. Buffer PC contains guanidine hydrochloride, which completely removes RNA, metabolites and other PCR inhibitors. The mixture was done by gently vortexing for 5 sec. The provided green column (NucleoSpin™ filter) was placed inside a 2 mL collection tube. Then, 700 µL of the sample mixed with PC buffer was added to this assembly. The tube was centrifuged at 13000 rpm for one minute. After centrifugation, the liquid was discarded, while the column, which includes the filter, was retained.

3. Washing and drying of the silica membrane

In both methods, the green column was washed three times:

1. Add 400 µL of PW1 buffer, centrifuge at 13000 rpm for one minute, discard the liquid.
2. Add 700 µL of PW2 buffer, centrifuge at 13000 rpm for one minute, discard the liquid. PW2 was prepared by adding 100 µL of 96-100 % ethanol. Keep the vial tightly closed to prevent evaporation.
3. Add 200 µL of PW2 buffer, centrifuge at 13000 rpm for two minutes, discard the fluid.

4. Eluting the DNA

The filter was placed in a new 1.5 mL microtube, and 30 µL of PE buffer with 13 µL of 1 mM EDTA (CTR scientific, México) was added to moisten the filter membrane. After incubating at

65 ºC for five minutes, the tube was centrifuged at 13000 rpm for one minute. The filter was discarded, and the eluted DNA was stored at -20 ºC. EDTA was added to the PE buffer to prevent DNA degradation by chelating Mg^{2+} ions needed by DNAases, as previous tests showed low DNA concentrations and 260/280 ratios below 1.8.

DNA quantification

The DNA was analyzed by spectrophotometry (in a NanoDrop 2000 spectrophotometer) to determine both the concentration (ng μL^{-1}) and the ratio of absorbance at 260 nm and 280 nm (260/280 ratio), an indicator of purity.

The electrophoresis system included an agarose gel prepared with 30 mL of 1X TAE, 0.3 g of standard electrophoresis agarose and 1 µL of ethidium bromide (EtBr). Aliquots of 3 µL of the samples were loaded using 3 µL of loading buffer, and a Promega brand of 10000 bp molecular size marker was added. Gels were visualized on a photodocumenter (ChemiDoc XRS+ from Bio-Rad) including Image Lab software (Bio-Rad Laboratories, 2017).

Statistical analysis

We analyzed n = 8 paired samples, each processed using Method 1 and Method 2, respectively. In this design, both methods were applied to the same biological unit, so each sample serves as its own control. This approach accounts for variability among trees and sampling positions, which would otherwise inflate error terms if methods were compared across independent groups. Since we did not generate technical replicates, the data structure consists of pairs rather than repeated measurements or factorial combinations; therefore, a paired comparison is the most appropriate statistical framework (McDonald, 2014). For each variable (DNA concentration and 260/280 ratio), we first tested the normality of the paired differences using the Shapiro–Wilk test. If the differences followed a normal distribution, we applied a paired *t*-test; otherwise, we used the Wilcoxon signed-rank test. For all tests, we reported two-sided *p*-values, 95% confidence intervals of the mean or median difference, and paired effect size (dz). Statistical analyses were performed in R Core Team, 2021.

Amplification of the protein tyrosine and serine/threonine kinase gene by PCR

After verifying the quality of the extracted DNA, the *AT3G09010* gene (encoding a protein tyrosine and serine/threonine kinase, PTK/PSK) was amplified, and a polymorphism was detected in Mexican *P. tremuloides*, identified as *Potrs00121211g02063* homologous to the *AT3G09010* gene (see more https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/820053) (Goessen *et al.*, 2022). The following 5' to 3' primers were used to perform PCR for the amplification of 1,613 base pairs of the *PTK/PSK* gene: forward primer (Fwd-Potrs): GAACTGGTACCACATATCGTGCATAGAGAC, and reverse primer (Rev-Potrs): CCTGGAGCAGTGAGTAACTTGTCATTTAGCC. The Promega kit was used with a total reaction volume of 25 µL consisting of 5X buffer (5 µL), $MgCl_2$ (2 µL), dNTPs (0.25 µL), forward primer (0.25 µL), reverse primer (0.25 µL), Taq DNA polymerase (0.2 µL), DNA sample (1 µL), and nuclease-free water (16.05 µL).

The positive and negative controls, consisting of a previously analyzed DNA sample and nuclease-free water, were analyzed together with the prepared samples. PCR amplification was performed in a thermocycler under the following conditions: initial denaturation at 95°C for 1 minute, followed by 30 cycles at 95°C for 45 seconds, hybridization at 65°C for 45 seconds, and 72°C for 1 minute. A final extension was performed at 72°C for 5 minutes, and the reaction was kept at 4°C. During this process, the primers specifically bound to their complementary DNA sequences: the sense primer to the positive (+) strand and the antisense primer to the negative (−) strand.

Subsequently, the amplified fragments were visualized on agarose gel by using the same methodology described above. Gels were prepared with only three samples (SAA-9 South, SAA-9 West and SAA-5 South) for each method used (Method 1; Method 2), plus one positive and one negative marker.

RESULTS

DNA quantification

The DNA concentration and absorbance values for each sample are listed in Table 1. Normality was evaluated on the paired differences using the Shapiro–Wilk test. DNA concentration differences were normally distributed (W = 0.92, p = 0.124), whereas absorbance differences (260/280 ratio) were not (W = 0.55, p < 0.001). For DNA concentration, Method 1 yielded significantly higher values than Method 2 (mean paired difference = 71.98 ng/µL; 95% CI 17.3–126.7; t(7) = 3.11, p = 0.017; dz = 1.10) (Figure 1). This pattern was consistent across all samples and is clearly illustrated in the paired difference plot (Figure 2).

Tabla 1. Concentración y absorbancia (relación 260/280) del ADN de cada muestra extraída con el método 1 y el método 2, según análisis espectrofotométrico (Nanodrop 2000).
Table 1. DNA concentration and absorbance (260/280 ratio) of each sample extracted with Method 1 and Method 2, according to spectrophotometric analysis (Nanodrop 2000).

Sample	Conc. (ng/µL) M1	Conc. (ng/µL) M2	260/280 M1	260/280 M2
SAA-10-east	124	74.8	1.83	1.86
SAA-10-north	56.4	13.5	1.91	1.89
SAA-5-west	122.3	91	1.86	1.84
SAA-5-south	160.6	48.4	1.91	1.89
SAA-9-east	106.5	90.7	1.91	1.92
SAA-9-north	66.6	56.2	1.88	1.28
SAA-9-west	199	86.4	1.79	1.8
SAA-9-south	268	66.6	1.93	1.72

Note: "Conc." indicates DNA concentration (ng/µL). "260/280" indicates absorbance ratio (optimal values 1.8–1.9). Statistical comparisons were conducted with paired tests (paired t-test or Wilcoxon signed-rank test, depending on normality of paired differences).

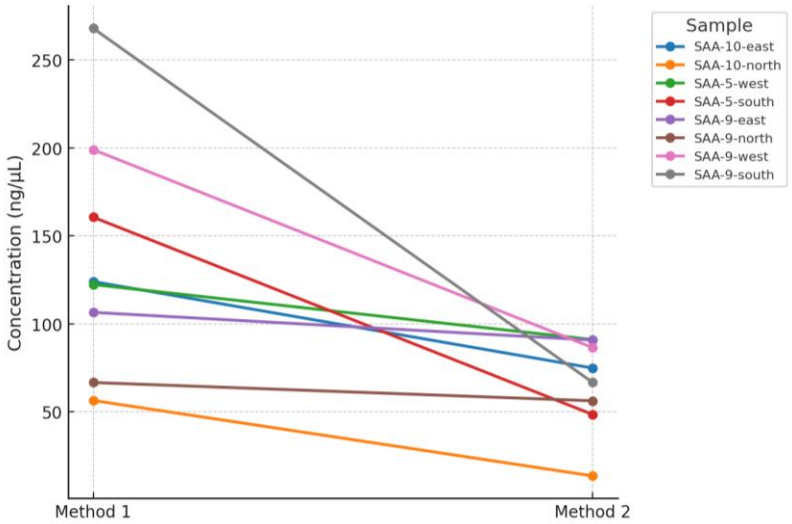


Figure 1. DNA concentration (ng/µL) for each sample processed with Method 1 and Method 2. Lines connect paired observations from the same sample (n = 8). Colors denote individual samples.
Figura 1. Concentración de ADN (ng/µL) para cada muestra procesada con el método 1 y el método 2. Las líneas conectan observaciones apareadas de la misma muestra (n = 8). Los colores indican las muestras individuales.

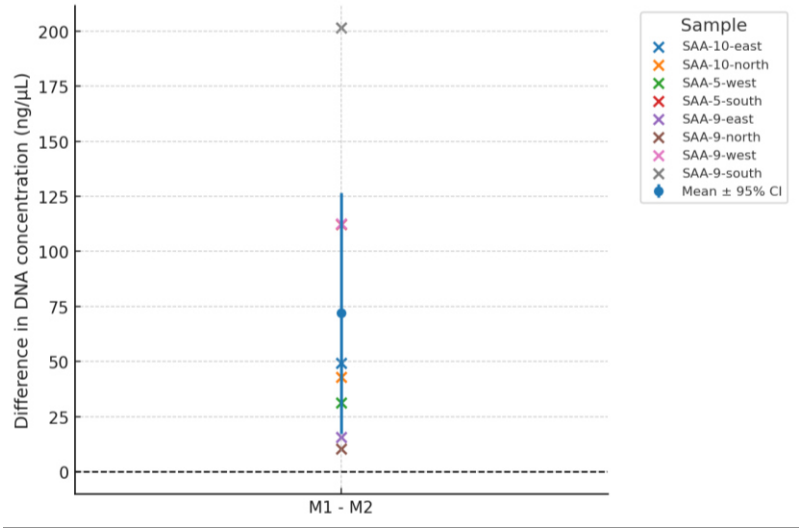


Figure 2. Paired differences in DNA concentration (Method 1 – Method 2). Gray dots represent individual differences, colors indicate sample identity, and the blue marker with error bars represents the mean difference ± 95% CI. A dashed line marks zero difference.
Figura 2. Diferencias apareadas en la concentración de ADN (método 1 – método 2). Los puntos grises representan diferencias individuales, los colores indican la identidad de la muestra y el marcador azul con barras de error muestra la diferencia media ± IC95%. La línea discontinua indica diferencia cero.

In contrast, for the 260/280 ratio, no significant differences were observed between methods. A paired t-test suggested no difference (mean difference = 0.10; 95% CI −0.08–0.28; $p = 0.219$; Figure 3), and the Wilcoxon signed-rank test confirmed this result (W = 9.0, $p = 0.25$). The Hodges–Lehmann median difference was +0.02 with a 95% CI of −0.01–0.295 (Figure 5). Both analyses converge on the conclusion that DNA purity was equivalent between the two methods.

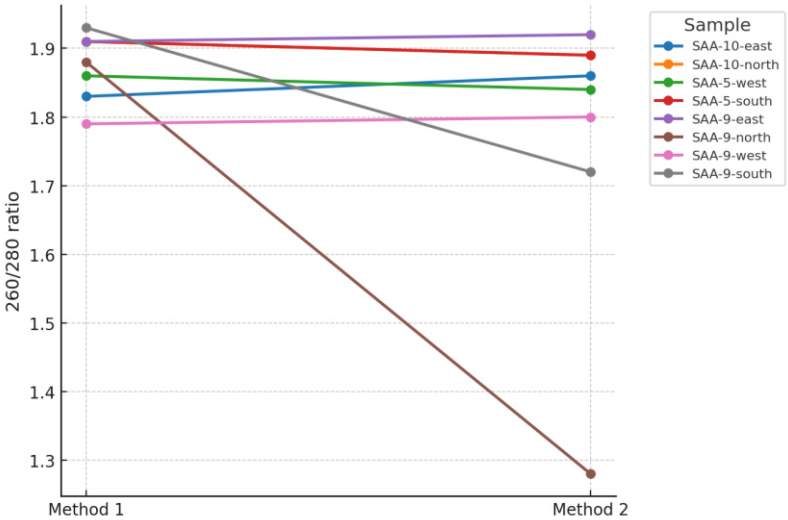


Figure 3. DNA purity (260/280 ratio) for each sample processed with Method 1 and Method 2. Lines connect paired observations from the same sample (n = 8). Colors denote individual samples.
Figura 3. Pureza del ADN (relación 260/280) para cada muestra procesada con el método 1 y el método 2. Las líneas conectan observaciones apareadas de la misma muestra (n = 8). Los colores indican las muestras individuales.

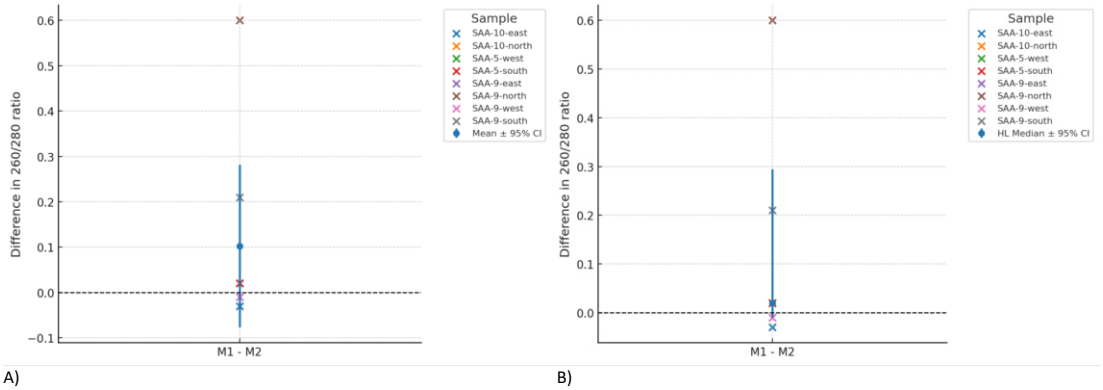


Figure 4. Paired differences in DNA purity (260/280 ratio, Method 1 – Method 2). Colored dots represent individual differences, and blue markers with error bars indicate central tendency estimates ± 95% CI. A) Mean difference (paired t-test). B) Hodges–Lehmann median difference (Wilcoxon signed-rank test). A dashed line marks zero difference.
Figura 4. Diferencias apareadas en la pureza del ADN (relación 260/280, método 1 – método 2). Los puntos coloreados representan diferencias individuales, y los marcadores azules con barras de error muestran las estimaciones de tendencia central ± IC95%. A) Diferencia media (prueba t apareada). B) Diferencia mediana de Hodges–Lehmann (prueba de rangos con signo de Wilcoxon). La línea discontinua indica diferencia cero.

The comparison between methods showed that method 1 yielded a statistically significant higher concentration of DNA than method 2. The 260/280 ratio was higher for Method 1 than for Method 2, but the difference was not statistically significant.
In addition, the products were visualized on agarose gels to corroborate the integrity of the DNA. For method 1, intense smearing is observed at the lower part of the gel (<500 bp), indicating that most of the extracted DNA is fragmented into very small sizes, while for method 2 bands are observed in the 500–3000 bp range, indicating the presence of slightly larger DNA fragments with less fragmentation compared to the first gel. (Figure 5 and 6).

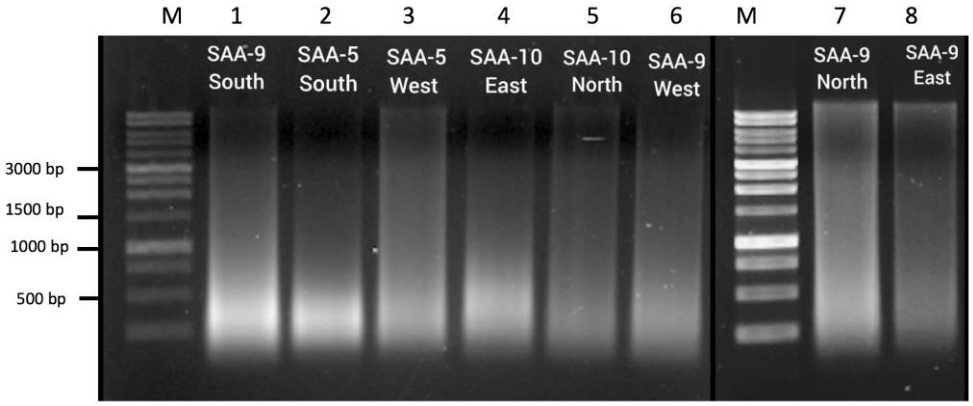


Figure 5. Electrophoresis of DNA samples obtained using Method 1, with PL1 buffer, a tissue homogenizer and a 30 minutes incubation with RNase. In lane M the 10000 bp marker is observed, while lanes 1 to 8 show eight DNA samples with the absence of any bands.
Figura 5. Electroforesis de muestras de ADN obtenidas mediante el método 1, con tampón PL1, un homogeneizador de tejidos y una incubación de 30 minutos con ARNasa. En el carril M se observa el marcador de 10 000 pb, mientras que los carriles 1 a 8 muestran ocho muestras de ADN sin bandas.

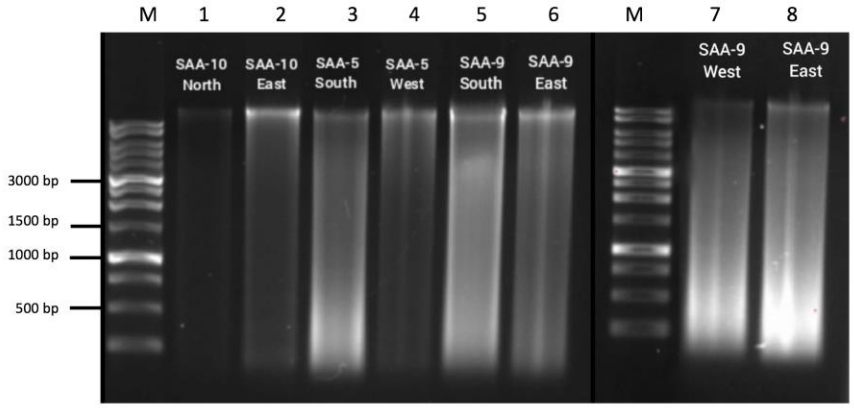


Figure 6. Electrophoresis of DNA samples obtained using Method 2, with PL2 and PL3 buffer, glass beads and incubation for 45 min with RNase. In lane M the 10000 bp marker is observed, while lanes 1 to 8 show eight DNA samples with a well-defined band.
Figura 6. Electroforesis de muestras de ADN obtenidas mediante el método 2, con tampón PL2 y PL3, microesferas de vidrio e incubación durante 45 min con ARNasa. En la línea M se observa el marcador de 10 000 pb, mientras que las líneas 1 a 8 muestran ocho muestras de ADN con una banda bien definida.

Amplification of the protein tyrosine and serine/threonine kinase gene by PCR

The PCR results are shown in Figure 7. In lane C+, the positive control was observed with a band of the expected size of 1600 bp, and in lane C- no amplification band was observed, as expected. In lanes 1 to 4, amplification at 1600 bp of three samples obtained using method 1 was observed. In the subsequent lanes 5 to 8, three samples obtained using method 2 were visualized (all amplified at 1600 bp).

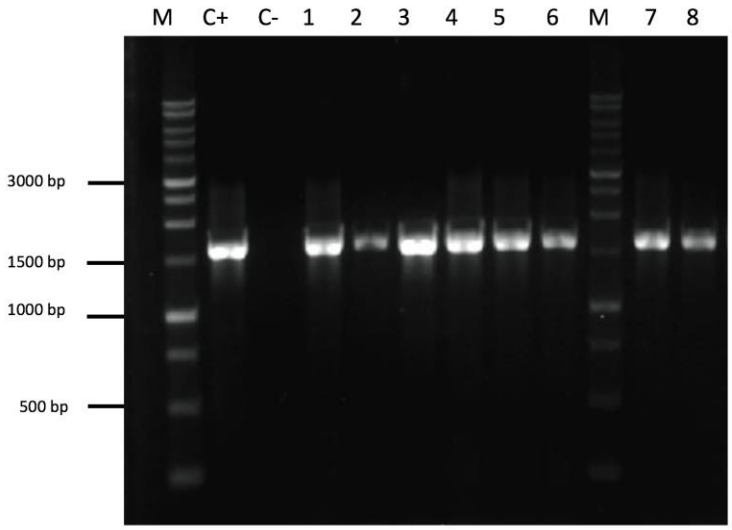


Figure 7. PCR amplification of three DNA samples obtained by each method. Lane M include the 10000 bp marker, C+, the positive control and C- the negative control. Lanes 1 to 4, include samples obtained using Method 1; lane 5 to 8 include samples obtained using Method 2. The DNA obtained by both methods was successfully amplified at 1600 bp.
Figura 7. Amplificación por PCR de tres muestras de ADN obtenidas con cada método. El carril M incluye el marcador de 10 000 pb, C+ el control positivo y C- el control negativo. Los carriles 1 a 4 incluyen muestras obtenidas con el método 1; los carriles 5 a 8 incluyen muestras obtenidas con el método 2. El ADN obtenido con ambos métodos se amplificó correctamente a 1600 pb.

Núm. 61: 205-220 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

DISCUSSION

Vegetative bud samples were selected for this study because they contain constantly dividing meristematic cells in which DNA synthesis is active and which yield larger amounts of genomic DNA compared to mature tissues. In *Populus*, different tissues were used for molecular studies depending on the research objective, including leaves for assessing fungi in litter and for speciation and evolutionary analyses (Li *et al.*, 2021; Yang & Vinatzer, 2021), as well as wood for studying secondary metabolites and nutrients (Birkemoe *et al.*, 2022).

According to the results of this study, in Method 1, the PL1 lysis buffer contained cetyltrimethylammonium bromide (CTAB), which is widely used in plant DNA extraction due to its ability to remove polysaccharides and yield high-purity DNA (Aboul-Maaty & Oraby, 2019; Rogers & Bendich, 1994). This method generated higher DNA concentrations, while 260/280 ratio values did not differ significantly between methods. However, agarose gel electrophoresis revealed the lack of a defined band for Method 1, despite NanoDrop 2000 results indicating high DNA concentration. The absence of a band may indicate DNA degradation, as degradation results in fluorescent smears instead of the defined bands observed in high-quality DNA samples (Crespo *et al.*, 1999) (Figures 5).

There are homogenization methods, such as the use of pestles, which break down the sample by friction against the tube wall, as well as abrasive materials like powdered glass or resins. In these cases, it is recommended to add a small amount of lysis buffer before starting the process to denature proteins and stabilize DNA (Alejos *et al.*, 2014). Mechanical disruption in Method 1 was performed using a manual homogenizer, however, excessive DNA fragmentation was observed, suggesting that cell lysis may have been too aggressive (Demkina *et al.*, 2023).

On the other hand, Method 2 used PL2 buffer (SDS-based), glass beads, and vortex homogenization. Although the DNA concentration obtained with this method was lower, agarose gel electrophoresis revealed relatively higher quality compared to Method 1, with bands that were more clearly defined and indicative of larger fragments. Nevertheless, some degree of degradation was still evident, suggesting that while Method 2 improved DNA integrity, it did not completely eliminate fragmentation (García-Godos & Cueva-Castillo, 2021) (Figures 1 and 6).

In this method, the use of SDS, which contains sodium dodecyl sulfate (SDS), a detergent that facilitates membrane dissolution and the removal of proteins and polysaccharides (Dairawan & Shetty, 2020), while subsequent treatment with PL3 (a potassium acetate-based protein precipitation buffer) helped remove proteins and other contaminants. Protein precipitation with potassium acetate has been reported as an effective step to improve DNA purity by eliminating denatured proteins and residual polysaccharides (Chiong *et al.*, 2017). However, SDS-based extractions have also been reported to yield lower DNA quantities, so its use is recommended only in lysis buffer when an excess of secondary metabolites is present (Carey *et al.*, 2023). To mitigate these risks, its use in controlled concentrations, such as the 1% concentration suggested by (Kotchoni *et al.*, 2011), is recommended.

During the DNA extraction process, cell walls and membranes must be broken down in order to release cellular constituents and genetic material. This is usually done using detergents such as SDS, which solubilizes membranes and denatures proteins, and CTAB, which precipitates polysaccharides and removes secondary metabolites (Ausubel *et al.*, 2003). In fact, some protocols have reported that the combined use of SDS and CTAB can be particularly efficient for DNA extraction from difficult plant tissues, especially when liquid nitrogen or specialized homogenization equipment is not available (Ambawat *et al.*, 2020).

We assume that the original protocol of the NucleoSpin™ Plant II kit provides good results, as it has been successfully used in other genomic studies of *Populus* (Verbylaite *et al.*, 2010) (Scobeyeva *et al.*, 2018). Additionally, comparative studies in other plant systems, such as oilseed rape, have shown that DNA isolated with this kit is of comparable quality to that obtained with the classical Doyle and Doyle CTAB protocol (Dobrzycka *et al.*, 2014). This supports the reliability of the original kit protocol as a valid baseline for DNA extraction.

Comparing the results of this study with the CTAB protocol, some commercial kits have been observed to significantly reduce DNA extraction time by streamlining or simplifying steps such as nucleic acid precipitation and purification, thereby improving process efficiency (Scobeyeva *et al.*, 2018). In the NucleoSpin™ Plant II kit, for example, the addition of buffer PL3 (potassium acetate-based) promotes protein precipitation, while nucleic acids are efficiently bound to the silica membrane, replacing the traditional ethanol precipitation step used in CTAB protocols. Furthermore, modifications to the lysis and precipitation steps have overcome contamination problems, such as the formation of insoluble complexes between DNA and polysaccharides, which were reported in earlier studies (Rache-Cardenal *et al.*, 2022). Moreover, the use of CTAB- or SDS-based buffers, either separately or in combination, as described in some protocols, allows for sample processing without the need of specialized equipment or liquid nitrogen, which are costly and pose handling risks, as well as in processes such as lyophilization (Kotchoni & Gachomo, 2009; Sharma *et al.*, 2010). However, recent advances have led to the development of toxin-free methods that leverage the physicochemical properties of nucleic acids (El-Ashram *et al.*, 2016; Ueno *et al.*, 2024).

Using PCR, the DNA samples obtained with both methods were successfully amplified, producing a 1,600 bp fragment. Although Method 1 showed good spectrophotometric yields, gel electrophoresis results revealed lower DNA quality. This finding aligns with the report by (Abubakar *et al.*, 2021), who observed that DNA extracted with the NucleoSpin™ Plant II kit showed some degradation detected in electrophoresis, but without affecting PCR amplification. Additionally (Särkinen *et al.*, 2012), analyzed degraded plant DNA and concluded that DNA purity is a more critical factor than yield in predicting amplification success, emphasizing the need for extraction techniques that maximize DNA purity rather than just yield.

Interestingly, the amplified fragment corresponds to the *AT3G09010* gene, which encodes a protein tyrosine and serine/threonine kinase (PTK/PSK) and has previously been associated with a polymorphism specific to Mexican populations of *Populus tremuloides* (Goessen *et al.*, 2022). The successful amplification of this gene, even from partially degraded DNA, highlights its potential as a marker for understanding local adaptations in these populations. In this sense, the presence of this polymorphism underscores the biological importance of Mexican populations of *P. tremuloides*, which harbor unique genetic signatures that reflect their historical persistence under past climatic conditions.

CONCLUSION

This study compared two DNA extraction methods in *Populus tremuloides*, revealing significant differences in DNA concentration and integrity. Method 1, which used PL1 buffer (CTAB), a mechanical homogenizer, and a 30-minute RNase incubation, resulted in higher DNA concentrations but severe DNA fragmentation, with no significant differences in the 260/280 ratio compared to Method 2. In contrast, Method 2, which used the PL2 buffer (SDS), glass beads, an extended incubation time (45 minutes), and subsequent protein precipitation with PL3 (potassium acetate buffer), preserved DNA integrity better, as evidenced by more clearly defined fragments in electrophoresis.

Importantly, these findings demonstrate that modifications to commercial extraction protocols can lead to different outcomes in terms of DNA quantity and quality, highlighting the need to tailor protocols to both the available equipment and the downstream applications. Both methods enabled successful amplification of a 1600-bp fragment via PCR, confirming the suitability of the extracted DNA for molecular analyses. However, since DNA integrity is a key factor for sequencing applications and genetic and epigenetic studies in plants, Method 2 is considered the most suitable option for studies requiring high-quality DNA with minimal fragmentation.

RECOMMENDATIONS

When selecting a DNA extraction method, it is important to consider the available equipment and the sample homogenization process. The use of a mechanical homogenizer may be too aggressive for *P. tremuloides* bud tissues and may compromise DNA integrity. For studies requiring intact DNA, less invasive homogenization methods, such as with glass beads, may be preferable.
In addition, the intended use of the extracted DNA should be taken into account when choosing a protocol. While higher DNA concentrations may be beneficial for some studies, DNA integrity is crucial for analyses involving sequencing or epigenetic studies. Our findings show that even small modifications to commercial protocols can substantially influence both DNA yield and quality, underscoring the importance of tailoring the protocol to specific research needs. The use of vegetative buds as study material also highlights the relevance of meristematic cells, which can provide valuable insights for genetic and epigenetic studies in trees.
Finally, although this study focused on the 260/280 ratio as a standard indicator of DNA purity, it is also important to consider the 260/230 index in future studies as a complementary measure. Due to a lack of complete records, this parameter could not be systematically assessed here; however, we recommend its inclusion in future studies to enable a more comprehensive evaluation of DNA quality.

ACKNOWLEDGMENTS

This material is based on work supported by Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación – SECTIHTI (before CONAHCYT). Moreover, SECTIHTI provided financial support to Cecilia Nataly Gutiérrez-Contreras for her PhD studies.

REFERENCES

Aboul-Maaty, N. A. F., & Oraby, H. A. S. (2019). Extraction of high-quality genomic DNA from different plant orders applying a modified CTAB-based method. *Bulletin of the National Research Centre*, *43*, 25. https://doi.org/10.1186/s42269-019-0066-1

Abubakar, B. M., Salleh, F. M., Wagiran, A., & Abba, M. (2021). Comparative evaluation of different DNA extraction methods from E. longifolia herbal medicinal product. *eFood*, *2*(1), 21-26. https://doi.org/10.2991/efood.k.210202.001

Alejos, V. L., Aragón, M. D. C., & Cornejo, R. A. (2014). *Extracción y purificación de ADN: herramientas moleculares aplicadas en ecología: Aspectos teóricos y prácticos*. SEMARNAT-INECC. https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/770DBBBD5ADF759505257D4900580FE6/$FILE/HerramientasMolecularesAplicadasEcolog%C3%ADa.pdf

Ambawat, S., Singh, S., Satyavathi, C. T., Meena, R., Meena, R. C., & Khandelwal, V. (2020). Development of a high quality, rapid, efficient and economical DNA extraction protocol from climate resilient pearl millet crop without liquid nitrogen. *International Journal of Environment and Climate Change*, *10*(12), 85-94. https://doi.org/10.9734/ijecc/2020/v10i1230287

Ausubel, F. M., Brent, R., Kingston, R. E., Moore, D. D., Seidman, J. G., Smith, J. A., & Struhl, K. (2003). *Current protocols in molecular biology*. John Wiley & Sons Inc. https://hoclai.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/09/current-protocols-in-molecular-biology.pdf

Bagley, J. C., Heming, N. M., Gutiérrez, E. E., Devisetty, U. K., Mock, K. E., Eckert, A. J., & Strauss, S. H. (2020). Genotyping-by-sequencing and ecological niche modeling illuminate phylogeography, admixture, and Pleistocene range dynamics in quaking aspen (*Populus tremuloides*). *Ecology and Evolution*, *10*(11), 4609-4629.

https://doi.org/10.1002/ece3.6214

Birkemoe, T., Nybakken, L., Andelic, M., Tangnæs, M. J., Sverdrup-Thygeson, A., Kauserud, H., & Jacobsen, R. M. (2022). Secondary metabolites and nutrients explain fungal community composition in aspen wood. *Fungal Ecology*, *59*, 101115. https://doi.org/10.1016/j.funeco.2022.101115

Blonder, B., Graae, B. J., Greer, B., Haagsma, M., Helsen, K., Kapás, R. E., & Strimbeck, R. (2020). Remote sensing of ploidy level in quaking aspen (Populus tremuloides Michx.). *Journal of Ecology*, *108*(1), 175-188. https://doi.org/10.1111/1365-2745.13296

Carey, S. J., Becklund, L. E., Fabre, P. P., & Schenk, J. J. (2023). Optimizing the lysis step in CTAB DNA extractions of silica-dried and herbarium leaf tissues. *Applications in Plant Sciences*, *11*(3), e11522. https://doi.org/10.1002/aps3.11522

Chiong, K. T., Damaj, M. B., Padilla, C. S., Avila, C. A., Pant, S. R., Mandadi, K. K., Ramos, N. R., Carvalho, D. V., & Mirkov, T. E. (2017). *Reproducible genomic DNA preparation from diverse crop species for molecular genetic applications. 13*(106). https://doi.org/10.1186/s13007-017-0255-6

Crespo, A., Blanco, O., Cubero, O. F., Molina, M. C., & Cubas, P. (1999). Técnicas y métodos para la iniciación en el estudio de la evolución molecular con aplicaciones especiales para el análisis de los hongos liquenizados. *Bot Complut*, *23*, 13-51. https://core.ac.uk/download/pdf/38807236.pdf

Dairawan, M., & Shetty, P. J. (2020). The evolution of DNA extraction methods. *American Journal of Biomedical Science and Research*, *8*, 39-45. https://doi.org/10.34297/ajbsr.2020.08.001234

Demkina, A., Slonova, D., Mamontov, V., Konovalova, O., Yurikova, D., Rogozhin, V., Belova, V., Korostin, D., Sutormin, D., & Severinov, K. (2023). Benchmarking DNA isolation methods for marine metagenomics. *Scientific Reports*, *13*, 22138. https://doi.org/10.1038/s41598-023-48804-z

Dobrzycka, A., Olejnik, A., & Wolko, J. (2014). *A simple and rapid method of DNA isolation from oilseed rape plants. 35*, 59-70. https://doi.org/10.5604/12338273.1137532

Doyle, J. J., & Doyle, J. L. (1990). Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*, *12*, 13-15. https://www.researchgate.net/profile/Adhityo_Wicaksono/post/Quick_Extraction_of_plant_DNA_does_anyone_have_protocol/attachment/59d642dcc49f478072eaba57/AS:273804717166592@1442291539148/download/Doyle%26Doyle_Focus_1990_CTAB.pdf

El-Ashram, S., Al Nasr, I., & Suo, X. (2016). Nucleic acid protocols: Extraction and optimization. *Biotechnology Reports*, *12*, 33-39. https://doi.org/10.1016/j.btre.2016.10.001

García-Godos, P., & Cueva-Castillo, J. M. (2021). Variabilidad genética de 29 accesiones de quinua (Chenopodium quinoa Willd) peruana mediante marcadores AFLP y análisis multivariante. *Scientia Agropecuaria*, *12*(1), 57-64. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.01.06

Goessen, R., Isabel, N., Wehenkel, C., Pavy, N., Tischenko, L., Touchette, L., Giguère, I., Gros-Louis, M. C., Laroche, J., & Boyle, B. (2022). Coping with environmental constraints: Geographically divergent adaptive evolution and germination plasticity in the transcontinental Populus tremuloides. *Plants People Planet*, *4*(6), 638-654. https://doi.org/10.1002/ppp3.10297

Jiao, L., Liu, X., Jiang, X., & Yin, Y. (2015). Extraction and amplification of DNA from aged and archaeological Populus euphratica wood for species identification. *Holzforschung*, *69*(8), 925-931. https://doi.org/10.1515/hf-2014-0128

Kotchoni, S. O., & Gachomo, E. W. (2009). A rapid and hazardous reagent-free protocol for genomic DNA extraction suitable for genetic studies in plants. *Molecular Biology Reports*, *36*, 1633-1636. https://doi.org/10.1007/s11033-008-9362-9

Kotchoni, S. O., Gachomo, E. W., & Jimenez-Lopez, J. C. (2011). A plant cocktail amenable for PCR-based genetic analysis in Arabidopsis thaliana. *Molecular Biology Reports*, *38*, 5281-5284. https://doi.org/10.1007/s11033-011-0677-6

Li, J. L., Zhong, L. L., Wang, J., Ma, T., Mao, K. S., & Zhang, L. (2021). Genomic insights into speciation history and local adaptation of an alpine aspen in the Qinghai–Tibet Plateau and adjacent highlands. *Journal of Systematics and Evolution*, *59*(6), 1220-1231. https://doi.org/10.1111/jse.12864

McDonald J. H. (2014). *Handbook of Biological Statistics* (3.ª ed.). Sparky House Publishing. https://www.biostathandbook.com/HandbookBioStatThird.pdf

Méndez-Cea, B., Cobo, I., Pérez, A., García, I., Linares, J., & Gallego, F. (2019). DNA extraction and amplification from Pinaceae dry wood. *Silvae Genetica*, *68*(1), 55-57. https://doi.org/10.2478/sg-2019-0010

Mitchell, N., McAssey, E. V., & Hodel, R. G. J. (2023). *Emerging methods in botanical DNA/RNA extraction*. *11*(3), e11530. https://doi.org/10.1002/aps3.11530

Mitton, J. B., & Grant, M. C. (1996). Genetic variation and the natural history of quaking aspen. *BioScience*, *46*(1), 25-31. https://doi.org/10.2307/1312652

Mock, K. E., Rowe, C. A., Hooten, M. B., Dewoody, J., & Hipkins, V. D. (2008). Clonal dynamics in western North American aspen (Populus tremuloides). *Molecular Ecology*, *17*(22), 4827-4844. https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.03963.x

Porebski, S., Bailey, L. G., & Baum, B. R. (1997). Modification of a CTAB DNA extraction protocol for plants containing high polysaccharide and polyphenol components. *Plant Molecular Biology Reporter*, *15*, 8-15. https://doi.org/10.1007/BF02772108

Qiu, D., Bai, S., Ma, J., Zhang, L., Shao, F., Zhang, K., Yang, Y., Sun, T., Huang, J., Zouh, Y., Galbraith, D., Wang, Z., & Sun, G. (2019). The genome of Populus alba x Populus tremula var. Glandulosa clone 84K. *DNA Research*, *26*(5), 423-431. https://doi.org/10.1093/dnares/dsz020

R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing* [Software]. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org

Rache-Cardenal, L. Y., Albesiano-Hoyos, A. S., & Tall, H. (2022). Optimización de un método de extracción de ADN utilizando Subepidermis de Austrocylindropuntia y Opuntia-Opuntioideae. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, *12*(2), 305-314. https://doi.org/10.19053/20278306.v12.n2.2022.15273

Rogers, S. O., & Bendich, A. J. (1994). Extraction of total cellular DNA from plants, algae and fungi. En *Plant Molecular Biology Manual* (pp. 183-190). https://doi.org/10.1007/978-94-011-0511-8_12

Saiki, R. K., Gelfand, D. H., Stoffel, S., Scharf, S. J., Higuchi, R., Horn, G. T., Mullis, K. B., & Erlich, H. A. (1988). Primer-directed enzymatic amplification of DNA with a thermostable DNA polymerase. *Science*, *239*(4839), 487-491. https://doi.org/10.1126/science.2448875

Sánchez-Hernández, R. S., Quiñones-Pérez, C. Z., Hernández-Díaz, J. C., Prieto-Ruíz, J. Á., & Wehenkel, C. (2022). Field trials to assess the growth, survival, and stomatal densities of five Mexican pine species and their hybrids under common plantation conditions. *Forests*, *13*(11), 1791. https://doi.org/10.3390/f13111791

Särkinen, T., Staats, M., Richardson, J. E., Cowan, R. S., & Bakker, F. T. (2012). How to open the treasure chest? Optimising DNA extraction from herbarium specimens. *PLoS ONE*, *7*(8), e43808. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043808

Schenk, J. J., Becklund, L. E., Carey, S. J., & Fabre, P. P. (2023). What is the "modified" CTAB protocol? Characterizing modifications to the CTAB DNA extraction protocol. *Applications in Plant Sciences*, *11*(3), e11517. https://doi.org/10.1002/aps3.11517

Scobeyeva, V., Omelchenko, D., Dyakov, L., Konovalov, A., Speranskaya, A., & Krinitsina, A. (2018). Comparison of some plant DNA extraction methods. *Russian Journal of Genetics*, *54*, 576-586. https://doi.org/10.1134/S1022795418050095

Sharma, P., Joshi, N., & Sharma, A. (2010). Isolation of genomic DNA from medicinal plants without liquid nitrogen. *Indian Journal of Experimental Biology*, *48*, 610-614. https://www.researchgate.net/publication/47154477_Isolation_of_genomic_DNA_from_medicinal_plants_without_liquid_nitrogen

Recibido:
13/mayo/2025

Aceptado:
28/noviembre/2025

Shields, J., Joo, J., Kim, R., & Murphy, H. (2013). Assessment of three commercial DNA extraction kits and a laboratory-developed method for detecting Cryptosporidium and Cyclospora in raspberry wash, basil wash and pesto. *Journal of Microbiological Methods*, *92*(1), 51-58. https://doi.org/10.1016/j.mimet.2012.11.001

Ueno, S., Ito, Y., Hasegawa, Y., & Moriguchi, Y. (2024). Developing simple DNA extraction and PCR-RFLP for MALE STERILITY 4 (MS4) gene in Cryptomeria japonica D. Don: Toward an environmentally friendly protocol. *Tree Genetics & Genomes*, *20*(6), 1-7. https://doi.org/10.1007/s11295-024-01682-6

Verbylaite, R., Beisys, P., Rimas, V., & Kuusiene, S. (2010). Comparison of ten DNA extraction protocols from wood of European aspen (Populus tremula L.). *Baltic Forestry*, *16*(1), 35-42. https://www.researchgate.net/publication/287677920_Comparison_of_Ten_DNA_Extraction_Protocols_from_Wood_of_European_Aspen_Populus_tremula_L

Wehenkel, C., Mariscal-Lucero, S. R., González-Elizondo, M. S., Aguirre-Galindo, V. A., Fladung, M., & López-Sánchez, C. A. (2020). Tall Pinus luzmariae trees with genes from P. herrerae. *PeerJ*, *8*, e8648. https://doi.org/10.7717/peerj.8648

Yang, S., & Vinatzer, B. A. (2021). Draft genome sequence of Mortierella alpina strain LL118, isolated from an Aspen (Populus tremuloides) leaf litter sample. *Microbiology Resource Announcements*, *10*(47), e00864-21. https://doi.org/10.1128/MRA.00864-21

Zhou, R., Jenkins, J. W., Zeng, Y., Shu, S., Jang, H., Harding, S. A., & Tsai, C. J. (2023). Haplotype-resolved genome assembly of Populus tremula × P. alba reveals aspen-specific megabase satellite DNA. *The Plant Journal*, *116*(4), 1003-1017. https://doi.org/10.1111/tpj.16454

Zhu, H., Zhang, H., Xu, Y., Laššáková, S., Korabečná, M., & Neužil, P. (2020). PCR past, present and future. *Biotechniques*, *69*(4), 317-325. https://doi.org/10.2144/btn-2020-0057

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE *Laelia autumnalis* Y *Encyclia cordigera* EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SACAROSA Y CARBÓN ACTIVADO

GROWTH OF *Laelia autumnalis* AND *Encyclia cordigera* SEEDLINGS AS A FUNCTION OF SUCROSE AND ACTIVATED CHARCOAL CONCENTRATION

Cabañas-Rodríguez, M., Andrade-Rodríguez, M., Villegas-Torres, O.G., Alia-Tejacal,I., Juárez-López, P., Chávez-García, J.A.

CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE *Laelia autumnalis* Y *Encyclia cordigera* EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SACAROSA Y CARBÓN ACTIVADO.
GROWTH OF *Laelia autumnalis* AND *Encyclia cordigera* SEEDLINGS AS A FUNCTION OF SUCROSE AND ACTIVATED CHARCOAL CONCENTRATION

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 221-234 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.13

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

POLIBOTÁNICA

Núm. 61: 221-234 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Crecimiento de plántulas de *Laelia autumnalis* y *Encyclia cordigera* en función de la concentración de sacarosa y carbón activado

Growth of *Laelia autumnalis* and *Encyclia cordigera* seedlings as a function of sucrose and activated charcoal concentration

Marcela Cabañas-Rodríguez / marcela.cabanasr@uaem.edu.mx
http://orcid.org/0009-0004-8405-9233
Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Morelos

María Andrade-Rodríguez / maria.andrade@uaem.mx
https://orcid.org/0000-0003-0757-742X
Oscar Gabriel Villegas-Torres / oscar.villegas@uaem.mx https://orcid.org/0000-0001-9885-3906
Iran Alia-Tejacal / iran.alia@uaem.mx
https://orcid.org/0000-0002-2242-2293
Porfirio Juárez-López / porfirio.juarez@uaem.mx
https://orcid.org/0000-0002-4241-1110
José Antonio Chávez-García / jose.chavez@uaem.mx
https://orcid.org/0000-0002-1480-8401
Facultad de Ciencias Agropecuarias.
Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, C.P. 62209. Cuernavaca, Morelos

RESUMEN: En el cultivo de tejidos vegetales se utilizan diferentes componentes para mejorar el crecimiento de las plantas; entre ellos, la adición de diferentes concentraciones de sacarosa y carbón activado a los medios de cultivo ha favorecido el crecimiento de muchas especies. La mayoría de las orquídeas presentan crecimiento lento y baja capacidad fotosintética; esto ocurre también *in vitro*, aunque de manera menos acentuada; por lo tanto, es necesario investigar los componentes del medio que favorecen el crecimiento de estas plantas. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de tres concentraciones de sacarosa y tres de carbón activado en el crecimiento *in vitro* de plantas de *Laelia autumnalis* y *Encyclia cordigera*. Se utilizaron los macro y micro nutrimentos del medio Murashige y Skoog (1962), suplementado con 0.5 mg L^{-1} de tiamina HCl, 100 mg L^{-1} de mio-inositol y tres concentraciones de sacarosa (15, 30 y 45 g L^{-1}) en combinación con carbón activado (0, 1 y 3 g L^{-1}). Se usó un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial de tratamientos para cada especie, con 10 repeticiones y 10 plántulas por repetición para cada uno de los 9 tratamientos. En *L. autumnalis*, 45 g de sacarosa y 1 g de carbón activado generaron los mayores resultados para altura de plántula (31.97 mm), longitud de hoja (13.44 mm) y de raíces (8.63 cm), materia seca de planta y de raíces (6.57 y 2.65 mg, respectivamente). En *E. cordigera*, 45 g de sacarosa y 3 g de carbón activado, promovieron la mayor altura de la parte aérea (6.06 mm), número (5.78) y longitud de hoja (21.54 mm), número de raíces (8.02), diámetro de protocormo (3.21 mm), materia seca de plantas y raíces (27.78 y 52.92 mg, respectivamente). A mayor cantidad de sacarosa y carbón activado hubo mayor crecimiento. Se observó una menor longitud en las plantas sin la adición de carbón activado. Por lo que, para tener mayor crecimiento se sugiere cultivar *in vitro* las plántulas de *L. autumnalis* en medio MS con 45 g L^{-1} de sacarosa en combinación con 1 g L^{-1}de carbón activado y las de *E. cordigera* en el medio MS suplementado con 45 g L^{-1} de sacarosa y 3 g L^{-1}de carbón activado.
Palabras clave: orquídeas, carbohidratos, crecimiento.

Marcela Cabañas-Rodríguez, María Andrade-Rodríguez, Oscar Gabriel Villegas-Torres, Iran Alia-Tejacal, Porfirio Juárez-López, José Antonio Chávez-García

CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE *Laelia autumnalis* Y *Encyclia cordigera* EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SACAROSA Y CARBÓN ACTIVADO.

GROWTH OF L *Laelia autumnalis* AND *Encyclia cordigera* SEEDLINGS AS A FUNCTION OF SUCROSE AND ACTIVATED CHARCOAL CONCENTRATION

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 221-234. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.13

Núm. 61: 221-234 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

ABSTRACT: In plant tissue culture, different components are used to improve plant growth; among them, the addition of different concentrations of sucrose and activated charcoal to the culture media has favored the growth of many species. Most orchids grow slowly and have low photosynthetic capacity; this also occurs *in vitro*, although to a lesser extent; therefore, it is necessary to investigate the environmental components that promote the growth of this plants. The aim of the research was to evaluate the effect of three concentrations of sucrose and three concentrations activated charcoal on the *in vitro* growth of plants of *Laelia autumnalis* and *Encyclia cordigera*. The macro and micronutrients of the medium Murashige and Skoog (1962) were used, supplemented whit 0.5 mg L^{-1} of thiamine HCI, 100 mg L^{-1} of myo-inositol and three concentration whit activated charcoal (0, 1 and 3 g L^{-1}). A completely randomized, factorial arrangement of treatments was used for each species, whit 10 replications and 10 seedlings per replication for each of the 9 treatments. In *L. autumnalis*, 45 g of sucrose and 1 g of activated charcoal generated the highest results for seedling height (31.97 mm), leaf length (13.44 mm) and root length (8.63 cm), plant dry matter and root (6.57 and 2.65 mg, respectively). In *E. cordigera*, 45 g of sucrose and 3 g of activated charcoal promoted the highest height of the aerial part (6.06 mm), number (5.78) and leaf length (21.54 mm), number of roots (8.02), protocorm diameter (3.21 mm), plant dry matter and roots (27.78 and 52.92 mg, respectively). The greater the amount of sucrose and activated charcoal, the greater the growth. Shorter length was observed in the plants without the addition of activated charcoal. Therefore, to have greater growth, it is suggested to *in vitro* culture of *L. autumnalis* seedlings in MS medium with 45 g L^{-1} of sucrose in combination with 1 g L^{-1} of activated charcoal, and those of *E. cordigera* in MS medium supplemented with 45 g L^{-1} of sucrose and 3 g L^{-1} of activated charcoal.
Key words: orchids, carbohydrates, growth.

INTRODUCCIÓN

Las orquídeas destacan por la belleza de sus flores (fragantes muchas de ellas), colores vistosos y atractivos, lo que genera su importancia comercial. Lo anterior ha provocado la continua extracción de ejemplares de poblaciones silvestres, sumado al deterioro de su hábitat natural han sido factores que han disminuido las poblaciones de orquídeas (Sedano *et al*., 2015). Por lo que, en la actualización de la NOM-059-SEMARNAT-2010, se encuentran 197 especies de orquídeas en alguna categoría de riesgo (DOF, 2019); de ahí que, se considera necesario cuidar y proteger las plantas de esta familia botánica tanto *in situ* como *ex situ*.

Laelia autumnalis (La Llave & Lex.) Lindl, es una planta nativa de México de 20 a 40 cm de alto excluyendo la inflorescencia, con flores grandes y vistosas de 6.5 a 11 cm de diámetro, tépalos lila a magenta oscuro, labelo trilobado, los lóbulos laterales de color lila con blanco, con fragancia débil a intensa a la luz del día (Halbinger y Soto, 1997).

Las poblaciones silvestres han estado sujetas al cambio en el uso del suelo y la extracción masiva e ilegal de individuos, para satisfacer la demanda de los mercados; estas actividades ponen en peligro a la especie (Hernández-Muñoz *et al*., 2013) . Esta orquídea está en la categoría de protección especial (Pr) en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2019).

Enclyclia cordigera (Kunth) Dressler es una orquídea epífita de hasta 50 cm de alto; con inflorescencia terminal, racemosa, flores simultáneas grandes, vistosas y fragantes, con sépalos y pétalos carnosos, de color marrón rojizo y labelo grande de color blanco a rosa-púrpura. En México, se distribuye en Veracruz, Oaxaca y Chiapas (Hagsater y Salazar, 1990). Esta especie no está en la NOM-059-SEMARNAT-2010; sin embargo, Ramírez *et al*. (2016) señalan que está clasificada como vulnerable en el libro rojo de la Flora de Venezuela y está incluida en el apéndice II de CITES (2025), dado que su población ha sido disminuida debido al deterioro de su hábitat.

El cultivo de tejidos vegetales es una técnica que facilita la germinación, crecimiento y propagación de muchas especies de orquídea, ya que se lleva a cabo en condiciones de asepsia, en presencia de fuentes de nutrimentos y condiciones ambientales controladas (Salazar *et al*., 2013). Los componentes que se adicionan a los medios de cultivo son sales minerales, compuestos orgánicos, elementos

gelificantes y componentes inertes. Las sales minerales que aportan macronutrientes (N, P, K, S, Ca y Mg) y micronutrientes (Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo, Co) deben estar en una concentración que permita el adecuado crecimiento celular. En el grupo de los componentes orgánicos, se incluyen vitaminas, reguladores del crecimiento, azúcares y aminoácidos. Se pueden agregar otros componentes inertes como el carbón activado, que tiene la función de adsorber compuestos no deseados (antioxidante) (Sharry *et al*., 2015), lo cual dependerá de la especie de estudio, el propósito de la investigación y el criterio del investigador.

La sacarosa es el producto más abundante de la fotosíntesis y la forma mayoritaria de transporte del azúcar en las plantas (Lunn *et al*., 2014); tiene funciones celulares importantes, producción de energía mediante la respiración, regulación de la estabilidad de membrana y da soporte al proceso de formación de nuevas células en las plantas (Heriansyah, 2019; Karimah *et al*., 2022). La sacarosa en los medios de cultivo *in vitro* actúa como fuente de energía, dado que se considera que los explantes, brotes y plántulas *in vitro* tienen poca o muy poca capacidad fotosintética para elaborar carbohidratos. Por tanto, es necesario proporcionar una fuente exógena (en forma de azúcares) para soportar la demanda de energía requerida para el crecimiento (Al-Khateeb, 2008).

El efecto de la concentración de sacarosa en *L. autumnalis* y *E. cordigera* no se ha estudiado, razón por la cual se incluyen antecedentes de otras especies. Al respecto, Sasamori *et al*. (2015) describen que las plantas de *Cattleya intermedia* tuvieron mayor crecimiento en medio MS al 50 % con 45 a 60 g L^{-1} de sacarosa. En tanto que, De Melo Ferreira *et al*. (2017) indican que 30 g L^{-1} de sacarosa favoreció el crecimiento de plántulas de *Alatioglossum fuscopetalum* de 120 días de edad. Zahara *et al*. (2017) reportan que 20 g L^{-1} de sacarosa fue mejor para crecimiento de plántulas de *Phalaenopsis* híbrida 'Pink'. Por su parte, Rohmah y Taratima (2021) describen que 20 a 35 g L^{-1} de sacarosa generó mayor crecimiento en la propagación *in vitro* de protocormos de *Cymbidium aloifolium* de 12 semanas, y observaron que la concentración óptima varió en función del órgano medido. Biswas *et al*. (2021), señalan que se utilizan 20 a 50 g L^{-1} de sacarosa, como fuente de carbono en los medios de cultivo para multiplicación de orquídeas.

El carbón activado es un material poroso con una gran capacidad de adsorción de compuestos inhibidores en el medio; se ha utilizado para mejorar el crecimiento y el desarrollo celular. Desempeña un papel importante en la micropropagación, la germinación de semillas de orquídeas, la embriogénesis somática, el cultivo de anteras, etc. (Thomas, 2008). El carbón activado puede afectar la absorción de vitaminas, iones metálicos y reguladores del crecimiento; además, tiene la capacidad de retener tanto compuestos inhibidores como promotores del crecimiento y posteriormente liberarlos lentamente; por lo tanto, tiene un efecto positivo o negativo en el desarrollo, dependiendo de la especie (Guson *et al*., 2012). En este sentido, Corbellini *et al*. (2020) reportan que, en las orquídeas, el carbón activado juega un papel importante en el crecimiento de varias especies por que actúa como antioxidante, adsorbente de auxinas y citocininas, exudados de las plantas y metabolitos tóxicos. La concentración requerida puede variar en función de la especie de orquídea y es necesario determinarla.

Baltazar-Bernal *et al*. (2022), evaluaron plántulas de *E. cordigera* en medio MS al 25, 50% y sales completas con (1.5 g) o sin carbón activado y reportaron que las plántulas tuvieron mayor altura (1.47 a 1.53 cm), así como más hojas por brote (0.75 a 1.30), cuando crecieron con carbón activado. No se tienen más antecedentes donde se haya evaluado el efecto del carbón activado en las especies estudiadas en este trabajo de investigación, razón por la cual se incluye información de otras orquídeas. Mercado y Jaimes (2022) usaron 1 g de carbón activado para cultivar *in vitro Cattleya gaskelliana* y *C. warscewiczii*, en tanto que, Sipayung *et al*. (2018) lo estudiaron en concentración de 0, 1.0 y 1.5 g L^{-1} en plántulas de orquídea *Cattleya* de ocho semanas de edad, e indican que el incremento de carbón activado aumentó el número de hojas, número de brotes, longitud de raíces, así como en la altura.

Koene *et al*. (2019) evaluaron diferentes concentraciones de sacarosa (0, 15, 30 y 60 g L^{-1}) y carbón activado (0, 1, 2 y 3 g L^{-1}) en el crecimiento de protocormos y plántulas de *Acianthera prolifera* y reportaron que el carbón activado en el medio de crecimiento estimuló el desarrollo de plántulas. Mora-Cruz *et al*. (2023) cultivaron brotes de *Prosthechea vitellina* en el medio MS y al 50% de la concentración de sales, con y sin carbón activado (0.5 g L^{-1}) y reportaron que la mejor respuesta en el crecimiento de los brotes (2.16 cm) se obtuvo en el medio MS 50 % con 0.5 g L^{-1} de carbón activado. De manera similar, Sipayung *et al*. (2018) evaluaron 0, 1.0 y 1.5 g L^{-1} de carbón activado y BAP en el crecimiento de plántulas de *Cattleya*; e indicaron que con 1.5 g L^{-1} de carbón activado no hubo efecto

en el número de hojas y brotes, durante las primeras 7 semanas; sin embargo, a las ocho semanas, el efecto fue significativo para el número y longitud de raíces, así como para altura de plántulas. Cid y Texeira (2014) señalan que, el carbón activado es adicionado al medio de cultivo en concentración de 2 a 30 g L^{-1}, Paiva Neto *et al*. (2013) reportaron que las plántulas de orquídea *Aspasia variegata* cultivadas en medio MS suplementado con 3 y 6 g L^{-1} de este componente, tuvieron mayor longitud de raíces, parte aérea, número de hojas y raíces.

La mayoría de las orquídeas presentan un periodo juvenil prolongado, una tasa de crecimiento lento y una baja capacidad fotosintética (Zhang *et al*., 2018). Esto ocurre también *in vitro*, aunque de manera menos acentuada; por lo que, para reducir el tiempo de cultivo en el laboratorio y que las plantas estén aptas para salir a aclimatación, es conveniente evaluar componentes del medio de cultivo que puedan acelerar el crecimiento.

Con base en los antecedentes y la importancia de mejorar el crecimiento de plántulas de orquídeas, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de tres concentraciones de sacarosa en combinación con tres de carbón activado en el crecimiento de plántulas de *Laelia autumnalis* y *Encyclia cordigera,* a fin de determinar la concentración que genere mayor crecimiento para cada especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Laboratorio de Propagación Vegetal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México; durante los meses de marzo a diciembre del 2024. Se usaron plántulas de *Laelia autumnalis* y *Encyclia cordigera*, con 1.5 cm de altura y dos hojas pequeñas, provenientes de germinación asimbiótica *in vitro,* cultivadas durante tres meses en medio MS (1962).

Medio de cultivo

Se usaron las sales del medio de Murashige y Skoog (1962), en concentración de 50% para *L. autumnalis* y al 75% para *E. cordigera*, dado que fueron las concentraciones donde las plántulas de cada especie crecieron más en el experimento de germinación, previamente estudiada. Los medios se suplementaron con 0.5 mg L^{-1} de tiamina HCl, 100 mg L^{-1} de mioinositol y tres concentraciones de sacarosa (15, 30 y 45 g L^{-1}), en combinación con carbón activado (0, 1 y 3 g L^{-1}), para promover el crecimiento de las plántulas. El pH de los medios de cultivo se ajustó a 5.7; y se solidificó con agar agar (Hycel®, 7 g L^{-1}). El medio se dosificó en frascos de 235 mL de capacidad, colocando 30 mL de medio de cultivo por cada frasco; se esterilizó en autoclave vertical durante 18 min a 121 °C y 15 lb de presión. Posteriormente, en cada frasco se colocaron 10 plántulas y se establecieron en el área de incubación, con fotoperiodo de 16 h luz y 8 de oscuridad, 24 ± 1 °C e intensidad luminosa de 32 µMol m^{-2} s^{-1}.

Diseño experimental

En cada especie de orquídea se usó un diseño completamente al azar, con arreglo factorial de tratamientos, considerando a la sacarosa en tres niveles (15, 30 y 45 g L^{-1}) y cantidades de carbón activado (0, 1 y 3 g L^{-1}) en tres niveles, bajo un diseño experimental completamente al azar.

Variables evaluadas y análisis estadístico

A los 46 días (*L. autumnalis*) y 81 días (*E. cordigera*) se evaluó la altura de las plantas (mm), desde la base del tallo hasta el ápice de las hojas; longitud de hoja, se midió desde el inicio de la lámina foliar hasta el ápice; longitud de raíces, se midió cada raíz desde la base del tallo hasta el ápice de la raíz y se determinó la longitud promedio, estas tres variables se midieron en mm, con una regla. El número de hojas y número de raíces, se determinaron mediante conteo. El diámetro de protocormo (mm) fue evaluado con Vernier digital (Stanunless Hardened), dado que este órgano es de menor tamaño. Finalmente, la materia seca de la parte aérea y de la raíz (mg) se obtuvo mediante secado en horno (Luzeren, modelo DHG9070A) a 70 °C durante 72 h, y se pesó en una balanza analítica (Ohaus®, Pioneer PA214).

Núm. 61: 221-234 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Los datos obtenidos se estudiaron mediante análisis de varianza, en las variables donde hubo efecto de los tratamientos, se efectuó la prueba de comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$), con el paquete estadístico SAS v. 9.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) y altamente significativas ($P \leq 0.01$) de los niveles de los factores estudiados para la mayoría de las variables de crecimiento en plántulas de *L. autumnalis* y *E. cordigera*. También se detectó efecto significativo de la interacción de la concentración de sacarosa en combinación con carbón activado en todas las características evaluadas en las dos especies (Cuadro 1).

Crecimiento de plántulas de *Laelia autumnalis*

Las variables morfológicas mostraron la influencia de las concentraciones de sacarosa y carbón activado en el crecimiento de plántulas de *L. autumnalis*. La mayor altura se registró en el medio con 45 g L^{-1} de sacarosa y 1 g L^{-1} de carbón activado, estadísticamente igual con las plántulas cultivadas en el medio con 15 y 30 g L^{-1} de sacarosa con 0 y 3 g L^{-1} de carbón activado, respectivamente. En general, se observó que, con 15 g L^{-1} de sacarosa, las plántulas tuvieron menor altura, en comparación con las de los medios que tenían 30 y 45 g L^{-1} de sacarosa (Cuadro 2). La cantidad de hojas por plántula varió de 4 a 6; el mayor número de hojas se registró en el medio con 30 g L^{-1} de sacarosa con 1 y 3 g L^{-1} de carbón activado. Al disminuir la concentración de sacarosa a 15 g L^{-1}, el número de hojas disminuyó significativamente. Por el contrario, la longitud de hoja tuvo mejor resultado en el medio con mayor concentración de sacarosa combinada con 1 y 3 g L^{-1} de carbón activado. Al igual que en número de hojas, al reducir la cantidad de fuente de carbono se observó menor longitud, presentando los valores menores con 15 g L^{-1} del carbohidrato y 3 g L^{-1} de carbón activado. En términos generales, el crecimiento en número y longitud de hoja fue menor con 15 g L^{-1} de sacarosa, con poco efecto de la concentración de carbón activado (Cuadro 2).

El número de raíces promedio por plántula varió de 1.4 a 2.4, el mayor número se obtuvo en los medios que contenían 15 y 45 g L^{-1} de sacarosa con 0 g L^{-1} de carbón activado. No hubo una tendencia clara del efecto del hidrato de carbono en el número de estos órganos. Por el contrario, el aumento en el carbón activado generó menos raíces por plántula. El crecimiento en longitud de raíz varió de 5.8 a 8.6 mm; los valores mayores se tuvieron con 30 g L^{-1} de sacarosa combinada con 1 y 3 g L^{-1} de carbón activado, así como en el medio con 45 g L^{-1} combinada con 1 g L^{-1} de carbón activado. En los medios que contenían 15 g L^{-1} de azúcar con o sin carbón activado, la longitud de raíces fue menor. El crecimiento del sistema radical fue mayor con las dos cantidades más elevadas del azúcar y del carbón activado (Cuadro 2).

Fue evidente el efecto positivo del incremento en la concentración del carbohidrato en el diámetro de protocormo, ya que éste fue superior en el medio con 30 g L^{-1} de sacarosa y 3 g L^{-1} de carbón activado; aunque fue estadísticamente similar que cuando se usó 45 g L^{-1} de este azúcar con 1 y 3 g L^{-1} de carbón activado; por el contrario, cuando se disminuyó la concentración a 15 g L^{-1} de sacarosa sin carbón activado, esta variable presentó el valor más bajo, evidenciando la necesidad del carbohidrato para mayor crecimiento (Cuadro 2).

La materia seca de plántulas varió de 2.69 a 6.57 mg, en el medio con 45 g L^{-1} de sacarosa y 1 g L^{-1} de carbón activado fue donde se presentó el valor más alto, en comparación con los demás tratamientos. Por lo que, los medios que tenían una menor concentración de sacarosa con y sin carbón activado, generaron menor peso de esta parte de la plántula; evidentemente, los menores resultados se tuvieron en las plántulas de los medios con 15 g L^{-1} de sacarosa independientemente de la cantidad de carbón activado (Cuadro 2). De manera similar, la materia seca de las raíces en el medio con 45 g L^{-1} de sacarosa en combinación con 0 y 1 g L^{-1} de carbón activado se presentaron los valores más altos, sin diferencias estadísticas. Al usar menor cantidad de sacarosa se observó el menor peso seco de raíces (Cuadro 2).

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables de crecimiento en plántulas de *L. autumnalis* y *E. cordigera*, por efecto de la combinación de tres concentraciones de sacarosa y carbón activado, respectivamente
Table 1. Mean squares of the analysis of variance of growth variables in seedlings of *L. autumnalis* and *E. cordigera*, by the effect of the combination of three concentrations of sucrose and activated charcoal, respectively

Fuente de variación	G. L	Altura (mm)	Hojas (Núm.)	Longitud de hoja (mm)	Raíces (Núm.)	Longitud de Raíz (mm)	Diámetro de Protocormo (mm)	Materia seca de parte aérea (mg)	Materia seca de raíz (mg)
L. autumnalis									
Tratamientos	8	51.690**	1.45**	4.50**	0.63**	7.16**	0.51**	13.13**	1.87**
Sacarosa (S)	2	78.432**	4.16**	3.35**	0.24**	16.52**	0.65**	44.26**	4.98**
Carbón activado (c.a.)	2	11.036**	0.01 ns	0.71*	0.68**	6.64**	0.61**	1.04**	0.05 ns
S * c.a.	4	58.645**	0.81**	6.97**	0.79**	2.74**	0.39**	3.61**	1.2**
Error	44	1.304	0.052	0.194	0.018	0.085	0.019	0.070	0.071
R^2		0.88	0.84	0.81	0.87	0.94	0.83	0.97	0.83
C.V. (%)		4.03	4.31	3.62	7.14	4.08	5.52	5.88	13.51
E. cordigera									
Tratamientos	8	20.464**	3.35**	203.01**	22.94**	2.84**	3.35**	509.94**	2118.23**
Sacarosa (S)	2	5.53**	0.12 ns	19.93**	48.24**	0.19*	0.07*	310.29**	5343.91**
Carbón activado (c.a.)	2	70.59**	12.23**	740.91**	38.83**	4.86**	11.41**	1379.85**	2802.88**
S * c.a.	4	2.87**	0.53**	25.61**	2.33**	3.15**	0.95**	174.81**	163.07**
Error	79	0.046	0.061	0.206	0.060	0.025	0.021	0.363	4.946
R^2		0.98	0.87	0.99	0.97	0.92	0.94	0.99	0.98
C.V. (%)		5.66	4.72	2.95	4.50	6.90	5.78	4.28	8.14

G.L.: grados de libertad, C.V: coeficiente de variación, R^2: coeficiente de determinación, **: Efecto altamente significativo ($P \leq 0.01$), *: Efecto significativo ($P \leq 0.05$), ns: Efecto no significativo.
G.L.: degrees of freedom, C. V: coefficient of variation, R^2: coefficient of determination, **: Highly significant effect ($P \leq 0.01$), *: Significant effect ($P \leq 0.05$), ns: Not significant effect.

Cuadro 2. Efecto de tres concentraciones de sacarosa y carbón activado, sobre variables de crecimiento en plántulas de *L. autumnalis*
Table 2. Effect of three concentrations of sucrose and activated charcoal on growth variables of *L. autumnalis* seedlings

Sacarosa (g L^{-1})	Carbón activado (g L^{-1})	Altura (mm)	Hojas (Núm.)	Longitud de hoja (mm)	Raíces (Núm.)	Longitud de raíz (mm)	Diámetro de protocormo (mm)	Materia seca parte aérea (mg)	Materia seca de raíz (mg)
15	0	30.04 abc	4.97 efg	12.96 ab	2.20 ab	5.81 d	2.08 d	2.81 d	1.74 cde
15	1	25.57 e	4.73 fg	11.43 ef	2.07 bc	5.81 d	2.57 bc	3.14 d	1.71 cde
15	3	22.33 f	4.63 g	10.67 f	1.43 e	6.44 c	2.40 c	2.69 d	1.33 e
30	0	28.23 cd	5.30 cde	12.40 bcd	1.57 e	6.38 c	2.54 c	4.21 c	1.27 e
30	1	29.68 bc	5.80 ab	11.65 cde	1.64 de	8.11 a	2.12 d	3.81 c	1.69 de
30	3	30.53 ab	6.13 a	12.48 bc	1.97 bc	8.50 a	2.90 a	5.83 b	2.25 bc
45	0	27.47 de	5.60 bc	11.56 de	2.40 a	7.11 b	2.53 bc	5.77 b	2.88 a
45	1	31.97 a	5.43 bcd	13.44 a	1.87 cd	8.63 a	2.78 ab	6.57 a	2.65 ab
45	3	29.77 bc	5.10 def	12.62 ab	1.60 e	7.47 b	2.87 a	5.70 b	2.18 bcd
DMSH ($P \leq 0.05$)		2.17	0.43	0.84	0.25	0.55	0.27	0.51	0.51

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. Medias seguidas de la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$).
DMSH: Minimum Significant Honest Difference. Means followed with the same letter in each column are statistically equal (Tukey, $P \leq 0.05$).

En este estudio, se encontró que 45 g L^{-1} de sacarosa fue apropiado para altura, largo de hoja y de raíces, así como para diámetro de protocormo, indicando que el crecimiento ocurre en mayor grado cuando se dispone de más fuente de carbono asimilable para los tejidos. La sacarosa es el principal proveedor de energía de carbono y participa en la regulación del proceso de desarrollo (Huh *et al*., 2016). Al respecto, Sasamori *et al*. (2015) observaron que en *Cattleya intermedia* la altura de la parte aérea, número de hojas por planta, materia fresca, número de raíces por planta y longitud de la raíz, mostraron mayor desarrollo cuando las plantas estuvieron cultivadas en medio MS al 50 % con 45 a 60 g L^{-1} de sacarosa. De manera similar, Endres *et al*. (2014) evaluaron 10, 30 y 60 g L^{-1} de sacarosa, adicionando 10 g L^{-1} de carbón activado en plántulas de *Anathallis adenochila* y reportaron que la altura de la parte aérea y longitud de raíces fueron mayores en los medios con 30 o 60 g L^{-1} de sacarosa.

Zahara *et al*. (2017) reportaron que el medio MS al 50 % con 20 g L^{-1} de sacarosa, fue óptima para mejorar la altura, número, ancho y longitud de hojas, longitud de raíces, peso freso y seco de plántulas de *Phalaenopsis,* lo que indica que los requerimientos de carbono para el crecimiento de *L. autumnalis* estudiada en esta investigación son diferentes a las orquídeas *Phalaenopsis.* También, De Melo Ferreira *et al*. (2017) evaluaron el efecto de la sacarosa y otros factores sobre la multiplicación y crecimiento de plántulas de 120 días de edad de *Alatiglossum fuscopetalum*, y reportaron la mayor formación de brotes, longitud de raíces y materia seca de raíces con 30 g L^{-1} de sacarosa, evidenciando que la necesidad de carbohidratos varía según la especie.

En general, la sacarosa se emplea principalmente en el cultivo de tejidos vegetales porque tiene alta solubilidad en agua y puede atravesar fácilmente la membrana plasmática (Baskaran & Jayabalan, 2005; Javed & Ikram, 2008). La sacarosa en los medios de cultivo *in vitro* aporta una fuente de carbono, ya que los explantes no son capaces de realizar la fotosíntesis suficiente para sustentarse por sí mismos. Ésta tiene funciones celulares importantes, como producción de energía mediante la respiración, regulación de la estabilidad de la membrana y soportar el proceso de formación de nuevas células en las plantas (Heriansyah, 2019; Karimah *et al*., 2022). Por lo tanto, es indispensable para las plántulas cultivadas *in vitro* debido a la reducida capacidad fotosintética que presentan por la dificultad para obtener carbono de la atmosfera. Por lo que, es crucial proporcionar una fuente exógena de carbono para su crecimiento. Sin embargo, es importante usarla en las concentraciones adecuadas, puesto qué, dosis excesivas pueden causar estrés osmótico (Reyes-Díaz *et al*., 2018). Tanto las dosis altas o bajas pueden tener efectos negativos, ocasionando crecimiento deficiente (Zahara *et al*., 2017). Los resultados mostraron que la adición de carbón activado al medio de cultivo favoreció el crecimiento de materia seca de la parte aérea de plántula, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Lima *et al*. (2024), quienes señalan que en plántulas de *Cyrtopodium cardiochilum,* la curva dosis-respuesta indicó que las concentraciones de 3.0 g L^{-1} de carbón activado y 33 g L^{-1} de sacarosa produjeron la mayor cantidad de materia seca en callos y plántulas. El carbón activado favorece los procesos de crecimiento en las orquídeas (Pedroza-Manrique, 2009), porque mejora el crecimiento y la supervivencia de las plantas *in vitro*, dado que disminuye los compuestos fenólicos, además de tener alta afinidad de adsorción por los compuestos inhibidores y sustancias morfo genéticamente activas o tóxicas no identificadas (Hossain *et al*., 2021).

Crecimiento de plántulas de *Encyclia cordigera*

Los resultados mostraron que las concentraciones de sacarosa y carbón activado afectaron significativamente el crecimiento de plántulas de *E. cordigera*. La mayor altura se obtuvo en el medio con 45 g L^{-1} de sacarosa y 3 g L^{-1} de carbón activado, 34 a 70% más altura que con 15 g L^{-1} de sacarosa. La altura fue mayor conforme se incrementó la cantidad del carbohidrato en el medio. Lo mismo ocurrió con la concentración de carbón activado, de tal modo que las plantas de menor altura fueron las cultivadas sin carbón activado y 15 g L^{-1} de hidratos de carbono (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de tres concentraciones de sacarosa y carbón activado sobre variables de crecimiento en plántulas de *E. cordigera*

Table 3. Effect of three concentrations of sucrose and activated charcoal on growth variables of *E. cordigera* seedlings

Sacarosa (g L^{-1})	Carbón activado (g L^{-1})	Altura (mm)	Hojas (Núm.)	Longitud de hoja (mm)	Raíces (Núm.)	Longitud de raíz (mm)	Diámetro de protocormo (mm)	Materia seca parte aérea (mg)	Materia seca de raíz (mg)
15	0	1.87 f	4.46 d	9.05 f	3.20 f	1.13 g	1.81 de	4.80 h	5.56 f
15	1	4.02 d	5.96 a	16.09 d	4.42 e	2.95 a	2.87 b	12.63 e	19.51 e
15	3	4.37 c	5.56 bc	18.77 b	4.78 d	2.76 ab	2.89 b	14.75 d	20.45 e
30	0	2.40 e	4.66 d	11.19 e	4.56 de	1.88 f	1.95 d	7.93 f	17.35 e
30	1	4.60 bc	5.52 bc	18.39 b	6.04 c	2.54 bc	3.20 a	19.69 b	28.39 cd
30	3	4.48 bc	5.42 c	17.50 c	6.22 c	2.29 de	2.61 c	16.14 c	29.43 c
45	0	1.98 f	4.42 d	9.20 f	4.76 de	2.50 cd	1.71 e	6.81 g	25.69 d
45	1	4.73 b	5.48 bc	17.56 c	7.20 b	2.26 e	2.57 c	16.50 c	46.15 b
45	3	6.06 a	5.78 a	21.54 a	8.02 a	2.40 cde	3.21 a	27.78 a	52.92 a
DMSH ($P \leq 0.05$)		0.31	0.36	0.66	0.36	0.23	0.21	0.87	3.21

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. Medias seguidas de la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH: Minimum Significant Honest Difference. Means followed with the same letter in each column are statistically equal (Tukey, $P \leq 0.05$).

El promedio en número de hojas varió de 4.4 a 5.9, la mayor cantidad se obtuvo en los medios con 15 y 45 g L^{-1} de sacarosa, con 1 y 3 g L^{-1} de carbón activado respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ambos medios de cultivo. Mientras que, la mayor longitud de estos órganos se observó en el medio con 45 g L^{-1} de sacarosa y 3 g L^{-1} de carbón activado. Fue evidente que hubo mayor crecimiento al aumentar la cantidad de azúcar y de carbón activado, ya que las hojas más pequeñas fueron las del medio de cultivo con 15 g L^{-1} de sacarosa, sin carbón activado (Cuadro 3).

El promedio de número de raíces por plántula varió de 3.2 a 8.0, la mayor cantidad se obtuvo en el medio con 45 g L^{-1} de sacaros y 3 g L^{-1} de carbón activado. La cantidad de estos órganos fue mayor al aumentar el carbohidrato y carbón activado en el medio de cultivo, indicando el efecto benéfico de ambos componentes, razón por la que las plantas con menos raíces fueron las del medio con 15 g L^{-1} de azúcar sin carbón activado. Con relación a la longitud de raíz, esta varió de 1.13 a 2.95 cm; los valores más altos se registraron en las plantas cultivadas con 15 g L^{-1} de sacarosa combinada con 1 y 3 g L^{-1} de carbón activado. En tanto que, en el medio con 15 g L^{-1} de sacarosa sin carbón activado se observó el menor tamaño (Cuadro 3).

El crecimiento de los protocormos varió de 1.71 a 3.2 mm de diámetro, los de mayor diámetro fueron los de las plantas cultivadas con mayor concentración de sacarosa combinadas con 1 g L^{-1} de carbón activado. En los medios sin carbón activado las plantas presentaron el menor crecimiento en el diámetro de este tallo (Cuadro 3).

La materia seca de las plántulas tuvo la variación más alta, de 4.8 a 27.7 mg. Las plantas que acumularon la mayor cantidad fueron las que estuvieron en el medio con 45 g L^{-1} de sacarosa y 3 g L^{-1} de carbón activado, superiores a las de los otros ocho medios. Por el contrario, los medios sin carbón activado, independientemente de la cantidad de sacarosa, generaron menor peso de la parte aérea de la plántula (Cuadro 3). La acumulación de materia seca se incrementó conforme aumentó el azúcar en el medio de cultivo; en el caso del carbón activado ocurrió algo similar. También la materia seca de raíces fue mayor en las plantas cultivadas en el medio con 45 g L^{-1} de sacarosa y 3 g L^{-1} de carbón activado y las de menor peso fueron las del medio con 15 g L^{-1} de glúcido y sin carbón activado. La tendencia observada fue que la materia seca de estos órganos aumentó al incrementar la concentración de los dos componentes del medio de cultivo evaluados (Cuadro 3).

Los resultados mostraron que 45 g L^{-1} de sacarosa favoreció el crecimiento de plántulas de *E. cordigera*. Al respecto, Sasamori *et al*. (2015) observaron que en plantas de *Cattleya intermedia,*

la altura de la parte aérea, número de hojas por planta, materia fresca, raíces por planta y longitud de la raíz, tuvieron mayor desarrollo cuando las plantas se cultivaron en medio MS al 50 % con 45 a 60 g L^{-1} de sacarosa. De manera similar, Endres *et al*. (2014) evaluaron 10, 30 y 60 g L^{-1} de sacarosa, adicionando 10 g L^{-1} de carbón activado en plántulas de *Anathallis adenochila* y reportaron que la altura de la parte aérea y longitud de raíces fueron mayores en los medios con 30 o 60 g de sacarosa.

Los resultados anteriores muestran que altas concentraciones de carbohidratos ejercen un efecto positivo en el crecimiento de plántulas de orquídeas. También Rittirat *et al*. (2012) informaron que después de 5 meses de cultivo en medio New Dogaschima, suplementado con 40 g L^{-1} de sacarosa y 2 g L^{-1} de carbón activado se tuvieron los mejores resultados en peso fresco, altura de plántula, longitud de hoja, ancho de hoja, número de raíces y longitud de raíces, en plántulas de *Phalaenopsis*. Los resultados anteriores coinciden con los obtenidos en la presente investigación para *E. cordigera,* en la que los valores más altos para la mayoría de las variables se tuvieron en el medio que contenía 45 g L^{-1} de sacarosa.

El crecimiento de las plantas de orquídeas varía también en función de la parte de la planta (hojas, raíces, tallos/protocormos o brotes) que se evalúa; Rohmah y Taratima (2021), usaron protocormos de *Cymbidium aloifolium* y evaluaron diferentes concentraciones de sacarosa y reportaron que el mayor número de hojas se obtuvo con 20 g L^{-1}, en tanto que, el número de brotes fue mayor con 25 g L^{-1} y la longitud de los brotes fue mayor con 35 g L^{-1} de sacarosa. Lo anterior muestra que el crecimiento de las plantas varía en función de la concentración de sacarosa y de la característica de la orquídea que evalúa. La sacarosa es el producto final de la fotosíntesis y el principal azúcar transportado en el floema, en la mayoría de las plantas; en los tejidos no fotosintéticos, la sacarosa transportada es la materia prima para muchos procesos metabólicos (Stein & Granot, 2019). Los resultados de este estudio mostraron que las concentraciones de sacarosa más altas incrementaron el crecimiento de plantas de ambas especies de orquídeas; dado que los azúcares son sustratos metabólicos que participan en la modulación de varios procesos en las plantas durante diferentes fases del desarrollo (Siddiqui *et al*., 2020); en esta investigación, los esqueletos de carbono probablemente se usaron para producción de materia orgánica como aminoácidos, nucleótidos, carbohidratos estructurales y energía (Stein & Granot, 2019), para los procesos metabólicos necesarios para el crecimiento.

El efecto del carbón activado fue estudiado por Koene *et al*. (2019) quienes utilizaron medio WPM y MS50% y diferentes concentraciones de carbón activado o sacarosa en plántulas de *Acianthera prolifera* y reportaron que los explantes cultivados con carbón activado presentaron mejores resultados que aquellos cultivados en medio sin este componente; no hubo diferencias por efecto de la concentración de carbón activado; sin embargo, recomiendan 1 g de carbón activado para reducir costos. También reportaron que el medio WPM con 60 g L^{-1} de sacarosa generó las raíces más largas, mayor longitud de brotes y mayor masa fresca, en tanto que, en el medio MS50% con 15 g L^{-1} de sacarosa hubo mayor longitud de raíces y masa fresca, estos resultados coinciden con lo obtenido en la longitud de raíces en plántulas de *E. cordigera,* ya que presentaron mayor longitud de órgano con 15 g L^{-1} de sacarosa.

Los resultados que se obtuvieron en esta investigación, mostraron que la adición de carbón activado en el medio de cultivo favoreció el crecimiento y desarrollo de las plántulas de ambas especies de orquídea. El carbón activado en el medio de cultivo puede promover o inhibir el crecimiento *in vitro*, según la especie y el tejido utilizados. Los efectos promotores del carbón activado sobre la morfogénesis pueden deberse principalmente a la adsorción irreversible de compuestos inhibidores en el medio de cultivo y a la disminución sustancial de metabolitos tóxicos y exudados fenólicos. Así como la liberación de sustancias presentes de forma natural en el carbón activado, que promueven el crecimiento, la alteración y el oscurecimiento de los medios de cultivo, la adsorción de vitaminas, reguladores del crecimiento como el ácido abscísico y el etileno (Thomas, 2008; Morales-Rubio *et al*., 2016), producidos por los tejidos *in vitro*; así como la sacarosa y mio-inositol (Morales-Rubio *et al*., 2016), agregados al medio de cultivo.

Se estudio el crecimiento de las plantas de las dos especies, en la etapa previa a la aclimatación; por lo que, es importante señalar que la materia seca acumulada tanto en la parte aérea como en las raíces fueron las características más importantes para definir la combinación de sacarosa y carbón activado que generan mayor crecimiento en cada especie.

CONCLUSIONES

Se concluye que el crecimiento de plántulas de *L. autumnalis*, presentaron los mejores resultados en el medio con 45 g L^{-1} de sacarosa y 1 g L^{-1} de carbón activado, no hubo tendencia clara al aumentar el crecimiento por efecto del incremento de sacarosa y carbón activado. Sin embargo, en plántulas de *E. cordigera* el medio con 45 g L^{-1} de sacarosa y 3 g L^{-1} de carbón activado presentó los mejores resultados para el crecimiento; al aumentar la concentración de ambos componentes del medio de cultivo, hubo mayor crecimiento. El efecto de la combinación de sacarosa con carbón activado fue positivo, dado que este último adsorbe impurezas de la sacarosa como pigmentos y proteínas, dando lugar a una sacarosa más pura y de mejor calidad. Los medios que generaron menor desarrollo de plántulas de *L. autumnalis* y *E. cordigera* fueron aquellos que carecieron de carbón activado.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por el apoyo de beca para estudios de posgrado al primer autor (1318207).

LITERATURA CITADA

Al-Khateeb, A. A. (2008). Regulation of *in vitro* bud formation of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Khanezi by different carbon sources. *Bioresource Technology*, *99*(14), 6550-6555. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.070

Baltazar-Bernal, O., De la Cruz-Martínez, V. M., Ramírez-Mosqueda, M. A., & Zavala-Ruiz, J. (2022). *In vitro* seed germination and acclimatization of *Encyclia cordigera* (Kunth) Dressler. *South African Journal of Botany*, *151*, 578-582. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.10.031

Baskaran, P., & Jayabalan, N. (2005). Role of basal media, carbon sources and growth regulators in micropropagation of *Eclipta alba* – a valuable medicinal herb. *Cuerrent Applied Science and Technology*, *5*(2), 469-482. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.10.031

Biswas, S. S., Singh, D. R., De, L. C., Kalaivanan, N. S., Pal, R., & Janakiram, T. (2021). A comprehensive scenario of orchid nutrition–a review. *Journal of Plant Nutrition, 44*(6), 905-917. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1871758

Cid, L. P. B. & Teixeira, J. B. (2014). *Explante, meio nutritivo, luz e temperatura. Cultivo in vitro de plantas 3 a edição ampliada. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.* www.embrapa.br/fale-conosco/sac

CITES. (2025). Apéndices I, II y III: válidos desde el 7 de febrero de 2025. Disponible en: https://cites.org/sites/default/files/eng/app/2025/E-Appendices-2025-02-07.pdf (consultado el 30 de septiembre de 2025).

Corbellini, J. R., Ribas, L. L. F., de Maia, F. R., Corrêa, D. de O., Noseda, M. D., Suzuki, R. M., & Amano, É. (2020). Effect of microalgae *Messastrum gracile* and *Chlorella vulgaris* on the *in vitro* propagation of orchid *Cattleya labiata*. *Journal of Applied Phycology*, *32*(6), 4013-4027. https://doi.org/10.1007/s10811-020-02251-9

De Melo Ferreira, W., De Vasconcelos, M. C., Silva, C. C. N., De Oliveira, H. R., & Suzuki, R. M. (2017). Asymbiotic germination, multiplication and development of *Alatiglossum*

fuscopetalum (Orchidaceæ) as affected by culture medium, sucrose and growth regulators. *Iheringia - Serie Botánica*, *72*(1), 57-65. https://doi.org/10.21826/2446-8231201772106

DOF. (2019). Diario Oficial de la Federación. Modificación del anexo normativo III, lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, protección ambiental-Especies nativas de México de la flora y fauna silvestre-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, publicada.

Endres Júnior, D., Sasamori, M. H., & Droste, A. (2014). *In vitro* propagation of *Anathallis adenochila* (Loefgr.) F. Barros (Orchidaceae), a species endemic to southern and southeastern Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, *28*(4), 489-494. https://doi.org/10.1590/0102-33062014abb3158

Guson, R. R., De Moraes, C. P., & Ronconi, C. C. (2012). Influência de diferentes concentrações de carvão ativado no crescimento e enraizamento *in vitro* de *Cattleya pumila* Hook. *Revista Em Agronegocio e Meio Ambiente*, *5*(3), 551-563.

Hagsater, E. & Salazar, G. A. (1990). Icones Orchidacearum*. Fascicle I. Orchids of Mexico Part, 1.*

Halbinger, F. & Soto, M. (1997). Laelias of Mexico. Herbario AMO*, Orquídea* (México, DF), *15-160.*

Heriansyah, P. (2019). Multiplikasi embrio somatis tanaman anggrek (*Dendrobium* sp) dengan pemberian kinetin dan sukrosa secara *in-vitro*. *Jurnal Ilmiah Pertanian*, *15*(2), 67-78. https://doi.org/10.31849/jip.v15i2.1974

Hernández-Muñoz, S., Pedraza-Santos, M. E., Morales-García, J. L., Guillén-Andrade, H., López, P. A., & Téllez-Velasco, M. A. A. (2013). Phenotypic characterization of Mexican orchid *Laelia autumnalis*. *Acta Horticulturae*, *977, 254-252*. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.977.28

Hossain, M. M., Kant, R., & Gupta, A. (2021). SERBD Books In vitro culture of commercial flowering Plants: Orchids Chapter 4: Micropropagation of Orchids through leaf culture, 31-65. https://www.researchgate.net/publication/353013532

Huh, Y. S., Lee, J. K., Nam, S. Y., Hong, E. Y., Paek, K. Y., & Son, S. W. (2016). Effects of altering medium strength and sucrose concentration on *in vitro* germination and seedling growth of *Cypripedium macranthos* Sw. *Journal of Plant Biotechnology*, *43*(1), 132-137. https://doi.org/10.5010/JPB.2016.43.1.132

Javed, F., & Ikram, S. (2008). Effect of sucrose induced osmotic stress on callus growth and biochemical aspects of two wheat genotypes. *Pakistan Journal of Botany*, *40*(4), 1487-1495.

Karimah, N., Kusmiyati, F., & Anwar, S. (2022). Pengaruh penggunaan sukrosa dan iba terhadap induksi akar eksplan tunas anggrek (*Dendrobium* sp.) secara *in vitro*. *AGROTEK: Jurnal Ilmiah Ilmu Pertanian*, *5*(1), 34-44. https://doi.org/10.33096/agrotek.v5i1.157

Koene, F. M., Amano, & Ribas, L. L. F. (2019). Asymbiotic seed germination and *in vitro* seedling development of *Acianthera prolifera* (Orchidaceae). *South African Journal of Botany*, *121*, 83-91. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.07.019

Lima, B. V., Santos, A. F., Inokuti, E. M., Guimarães, C. M., Silva, R. V. da, Brito, I. B., & Barreto, R. W. (2024). Cultivo seminífero in vitro de *Cyrtopodium cardiochilum*: influência de concentrações de carvão ativado, sacarose e sais do meio Suprimento (S). *Caderno Pedagógico*, *21*(5), e4050. https://doi.org/10.54033/cadpedv21n5-105

Lunn, J. E., Delorge, I., Figueroa, C. M., Van Dijck, P., & Stitt, M. (2014). Trehalose metabolism in plants. *Plant Journal*, *79*(4), 544-567. https://doi.org/10.1111/tpj.12509

Mercado, S. A. S., & Jaimes, Y. M. O. (2022). Inclusion of organic components in culture medium to improve the *in vitro* propagation of *Cattleya warscewiczii* and *Cattleya gaskelliana*. *South African Journal of Botany*, *148*, 352-359. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.05.002

Mora-Cruz, Y., López-Peralta, M. C. G., Hernández-Meneses, E., & Cruz-Huerta, N. (2023). Regeneración *in vitro* de plantas de *Prosthechea vitellina* (Lindley) W. E. Higging por

organogenesis directa. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *46*(1), 33-40. https://doi.org/10.35196/rfm.2023.1.33

Morales-Rubio, M. E., Espinosa-Leal, C., & Garza-Padrón, R. A. (2016). Cultivo de tejidos vegetales y su aplicación en productos naturales. *Investigación en plantas de importancia médica*, 351-410. https://doi.org/10.3926/oms.315

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/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

Paiva Neto, V. B. de, Campos, G. de O., Boaretto, A. G., Zuffo, M. C. R., Torrezan, M. de A., & Benetão, J. (2013). *In vitro* behaviour of *Aspasia variegata*, an epiphytic orchid from the Brazilian Cerrado. *Ciência Rural*, *43*(12), 2178-2184. https://doi.org/10.1590/s0103-84782013001200010

Pedroza, J. A. (2009). Efecto del carbón activado, ácido indolacético (AIA) y bencil amino purina (BAP) en el desarrollo de protocormos de *Epidendrum elongatum* Jacq bajo condiciones *in vitro*. *Revista Colombiana de Biotecnologia*, *11*(1), 17-32.

Ramírez, M., Niño, S., & Berrío, T. (2016). Anatomía de la raíz de *Encyclia cordigera* (Kunth) Dressler (Orchidaceae). *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, *34*, 58-61.

Reyes-Díaz, J. I., Arzate-Fernández, A. M., & Piña-Escutia, J. L. (2018). Fuentes de sacarosa y nitrógeno orgánico influyen en la embriogénesis somática de *Agave angustifolia*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *9*(7), 1508-1513. https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1676

Rittirat, S., Thammasiri, K., & Te-chato, S. (2012). Effect of media and sucrose concentrations with or without activated charcoal on the plantlet growth of *P. cornu-cervi* (Breda) Blume & Rchb.f. *Journal of Agricultural Technology*, *8*(6), 2077-2087.

Rohmah, K. N., & Taratima, W. (2021). Effective protocol for rapid and mass micropropagation of *Cymbidium aloifolium* (L.) Sw. protocorms using different carbohydrate and plant growth regulator. In *Research Article Science Technology and Engineering Journal 7*(2), 35-46.

Salazar, M. S. A., Amaya N. A. Z., & Barrientos R. F. (2013). Evaluación de diferentes medios de cultivo *in vitro* en el desarrollo de híbridos de *Phalaenopsis* (Orchidaceae). *Revista Colombiana de Biotecnología*, *15*(2), 97-105. https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v15n2.41268

Sasamori, M. H., Endres Júnior, D., & Droste, A. (2015). Asymbiotic culture of *Cattleya intermedia* Graham (Orchidaceae): The influence of macronutrient salts and sucrose concentrations on survival and development of plantlets. *Acta Botanica Brasilica*, *29*(3), 292-298. https://doi.org/10.1590/0102-33062014abb0054

Sedano, G., Manzo, A., Roldán, R., & Castellanos, A. (2015). Propagación *in vitro* de orquídeas y otras ornamentales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *1*, 451-456.

Sharry, S., Adema, M., & Abedini, W. (2015). Plantas de probeta: Manual para la propagación de plantas por cultivo de tejidos *in vitro*. Universidad Nacional de la Plata. Editorial de la Universidad de la plata. 240 p.

Siddiqui, H., Sami, F., & Hayat, S. (2020). Glucose: Sweet or bitter effects in plants-a review on current and future perspective. *Carbohydrate Research*, 487, 107884. https://doi.org/10.1016/j.carres.2019.107884

Sipayung, P., Matanari, J., Lafau, M. B., Sulastri, Y. S., Ginting, B. B., Sihombing, D. R., Pandiangan, M., & Giawa, T. (2018). The effect of activated charcoal dose and benzyl amino purine concentration on the growth of orchid plantlets in murashige and skoog media *in vitro*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *205*(1), 012025. https://doi.org/10.1088/1755-1315/205/1/012025

Stein, O., & Granot, D. (2019). An overview of sucrose synthases in plants. *Frontiers in Plant Science*, *10*(95), 1-14. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00095

Thomas, T. D. (2008). The role of activated charcoal in plant tissue culture. *Biotechnology Advances, 26*(6), 618-631. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.08.003

Recibido:
14/mayo/2025

Aceptado:
28/noviembre/2025

Zahara, M., Datta, A., Boonkorkaew, P., & Mishra, A. (2017). The effects of different media, sucrose concentrations and natural additives on plantlet growth of *Phalaenopsis hybrid* "pink." *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *60*, 1-5. https://doi.org/10.1590/1678-4324-2017160149

Zhang, S., Yang, Y., Li, J., Qin, J., Zhang, W., Huang, W., & Hu, H. (2018). Physiological diversity of orchids. In *Plant Diversity*, *40*(4), 196-208. https://doi.org/10.1016/j.pld.2018.06.003

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

OBSERVACIONES TERRESTRES DE LA FENOLOGÍA ARBÓREA MULTIESPECÍFICA: UNA FORMA DE COMPRENDER MEJOR LAS FECHAS DE TRANSICIÓN DE LAS FENOFASES BAJO ESTRÉS POR SEQUÍA

TERRESTRIAL OBSERVATIONS OF MULTISPECIFIC TREE PHENOLOGY: A WAY TO BETTER UNDERSTAND PHENOPHASE TRANSITION DATES UNDER DROUGHT STRESS

Acosta-Hernández, A.C., E.D. Vivar-Vivar, M. Pompa-García

OBSERVACIONES TERRESTRES DE LA FENOLOGÍA ARBÓREA MULTIESPECÍFICA: UNA FORMA DE COMPRENDER MEJOR LAS FECHAS DE TRANSICIÓN DE LAS FENOFASES BAJO ESTRÉS POR SEQUÍA TERRESTRIAL OBSERVATIONS OF MULTISPECIFIC TREE PHENOLOGY: A WAY TO BETTER UNDERSTAND PHENOPHASE TRANSITION DATES UNDER DROUGHT STRESS

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 235-257 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.14

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Núm. 61: 235-257 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Observaciones terrestres de la fenología arbórea multiespecífica: Una forma de comprender mejor las fechas de transición de las fenofases bajo estrés por sequía

Terrestrial observations of multispecific tree phenology: A way to better understand phenophase transition dates under drought stress

Andrea Cecilia Acosta-Hernández, Eduardo Daniel Vivar-Vivar, Marin Pompa-García

OBSERVACIONES TERRESTRES DE LA FENOLOGÍA ARBÓREA MULTIESPECÍFICA: UNA FORMA DE COMPRENDER MEJOR LAS FECHAS DE TRANSICIÓN DE LAS FENOFASES BAJO ESTRÉS POR SEQUÍA

TERRESTRIAL OBSERVATIONS OF MULTISPECIFIC TREE PHENOLOGY: A WAY TO BETTER UNDERSTAND PHENOPHASE TRANSITION DATES UNDER DROUGHT STRESS

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 235-257. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.14

Andrea Cecilia Acosta-Hernández https://orcid.org/0000-0003-0097-2232
Laboratorio de Dendroecología, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Río Papaloapan y Blvd. Durango, s/n, Col. Valle del Sur, Durango, Durango, 34120, México

Eduardo Daniel Vivar-Vivar https://orcid.org/0000-0002-2052-0404
Laboratorio de Dendroecología, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Río Papaloapan y Blvd. Durango, s/n, Col. Valle del Sur, Durango, Durango, 34120, México.
Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Río Papaloapan y Blvd. Durango, s/n, Col. Valle del Sur, Durango, Durango, 34120, México

Marín Pompa-García / mpgarcia@ujed.mx
https://orcid.org/0000-0001-7156-432X
Laboratorio de Dendroecología, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad Juárez del Estado de Durango
Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Río Papaloapan y Blvd. Durango, s/n, Col. Valle del Sur, Durango, Durango, 34120, México

RESUMEN: Los ecosistemas forestales están modificando su fenología como consecuencia de las variaciones en el clima. Los bosques mixtos han sido considerados estratégicos para lidiar con el cambio climático, por lo que conocer sus procesos fenológicos contribuye a generar información útil para anticipar cambios en la composición de especies ante el calentamiento global. En este estudio describimos mensualmente a lo largo de un año las fenofases de cinco especies coexistentes en un bosque mixto, en una región del norte de México altamente diversa pero susceptible a la sequía. Encontramos diversas fenofases entre coníferas y latifoliadas, comprendidas en reposo, caída de hojas, desarrollo de yemas, elongación del follaje y formación y crecimiento de órganos reproductivos, con sus diferencias temporales entre ellas. La especie *Pinus engelmannii*, tuvo el inicio más temprano de sus fenofases, mientras que *Arbutus bicolor* presentó un inicio tardío, así como una menor duración en sus fenofases con respecto a las otras especies estudiadas. La mayor duración en tiempo en las diferentes fenofases se presentó en *Juniperus deppeana* mientras que *Arbutus bicolor* tuvo periodos más cortos. Aunque se requieren más datos complementarios de clima, así como de acortar la periodicidad de los muestreos, nuestros resultados se interpretan como respuestas a mecanismos fisiológicos que presentan las especies como estrategias de respuesta ante el entorno. Dada la limitación de la temporalidad y el esfuerzo operativo, los resultados no son del todo concluyentes sin embargo constituyen una base esencial para continuar el monitoreo y potenciar el entendimiento de la fenología en los bosques mixtos de cara a los escenarios de sequía pronosticada.
Palabras clave: Fenología; bosques mixtos; *Pinus*; *Quercus*; *Juniperus*; *Arbutus*.

Núm. 61: 235-257 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

ABSTRACT: Forest ecosystems are modifying their phenology as a consequence of climate variability. Mixed forests have been considered strategic to cope with climate change, so knowing their phenological processes contributes to generate useful information to anticipate changes in species composition in the face of global warming. In this study, we describe the phenophases of five coexisting species in a mixed forest in a highly diverse but drought-susceptible region of northern Mexico on a monthly basis over the course of a year. We found several phenophases among conifers and broadleaved trees, including resting, leaf fall, bud development, foliage elongation, and formation and growth of reproductive organs, with their temporal differences among them. The species *Pinus engelmannii* had the earliest onset of its phenophases, while *Arbutus bicolor* had a late onset and shorter phenophases than the other species studied. The longest duration of the different phenophases was observed in *Juniperus deppeana*, while *Arbutus bicolor* had shorter periods. Although more complementary climate data are required, as well as shortening the periodicity of sampling, our results are interpreted as responses to physiological mechanisms presented by the species as strategies to respond to the environment. Given the limitation of time and operational labor, the results are not entirely conclusive, however they constitute an essential basis for further monitoring and to enhance the understanding of phenology in mixed forests in the face of predicted drought scenarios.
Key words: Phenology; mixed forests; *Pinus; Quercus; Juniperus; Arbutus.*

INTRODUCCIÓN

Las modificaciones en el clima están alterando los ecosistemas forestales en el mundo; los cambios en las temperaturas, las variaciones en los patrones de precipitación, el aumento en la ocurrencia de eventos climáticos extremos como sequías y la presencia de incendios, están alterando los regímenes ecológicos (Anderegg *et al.*, 2020; Keenan, 2015). Estos eventos causan una disminución en la productividad forestal lo que puede desencadenar cambios en la composición de especies favoreciendo los procesos de degradación de los ecosistemas (Allen *et al.*, 2015; Molina-Marchan *et al.*, 2024; Morin *et al.*, 2018). A su vez, estas alteraciones disminuyen la capacidad de los bosques para actuar como sumideros de carbono, propiciando el desplazamiento altitudinal y latitudinal de especies en respuesta a nuevas condiciones climáticas (Pecl *et al.*, 2017; Sáenz-Romero *et al.*, 2016). Estos eventos provocan alteraciones en los patrones fenológicos de las especies forestales (Piao *et al.*, 2019), desencadenando una asincronía entre las poblaciones naturales y el clima para el cual están adaptadas afectando la competitividad entre especies, favoreciendo a aquellas con mayor plasticidad fenológica (Vitasse *et al.*, 2018).

El monitoreo de la vegetación es una herramienta clave para comprender los cambios ecológicos a nivel local y global (Pettorelli *et al.*, 2016). Entre las técnicas de monitoreo más valiosas destaca la fenología. La fenología al ser la ciencia que se basa en el estudio de los eventos periódicos que ocurren dentro del ciclo de vida de los seres vivos permite registrar eventos biológicos recurrentes conocidos como fenofases y vincularlos con variables climáticas (Cleland *et al.*, 2007; Tang *et al.*, 2016). Este enfoque ofrece respuestas a los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas forestales, ya que incluso ligeras variaciones en temperatura o precipitación pueden modificar los ciclos fenológicos (Gray & Ewers, 2021).

El monitoreo fenológico en los bosques mixtos ayuda a identificar los cambios presentes en su comportamiento. Estos bosques resultan idóneos ya que se caracterizan por una alta diversidad de especies y una marcada estacionalidad; son especialmente sensibles a variaciones en temperatura y precipitación, lo que afecta la temporalidad de las fenofases (Delpierre *et al.*, 2016; Gray & Ewers, 2021). La observación fenológica permite identificar patrones de adaptación o estrés, ayudando a predecir cambios en la productividad, la regeneración natural y las interacciones ecológicas (Duputié *et al.*, 2015; Pezzini *et al.*, 2014). Además, la información fenológica es esencial para establecer periodos críticos para la conservación de especies sensibles, como las polinizadoras o dispersoras de semillas, cuyas dinámicas pueden verse alteradas por desajustes fenológicos (Flores *et al.*, 2023; Morellato *et al.*, 2016). Dado que los bosques de pino-

encino cumplen funciones clave como la captación de agua, la protección del suelo y el almacenamiento de carbono (Felipe-Lucia *et al.*, 2018), integrar el monitoreo fenológico en su manejo es clave para su conservación a largo plazo.

En este sentido, las coníferas se distinguen por mantener una actividad fisiológica constante a lo largo del año, mostrando una menor dependencia de los cambios estacionales en comparación con las latifoliadas (Rossi *et al.*, 2016). Estas especies, han desarrollado adaptaciones que les permiten conservar agua, resistir bajas temperaturas y mantener la fotosíntesis incluso en condiciones climáticas adversas (Rossi *et al.*, 2016). Por otro lado, las latifoliadas se caracterizan por patrones estacionales marcados que ocurren en respuesta a los cambios en el clima y el ambiente (Körner & Basler, 2010). Estas especies de árboles de hojas anchas suelen presentar un ciclo anual que inicia en primavera y termina en invierno (Silvestro *et al.*, 2025). Este ciclo les permite optimizar los recursos (luz solar y agua), y sincronizarse con la actividad de polinizadores y dispersores, influyendo en su supervivencia y éxito reproductivo (Körner & Basler, 2010; Madrid-Aispuro *et al.*, 2025a).

El análisis de estos patrones fenológicos permite comprender las estrategias adaptativas de las especies frente a las variaciones ambientales, proporcionando el marco necesario para evaluar sus similitudes y/o diferencias dentro del ecosistema. Consecuentemente, el objetivo del presente trabajo fue identificar y describir las fases fenológicas de cinco especies dentro de un bosque de pino-encino de la Sierra Madre Occidental. La hipótesis a probar es que las cinco especies que coexisten en el bosque de pino-encino de la Sierra Madre Occidental presentan fases fenológicas asincrónicas y diferenciadas entre ellas, potencialmente determinadas por sus respuestas ecológicas al entorno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio seleccionada corresponde a un sitio donde convergen ocho especies arbóreas, conocido como Mesa de Pawiranachi, ubicado dentro del municipio de Guachochi, Chihuahua en la Sierra Madre Occidental (Pompa-García *et al.*, 2025), dentro de las coordenadas centrales 107.1114 O y 27.1492 N, a una altitud de 2400 msnm (Figura 1). Este sitio presenta una alta diversidad de especies, el terreno se caracteriza por una pendiente menor del 5% y un clima templado de estacionalidad marcada la cual ha sido documentada en estudios previos (Acosta-Hernández *et al.*, 2024; Silva-Ávila *et al.*, 2025). La vegetación se conforma por bosques jóvenes que incluyen especies de los géneros *Pinus*, *Juniperus*, *Quercus* y *Arbutus* dentro del estrado arbóreo y dentro del estrato herbáceo se encuentran especies de los géneros *Cologania*, *Cyperus*, *Desmodium*, *Trifolium*, *Sporobolus*, *Zuloagaea*, *Eleusine* y *Bouteloua* (Pompa-García *et al.*, 2024). Las especies arbóreas muestreadas fueron *Arbutus bicolor* S. González, M. González & P.D. Sørensen, *Juniperus deppeana* Steud., *Pinus engelmannii* Carrière, *Quercus durifolia* Seemen *y Quercus grisea* Liebm.

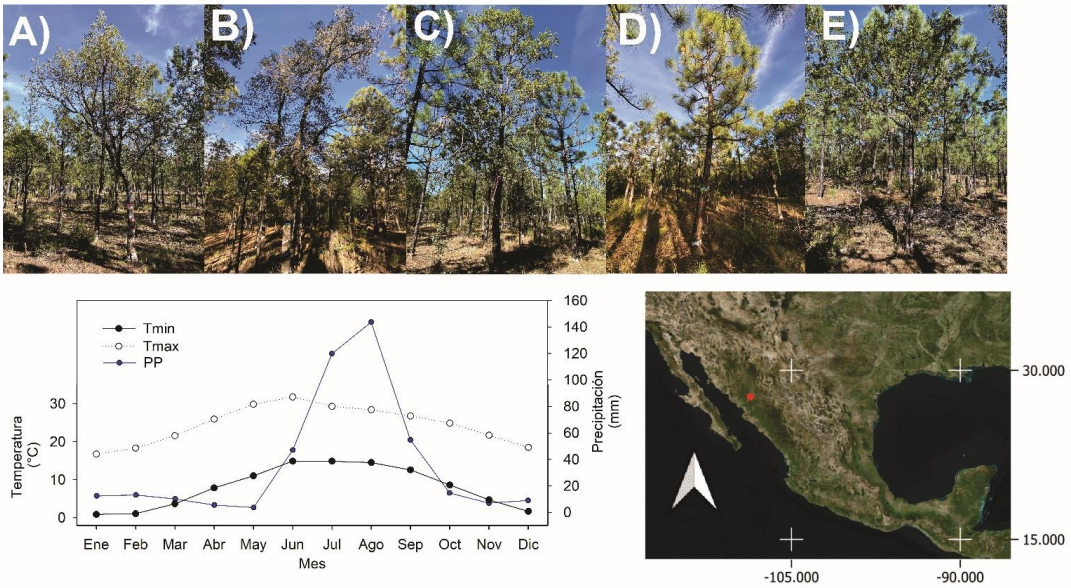


Figura 1. Localización del área de estudio, climograma y especies muestreadas: a) *A. bicolor*, b) *Q. durifolia*, c) *Q. grisea*, d) *P. engelmannii* y e) *J. deppeana.*
Figure 1. Location of the study area, climogram and sampled species: a) *A. bicolor*, b) *Q. durifolia*, c) *Q. grisea*, d) *P. engelmannii* y e) *J. deppeana.*

Muestreo de fenofases

Se muestrearon cinco individuos por especie de acuerdo a lo recomendado por Benavidez et al., (2023), seleccionando árboles bien conformados, sin daños aparentes, y cuyas características dasometricas se mencionan en la Tabla 1. Por un periodo de un año se tomaron fotografías mensuales de una misma ramilla, el periodo abarcó de noviembre de 2023 a octubre de 2024 procurando cubrir el ciclo fenológico anual. Con el fin de tener uniformidad en las fotografías tomadas, se realizaron en la misma dirección y hora del día, buscando preferentemente su exposición al sol. Las fases fenológicas registradas fueron: a) fructificación, b) formación y crecimiento de órganos reproductivos, c) reposo o dormancia, d) caída de hojas, e) desarrollo de yemas apicales y axilares y f) elongación del follaje.

Tabla 1. Características dasométricas de los árboles muestreados.
Table 1. Dasometric characteristics of the sampled trees.

Especie	DN	Sd de DN	AT	Sd de AT
Arbutus bicolor	14.20	4.80	5.70	1.30
Juniperus deppeana	9.86	1.89	4.27	0.27
Pinus engelmannii	23.20	5.18	10.14	1.92
Quercus durifolia	26.12	5.19	11.65	1.20
Quercus grisea	14.20	7.26	7.87	2.92

DN = diámetro a la altura del pecho; AT = altura total y Sd = desviación estándar.

Núm. 61: 235-257 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

RESULTADOS

Las especies muestreadas presentaron comportamientos diferenciados en cuando a sus fases fenológicas (Figura 2). Dentro de las coníferas que comprenden a *P. engelmannii* y *J. deppeana* no fue posible documentar la fase de fructificación, atribuible a que presenta años semilleros, mientras que, en las latifoliadas como *A. bicolor, Q. durifolia* y *Q. grisea* la fase de formación y crecimiento de órganos reproductivos no se pudo observar dentro del muestreo realizado.

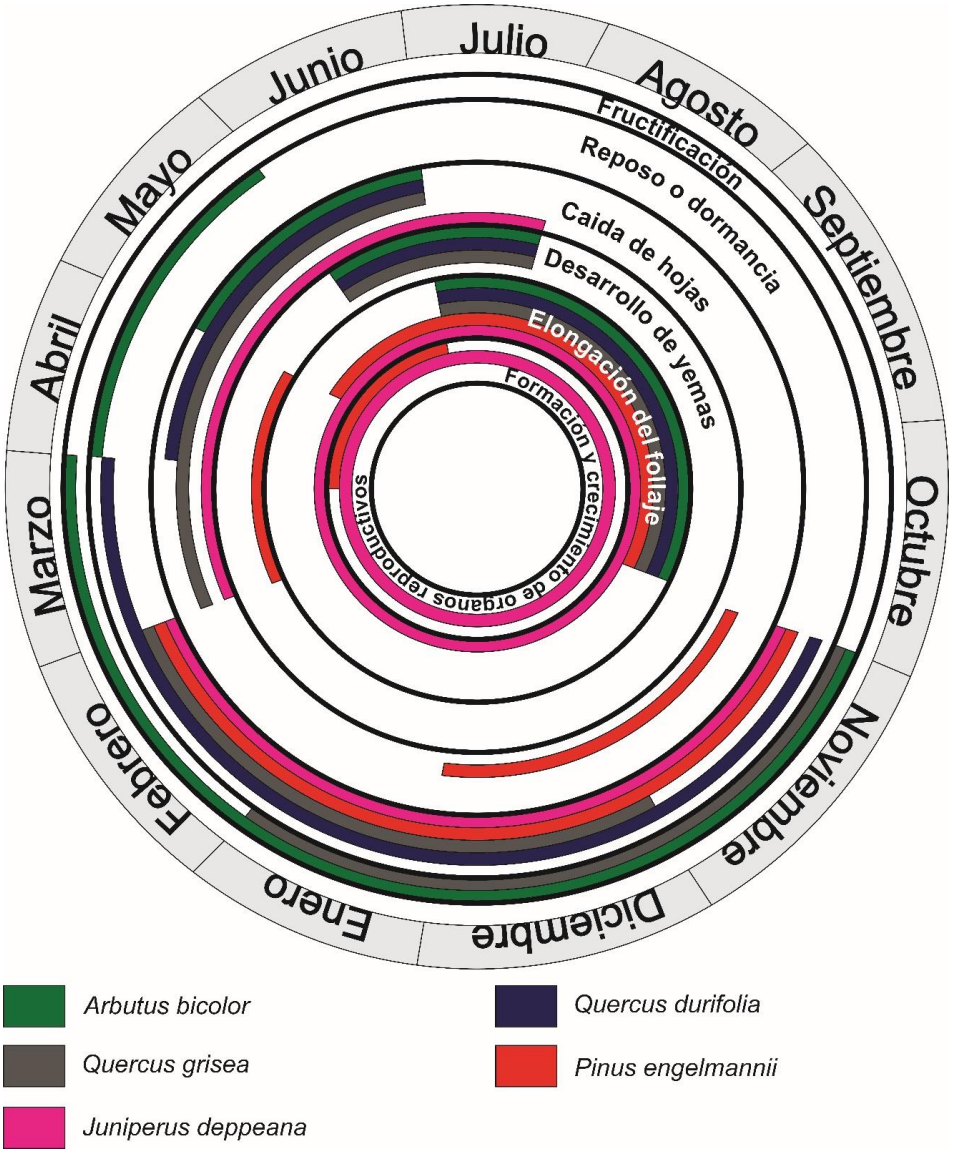


Figura 2. Calendario de fases fenológicas por especies muestreadas.
Figure 2. Phenological phase calendar by sampled species.

Descripción de fases fenológicas por especie
***Arbutus bicolor* S. González, M. González & P.D. Sørensen**
Al inicio del muestreo se pudo identificar a la especie *A. bicolor* dentro de la fase fructificación. En esta fase se encontró el fruto (baya) en algunos de los árboles en proceso de maduración

presentando una coloración de amarillo a naranja con textura rugosa y en otros árboles el fruto en estado maduro, con una tonalidad rojo intenso. Para el caso de las bayas maduras estas se encontraron sobre ramillas exfoliadas, con corteza interna lisa de color rojizo mientras que las que se encontraron en proceso de maduración presentó tonalidad café. Esta coloración la hace atractiva para los animales dispersores, indicando la baya lista para su esparcimiento. El cambio de color es la característica más notoria ligada a la maduración, la transformación más importante es la degradación del color la cual está asociada con la síntesis o desenmascaramiento de pigmentos cuyos colores oscilan entre el amarillo (carotenoides) y el rojo-morado (antocianinas). Este proceso permitió a la baya seguir desarrollándose hasta alcanzar su tamaño final en noviembre, destinando los nutrientes almacenados a los frutos para asegurar una buena maduración. En el periodo de diciembre a marzo se presentó la abscisión del fruto, proceso que se dio una vez que las bayas están completamente maduras. Durante este periodo el árbol fue desprendiéndose gradualmente de los frutos. En estos meses se apreció un cambio de tonalidad en las bayas pasando de un color rojo brillante a amarillo o naranja, perdiendo humedad (Figura 3A y B).

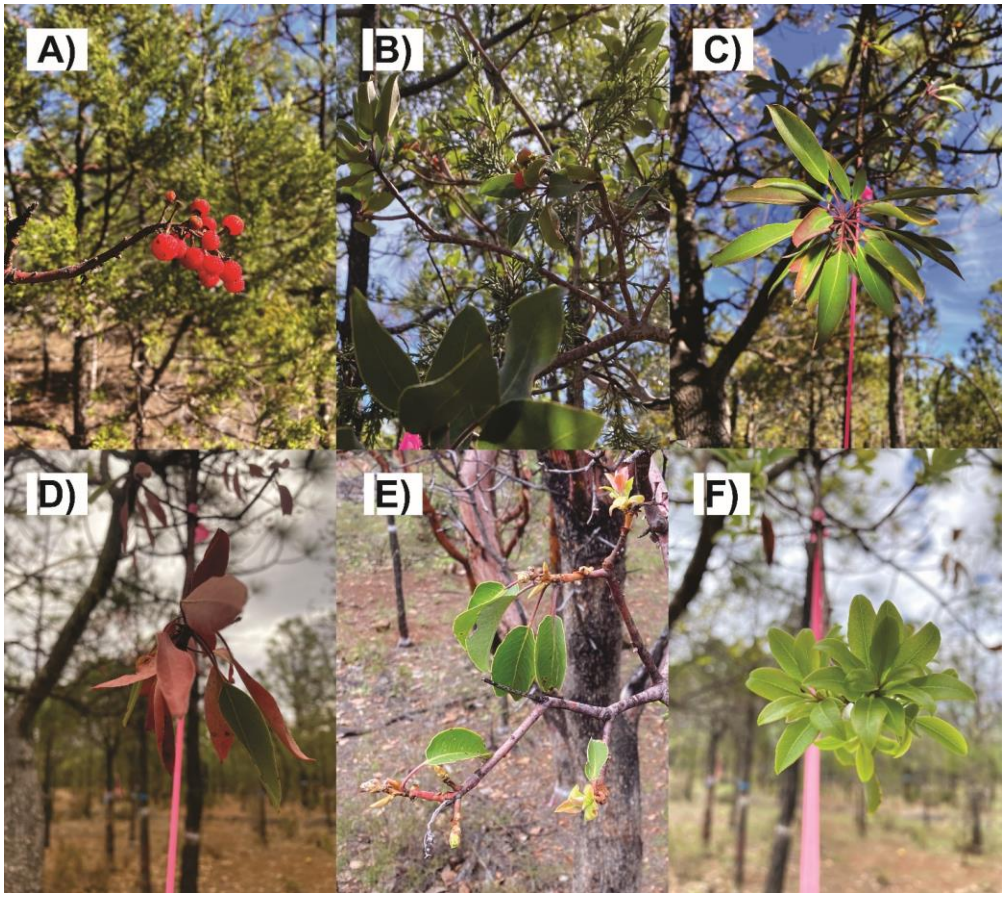


Figura 3. Desarrollo fenológico de *Arbutus bicolor*. A) y B) Fase de fructificación, baya en estado maduro y en proceso de maduración, C) Ramilla en estado de reposo, D) Fase de caída de hojas, E) Desarrollo de yemas y E) Elongación del follaje

Figure 3. Phenological development of *Arbutus bicolor*. A) and B) Fruiting phase, berry in its ripe state and in the process of maturation, C) Twig in its resting state, D) Leaf fall phase, E) Bud development and E) Foliage elongation.

Núm. 61: 235-257 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

En los meses de abril a mayo se presentó la fase de reposo o dormancia, apreciando la disminución en su actividad metabólica significativa (Figura 3C). A principios del mes de mayo se pudo observar que el árbol entro en la fase de caída de hojas conservando unas cuantas al final de la fase, no realizando un crecimiento activo. La coloración de las hojas durante este proceso pasó de un verde intenso en abril a un café o amarillo a lo largo de los meses (Figura 3D).

Con la caída de las primeras lluvias producto de la temporada de verano, la especie entró en un crecimiento activo de sus estructuras. Durante este periodo se presentó la fase de desarrollo de yemas apicales y axilares en las ramillas presentándose a partir del mes de junio (Figura 3E). Durante el mes de julio se presentó un crecimiento visible de desarrollo de hojas producto de las condiciones cálidas y una mayor precipitación estimulando su crecimiento, iniciando la fase de elongación de follaje la cual se prolongó hasta el mes de agosto el árbol continuó con la elongación de las hojas, adquiriendo su forma madura, cambiando de tonalidad a verde oscuro, aumentando su rugosidad en los meses subsecuentes (septiembre-octubre) (Figura 3F).

En el periodo estudiado no se evidencio la ocurrencia de inflorescencias. A pesar de que en el año 2023 se documentó la presencia de frutos para finales de año (noviembre) en el año subsecuente no fue posible vislumbrar dicha fase en los árboles muestreados lo que denota variaciones en los periodos de floración (Figura 4). El año 2023 en los meses previos a la fructificación (agosto-octubre) se caracterizó por presentar temperaturas más altas, mayores temperaturas mínimas y una mayor precipitación que las presentadas en el año 2024.

Núm. 61: 235-257 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

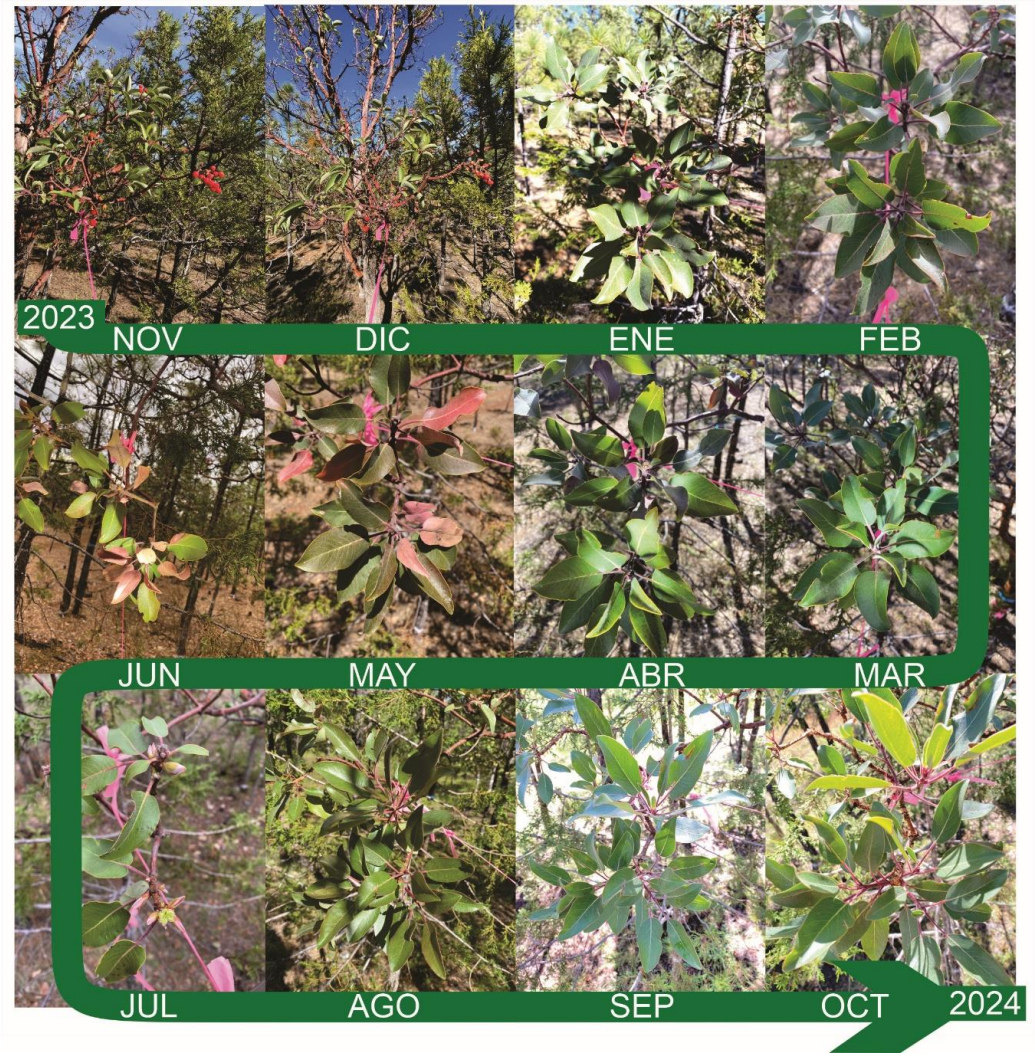


Figura 4. Fases fenológicas de *Arbutus bicolor.*
Figure 4. Phenological phases of *Arbutus bicolor.*

***Quercus durifolia* Seemen.**
Para esta especie al inicio del muestreo en noviembre, los árboles se encontraban en fase dormancia. Durante este periodo las hojas presentaron una tonalidad verde con secciones café, continuando así hasta el mes de febrero-marzo (Figura 5A, Figura 6).

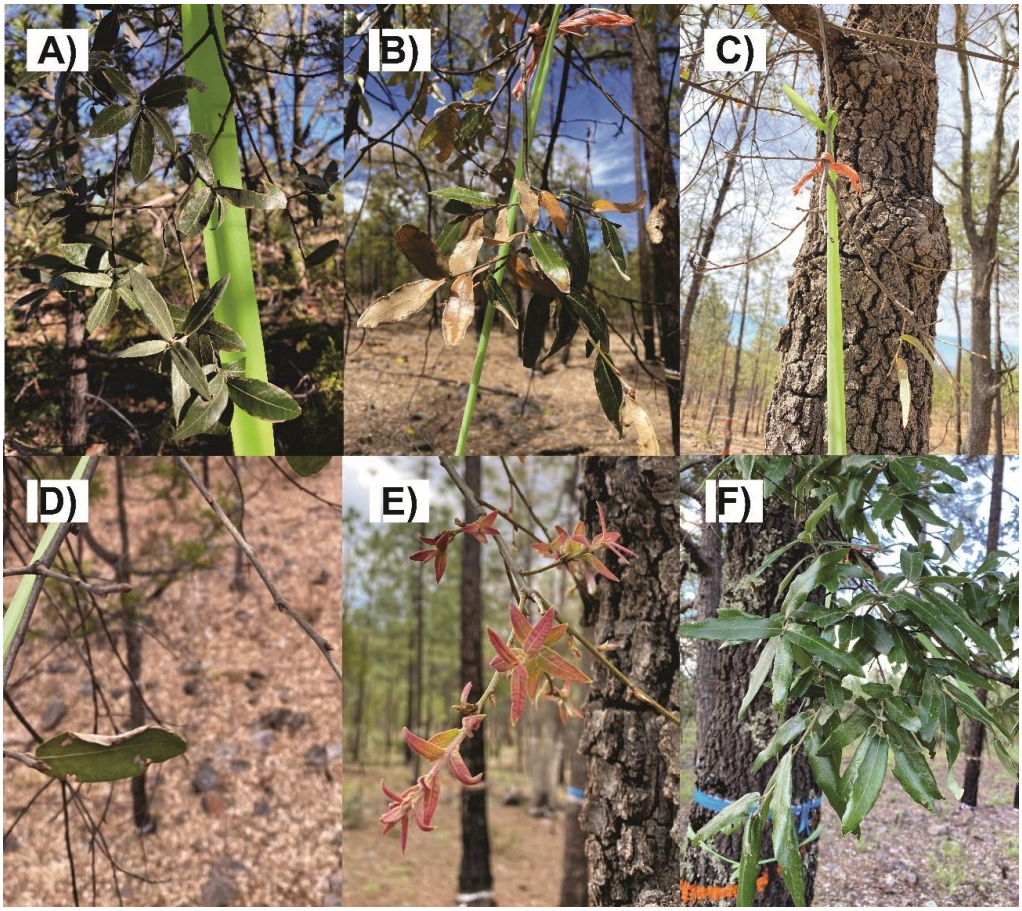


Figura 5. Desarrollo fenológico de *Quercus durifolia*. A) Ramilla en estado de reposo, B) y C) Fase de caída de hojas, D) Desarrollo de yemas, E) y F) Elongación del follaje.
Figure 5. Phenological development of *Quercus durifolia*. A) Twig in dormant state, B) and C) Leaf fall phase, D) Bud development, E) and F) Foliage elongation.

Asumiendo que, con el aumento de las temperaturas en el sitio y la ausencia de precipitación, el árbol entro en la fase de caída de hojas. La caída de hojas en los árboles muestreados se presentó en los meses de abril a junio, desarrollándose de manera gradual hasta obtener un desprendimiento total de las hojas en el mes de junio. Durante este periodo las hojas pasaron por las tonalidades verde, amarillo finalizando en café (Figura 5B y C, Figura 6).

En el mes de junio cuando usualmente llegan las lluvias, la especie inició su crecimiento vegetativo. Esta etapa se caracterizó por el desarrollo de las yemas axilares y apicales en las ramillas apreciando la aparición de nuevos brotes de hojas, que crecieron rápidamente en tonalidades rojizas siendo consistente en todos los árboles muestreados para el mes de julio (Figura 5D, Figura 6).

La fase de elongación de follaje se desarrolló a partir del mes de julio-agosto, proceso en el cual las hojas tuvieron un crecimiento acelerado hasta alcanzar su tamaño final extendiéndose hasta el mes de octubre. Dentro de este periodo las hojas pasaron de tonalidades rojizas a verde, alcanzando su tamaño máximo al final de periodo (Figura 5E y F, Figura 6).



Figura 6. Fases fenológicas de *Quercus durifolia.*
Figure 6. Phenological phases of *Quercus durifolia.*

***Quercus grisea* Liebm.**

Al inicio del muestreo fenológico en noviembre, la especie se encontraba en la fase de fructificación, por lo cual se puede observar el desarrollo de bellotas. Las bellotas encontradas presentaron forma ovoide o cilíndrica de tonalidades verde y café. A lo largo de los meses las bellotas continuaron creciendo hasta alcanzar su tamaño definitivo y madurez. La caída de bellotas marca el final del proceso de fructificación, presentándose en los meses de diciembre a enero, después de su oscurecimiento y engrosamiento de pared (Figura 7A y B, Figura 8).

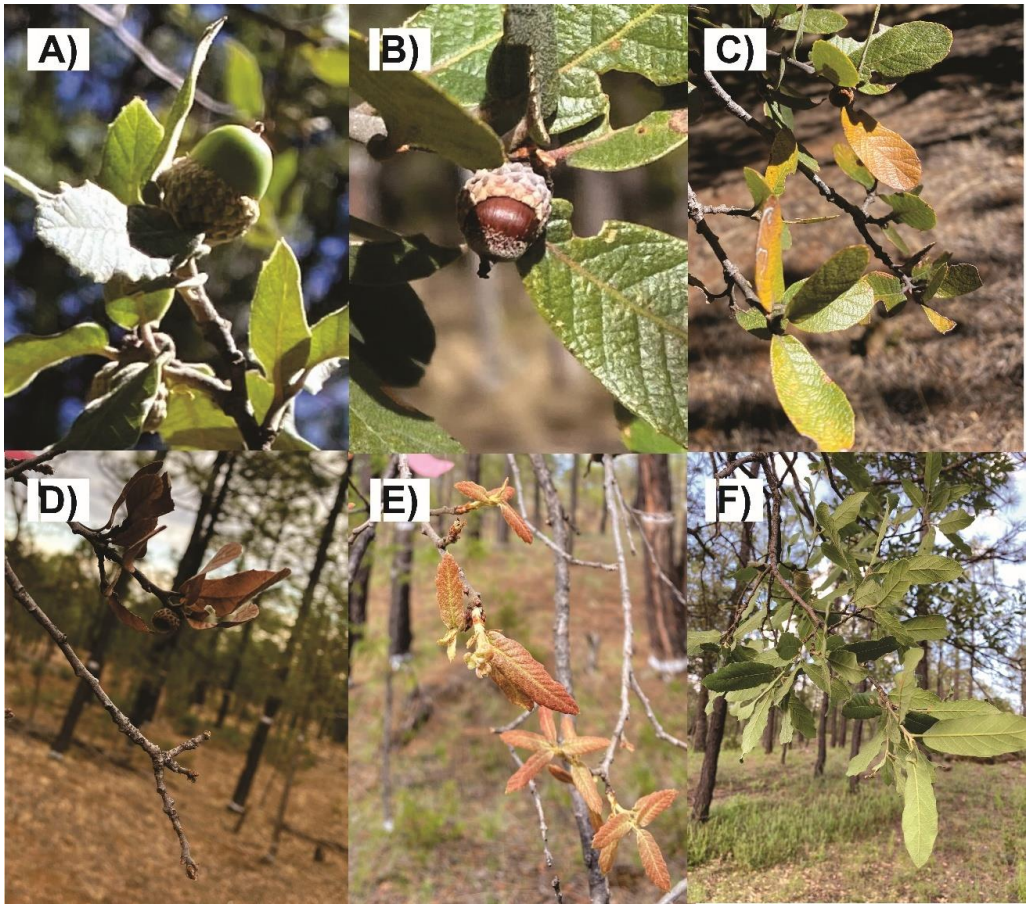


Figura 7. Desarrollo fenológico de *Quercus grisea*. A) y B) Fase de fructificación, baya en proceso de maduración y baya en estado maduro, C) Fase de caída de hojas, D) Desarrollo de yemas, E) y F) Elongación del follaje.
Figure 7. Phenological development of *Quercus grisea*. A) and B) Fruiting phase, berry in the process of ripening and berry in its ripe state, C) Leaf fall phase, D) Bud development, E) and F) Foliage elongation.

Posteriormente el árbol entro en la fase de reposo en los meses de diciembre a febrero. Para el periodo de marzo a mayo los árboles entraron en la fase de caída de hojas. Dentro de este periodo se presentó un cambio de coloración pasando de un verde a amarillo-café. En los árboles donde no se desarrollaron bellotas este proceso se recorrió de mayo a junio (Figura 7C, Figura 8).
En el mes de junio, los árboles reactivaron su crecimiento, entrando en la fase de desarrollo de yemas apicales y axilares que se caracterizó por un crecimiento continuo del árbol. Durante este periodo las yemas axilares y apicales se desarrollaron dando lugar al crecimiento de nuevos brotes a partir de julio. Posterior a ello el árbol entro en la fase de elongación de follaje, en el cual las primeras hojas presentaron una coloración rojiza y continuaron su crecimiento hasta alcanzar un mayor tamaño y coloración verde en el transcurso del mes de agosto llegando a su madurez en septiembre-octubre (Figura 7E, Figura 8).



Figura 8. Fases fenológicas de *Quercus grisea.*
Figure 8. Phenological phases of *Quercus grisea.*

***Pinus engelmannii* Carrière**

Al inicio del muestreo en el mes de noviembre se identificó a la especie en la fase de caída de hojas, desprendiéndose de las acículas más viejas. En este mes se presentó una mayor temperatura acompañado de un poco de precipitación y un bajo déficit de presión de vapor (Figura 9A).

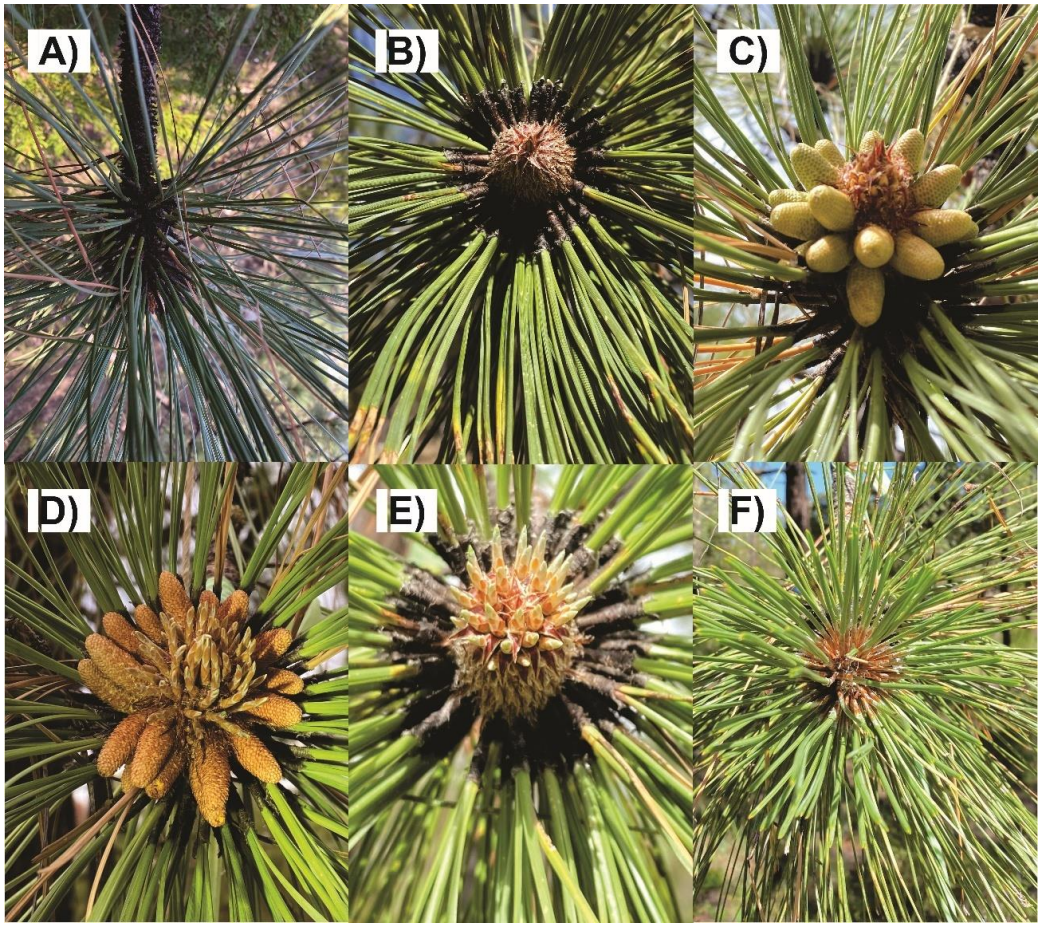


Figura 9. Desarrollo fenológico de *Pinus engelmannii*. A) Fase de caída de hojas, B) Fase de desarrollo de yemas, C) y D) Fase de formación y crecimiento de los órganos reproductivos, E) y F) Fase de elongación del follaje.
Figure 9. Phenological development of *Pinus engelmannii*. A) Leaf fall phase, B) Bud development phase, C) and D) Reproductive organ formation and growth phase, E) and F) Foliage elongation phase.

A partir de noviembre-diciembre se aprecia que el árbol entró en la fase de reposo, la cual se extendió a lo largo del invierno hasta el mes de febrero. Durante esta temporada no se produjo un cambio notorio en la coloración y/o crecimiento de las acículas.

En el mes de marzo cuando se supone aumentan las temperaturas y el fotoperiodo, los árboles comenzaron su crecimiento vegetativo. Durante este mes el árbol entro en la fase de desarrollo de yemas apicales y axilares, se aprecia un notorio crecimiento en las yemas dando origen a nuevas acículas dentro de las ramillas la cual continua hasta los meses de marzo a abril (Figura 9B, Figura 10).

A finales del mes de abril se observó el inicio de la fase de formación y crecimiento de órganos reproductivos, con la presencia de los estróbilos masculinos o de polen. Para el mes de mayo se observaron los estróbilos en el ápice de las ramillas con color verde y de forma redondeada. En los meses subsecuentes se apreció su elongación acelerada y su cambio de tonalidad a color amarillo, producto de la liberación de los granos de polen para el mes de junio. El término de la fase se dio al terminar la liberación de polen, después de lo cual empezó el desprendimiento de los estróbilos (Figura 9C y D, Figura 10).

A partir del mes de mayo se presenta la fase de elongación de follaje, apareciendo nuevos brotes que comienzan a extenderse de la parte final hacia el exterior, lo que genera la aparición de nuevas ramas. A medida que la yema continúa alargándose, comienza a emerger un brote joven con las

primeras acículas para el mes de junio. Finalmente se observó el crecimiento de la copa del pino al alargarse las acículas anteriormente formadas, dando origen a acículas maduras y densas (Figura 9E y F, Figura 10).



Figura 10. Fases fenológicas de *Pinus engelmannii.*
Figure 10. Phenological phases of *Pinus engelmannii.*

***Juniperus deppeana* Steud.**

Al comienzo del muestreo en el mes de noviembre, se apreció a la especie en la fase de dormancia. En este periodo no se observó un crecimiento evidente de los árboles seleccionados, no descartando que esto ocurra en otros individuos.

A partir de marzo es posible apreciar un cambio en la tonalidad en algunas de sus hojas, tornándose de verde a tonos marrones indicando el inicio de la fase de caída de hojas. En algunos árboles esto no se presentó el mismo mes lo cual nos hace suponer que no es una fase tan marcada prolongándose en algunos casos hasta el mes de julio (Figura 11A).

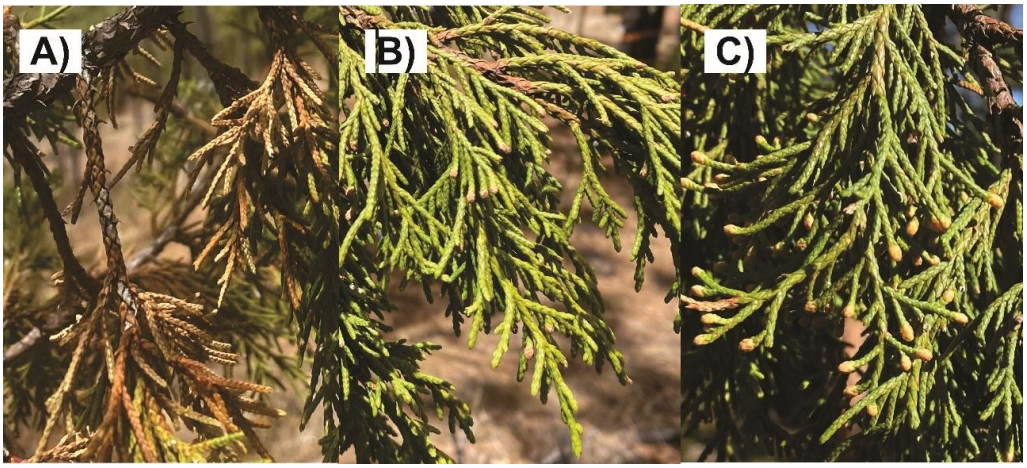


Figura 11. Desarrollo fenológico de *Juniperus deppeana*. A) Fase de caída de hojas, B) Fase de elongación del follaje.y C) Fase de formación y crecimiento de los órganos reproductivos.
Figure 11. Phenological development of *Juniperus deppeana*. A) Leaf fall phase, B) Foliage elongation pase and C) Reproductive organ formation and growth phase.

A lo largo del año se llevó a cabo un crecimiento vegetativo lento pero constante en la fase de elongación de follaje, produciendo durante esta fase sus hojas en forma de escamas. A partir del mes de enero es posible identificar hojas al inicio de forma acicular, rasgo que permite reducir la perdida de agua. Posteriormente se observaron modificaciones hasta convertirse en escamas, anchas y cortas. A medida que crecen dentro de la ramilla es posible identificar los nuevos segmentos gracias a su tonalidad verde claro (Figura 11B).

Durante todo el año de muestreo fue posible identificar la presencia de hojas adulta con conos masculinos inmaduros, los cuales crecieron gradualmente lo cual hace suponer que esta especie tiene una temporalidad amplia dentro de la fase de formación y crecimiento de órganos reproductivos (Figura 11C). También, se identificó zonas secas en las puntas de algunas hojas producto de las condiciones ambientales del sitio. Este año no se observó la presencia de conos femeninos (Figura 12).



Figura 12. Fases fenológicas de *Juniperus deppeana.*
Figure 12. Phenological phases of *Juniperus deppeana.*

DISCUSIÓN

Este es uno de los primeros acercamientos a la fenología de todas las especies. Para *Arbutus bicolor*, la información disponible se centra en su taxonomía y morfología (González-Elizondo *et al.*, 2012a; González-Elizondo *et al.*, 2012b). Se han documentado aspectos relacionados con su floración y fructificación, en otras especies, encontrando variación en la temporalidad de las fases con relación al sitio de estudio. En un estudio realizado por Tovar-Rocha *et al.* (2017) para *Arbutus xalapensis* en Michoacán indicaron que la fase de fructificación se dio de mayo a junio presentándose de manera más temprana a lo reportado por el presente estudio. Estas diferencias en la temporalidad de las fenofases pueden estar influenciadas por variaciones en las condiciones ambientales de los sitios (Cleland, 2010).

Para el caso de *Quercus durifolia* la información disponible aborda el crecimiento, producción de planta en vivero, así como una descripción inicial de su fenología, encontrando ciertas similitudes en las fases reportadas (Madrid-Aispuro *et al.*, 2025a; Madrid-Aispuro *et al.*, 2025b). Dentro de la fase de caída de hojas está se presentó con el aumento de las temperaturas en el sitio

y la ausencia de precipitación, proceso que ayuda a reducir la pérdida de agua por transpiración (Janssen *et al.*, 2021). Durante la fase de elongación foliar, el crecimiento de las hojas está asociado con su actividad meristemática y a la expansión celular promovida por fitohormonas como las auxinas, giberelinas y citoquininas, las cuales regulan la división y el alargamiento de las células del mesófilo (Alcantara-Cortes *et al.*, 2019). En este periodo, la transición de tonalidades rojizas a verdes refleja un cambio fisiológico relevante: la disminución progresiva de antocianinas y el aumento en la síntesis de clorofilas, lo que marca el inicio de una mayor capacidad fotosintética (Taiz *et al.*, 2023). A medida que las hojas alcanzan su tamaño final, se completa la diferenciación de los tejidos fotosintéticos y se optimiza la eficiencia del aparato fotosintético, permitiendo una mayor asimilación de carbono y contribuyendo activamente al crecimiento y metabolismo de la planta (Taiz *et al.*, 2023). Para esta especie no se pudo observar la floración, polinización, el desarrollo de frutos y caída de bellotas dentro del muestreo realizado. La ausencia de eventos reproductivos observada durante el periodo de muestreo puede explicarse por las características fenológicas y fisiológicas propias del género *Quercus*. Diversas especies de encinos presentan una fructificación masiva intermitente o masting (Sork, 1993), fenómeno en el cual la producción de flores y frutos ocurre con periodicidad variable y depende de condiciones climáticas favorables, disponibilidad de recursos y señales hormonales internas (Koenig *et al.*, 2015). En años no reproductivos, los árboles suelen destinar la mayor parte de sus reservas energéticas al crecimiento vegetativo y a la formación de estructuras perennes, en lugar de invertir en procesos reproductivos costosos como la floración o el desarrollo de bellotas. En *Q. durifolia*, esta estrategia fisiológica permite optimizar el uso de recursos en ambientes estacionales o limitantes, asegurando una reproducción más eficiente en años subsecuentes con condiciones ambientales óptimas.

En *Q. grisea*, la información fenológica aborda únicamente la floración y maduración de sus frutos (Valencia-Ávalos *et al.*, 2020). La fase de fructificación solo pudo ser documentada para *Q. grisea*, lo cual puede deberse a la alta longevidad que presenta el género *Quercus*, que influye en el tiempo de su etapa reproductiva que se presenta en el intervalo de los 3 a 50 años. Sin embargo, el periodo de fructificación de *Q. grisea*, fue coincidente con lo reportado por Valencia-Ávalos *et al.* (2020) en un estudio realizado para diferentes especies de *Quercus* cuyo periodo de fructificación es de junio a diciembre el cual incluso puede extenderse hasta el año siguiente dependiendo de la especie. En la fase de fructificación, las variaciones en la coloración de las bellotas reflejan las diferentes etapas del proceso de maduración y acumulación de reservas. Durante esta fase, se produce el traslado y almacenamiento de compuestos orgánicos desde las hojas hacia los frutos, lo que permite el almacenamiento progresivo de almidones, lípidos y proteínas, esenciales para el desarrollo embrionario y la posterior germinación de la semilla (Bonner & Vozzo, 1987; Pulido & Díaz, 2005). La coloración verde inicial de las bellotas está asociada a la presencia de clorofilas activas, las cuales disminuyen conforme avanza la maduración y se acumulan taninos y compuestos fenólicos, responsables de los tonos pardos y grises característicos del fruto maduro (Espelta *et al.*, 2008). Este proceso fisiológico está fuertemente influido por factores abióticos como la temperatura y la humedad, así como por la disponibilidad de recursos que determinan la eficiencia en la síntesis y transporte de metabolitos hacia los frutos, afectando finalmente la viabilidad y éxito germinativo de las bellotas de *Q. grisea*.

Con respecto a *Pinus engelmannii* los estudios se han centrado principalmente en su desarrollo vegetativo, reproductivo y en la influencia de factores ambientales sobre su crecimiento y calidad de planta (García-Pérez *et al.*, 2015; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2000). Los resultados de inicio de crecimiento vegetativo caracterizado por el desarrollo de yemas apicales y axilares son coincidentes con lo reportado por Rodríguez-Laguna *et al.* (2000) para un estudio realizado en el Estado de México. En *P. engelmannii* con el desarrollo de yemas apicales y axilares, las paredes celulares de las células se relajaron y expandieron, lo que permitió su alargamiento. En el caso de las coníferas su estrategia de crecimiento continuo y lento, favorece la supervivencia en ambientes fríos o de baja disponibilidad hídrica, asegurando su persistencia y éxito ecológico en ecosistemas boreales y de alta montaña (Rossi *et al.*, 2016).

Núm. 61: 235-257 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

La investigación sobre las fases fenológicas de *Juniperus deppeana* ha sido limitada, pero existen estudios que abordan aspectos relacionados con su ecología, genética y manejo (Adams *et al.*, 2007; Herrerías-Mier & Nieto de Pascual Pola, 2020). También se han documentado aspectos relacionados a su fructificación y diseminación indicando periodos que abarcan de septiembre a marzo (Martínez *et al.*, 2007). Las acículas en los *Juniperus* están dispuestas de manera que ofrecen una alta superficie para la fotosíntesis, pero con una estructura adaptada a la conservación del agua, lo que es crucial en su hábitat natural y los convierte en una especie tolerante a condiciones de sequía (Rzendowski y Huerta., 1978). Esta característica se relaciona directamente con la fase de crecimiento, en esta etapa la eficiencia en el uso del agua y la persistencia del follaje permiten a la especie sostener su metabolismo básico y prepararse para las fases reproductivas posteriores (Williams *et al.*, 2010). Existen grandes retos en cuanto a su estudio dado que se cuenta con información limitada.

De manera general, las especies del sitio presentaron un estado de reposo durante el invierno. En estos meses de disminución en su actividad los árboles conservan su energía y agua, el crecimiento de algunas especies se ralentiza significativamente como mecanismo de defensa, ya que los árboles disminuyen su actividad metabólica (Alcantara-Cortes *et al.*, 2019; Valladares *et al.*, 2004).

Posteriormente la estación seca en el sitio de estudio propició la caída de hojas de los árboles forestales derivado del estrés hídrico que provoca en las plantas (Hsiao, 1973). Durante la estación seca, la disponibilidad de agua en el suelo disminuye considerablemente, lo que afecta el transporte de agua desde las raíces hasta las hojas (Valladares *et al.*, 2004). *P. engelmannii* se desprendió de las acículas más viejas lo cual forma parte de su ciclo de vida. Por otro lado, *J. deppeana* no pierde sus hojas anualmente como otras especies caducifolias como *Arbutus* o *Quercus*, esta especie puede experimentar caída de algunas ramas o hojas que se secan, especialmente si la planta está sometida a estrés ambiental, producto de un factor externo.

En la mayoría de las especies se observó que la tasa de crecimiento vegetativo es más rápida durante los meses de verano. Durante este período, la planta también expande su copa y sus raíces, aprovechando las precipitaciones y las temperaturas moderadas que favorecen el crecimiento (Fritts, 1976; Ryan, 2010). Dentro de esta fase el aumento de la temperatura estimula la reanudación del metabolismo celular mientras que el fotoperíodo favorece la activación de las yemas. Por otro lado, el crecimiento y elongación de las mismas se encuentran regulados por las auxinas, que son cruciales para la elongación celular (Cleland, 2010).

No obstante, a los resultados obtenidos en este trabajo, encontramos que implícitamente existen algunas limitaciones que deben tomarse en cuenta para futuras investigaciones. En primer lugar, la temporalidad de los muestreos debiera reducirse para detallar mejor las fenofases, así como extender el periodo de monitoreo. Algunas de ellas presentaron cambios notorios en el lapso de un mes por lo cual refinar el muestreo acortando los tiempos resulta fundamental, incluyendo el diseño de un esquema de muestreo representativo (Zhang *et al.*, 2003). De igual forma, la observación de todas sus fenofases se llevaría a cabo si ampliáramos el muestreo por un par de años. En segundo lugar, y como consecuencia de lo anterior, es conveniente un análisis de costos, ya que los muestreos extendidos a mayor temporalidad suelen incrementar sus alcances científicos, dado que algunas especies requieren más de un año para completar sus ciclos (Valencia-Ávalos *et al.*, 2020). El uso de nuevas herramientas de monitoreo como las cámaras fenológicas son de gran importancia en estudios ecológicos ya que permiten monitorear los cambios en la vegetación a lo largo del tiempo y observar el desarrollo de la vegetación en tiempo casi real (Brown *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio confirmaron la importancia del monitoreo fenológico para comprender el comportamiento de las especies al interior de las comunidades. El estudio fenológico de especies coexistentes en un bosque mixto del norte de México evidencía

variabilidad en su temporalidad y duración de las fenofases atribuida a mecanismos funcionales específicos en respuesta al ambiente. En particular, *Pinus engelmannii*, con un inicio temprano en sus fenofases, mientras que en *Arbutus bicolor* fueron aletargadas e incluso ausentes como en *Juniperus deppeana* y *Quercus grisea.* Estas diferencias fenológicas proporcionan información fundamental para predecir las posibles modificaciones en la composición y el funcionamiento de los bosques mixtos frente a los cambios físicos. En conjunto, los resultados refuerzan la importancia de la fenología como herramienta para comprender y prever las respuestas de los ecosistemas forestales frente a las crecientes amenazas del cambio climático, especialmente en regiones biodiversas y vulnerables como el norte de México. Estudios posteriores deberían centrarse en un monitore más refinado temporalmente y estructurado por edades, incluyendo el análisis de la suficiencia muestral.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada por medio de la convocatoria “Estancias Posdoctorales por México 2023”. Así mismo, se agradece al laboratorio de Dendroecología de la FCFyA por el apoyo de https://dendrored.ujed.mx/ en la fase de colección de datos y escritura del manuscrito. Se reconoce el arbitraje de revisores anónimos para mejorar el manuscrito.

LITERATURA CITADA

Acosta-Hernández, A. C., Pompa-García, M., Martínez-Rivas, J. A., & Vivar-Vivar, E. D. (2024). Cutting the Greenness Index into 12 monthly slices: How intra-annual NDVI dynamics help decipher drought responses in mixed forest tree species. *Remote Sensing*, *16*(2), 389.

Adams, R. P., Schwarzbach, A. E., Nguyen, S., & Morris, J. A. (2007). Geographic variation in *Juniperus deppeana*. *Phytologia*, *89*(2), 132–150.

Alcantara-Cortes, J. S., Acero-Godoy, J., Alcántara-Cortés, J. D., & Sánchez-Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *NOVA*, *17*(32), 109–129.

Allen, C. D., Breshears, D. D., & McDowell, N. G. (2015). On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, *6*(8), 1–55. https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1

Anderegg, W. R. L., Trugman, A. T., Badgley, G., Anderson, C. M., Bartuska, A., Ciais, P., Cullenward, D., Field, C. B., Freeman, J., Goetz, S. J., Hicke, J. A., Huntzinger, D., Jackson, R. B., Nickerson, J., Pacala, S., & Randerson, J. T. (2020). Climate-driven risks to the climate mitigation potential of forests. *Science*, *368*(6497), eaaz7005. https://doi.org/10.1126/science.aaz7005

Benavidez, A., Tallei, E., & Schaaf, A. (2023). Reproductive phenology of timber tree species in the Yungas Piedmont Forest of Argentina. *Darwiniana, nueva serie*, *11*(1), 427-449.

Bonner, F. T., & Vozzo, J. A. (1987). *Seed biology and technology of Quercus*. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, General Technical Report SO-66.

Brown, T. B., Hultine, K. R., Steltzer, H., Denny, E. G., Denslow, M. W., Granados, J., Henderson, S., Moore, D., Nagai, S., SanClements, M., Sánchez-Azofeifa, A., Sonnentag, O., Tazik, D., & Richardson, A. D. (2016). Using phenocams to monitor our changing Earth: toward a global phenocam network. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *14*(2), 84–93. https://doi.org/10.1002/fee.1222

Cleland, E. E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H. A., & Schwartz, M. D. (2007). Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology and Evolution*, *22*(7), 357–365. https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.04.003

Cleland, R. E. (2010). Auxin and Cell Elongation. En P. J. Davies (Ed.), *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!* (3a ed., pp. 204–220). Springer Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2686-7_10

Delpierre, N., Vitasse, Y., Chuine, I., Guillemot, J., Bazot, S., Rutishauser, T., & Rathgeber, C. B. K. (2016). Temperate and boreal forest tree phenology: from organ-scale processes to terrestrial ecosystem models. *Annals of Forest Science*, *73*, 5–25. https://doi.org/10.1007/s13595-015-0477-6

Duputié, A., Rutschmann, A., Ronce, O., & Chuine, I. (2015). Phenological plasticity will not help all species adapt to climate change. *Global Change Biology*, *21*(8), 3062–3073. https://doi.org/10.1111/gcb.12914

Espelta, J. M., Cortés, P., Molowny-Horas, R., Sánchez-Humanes, B., & Retana, J. (2008). Masting mediated by summer drought reduces acorn predation in Mediterranean oak forests. *Ecology*, *89*(3), 805-817.

Felipe-Lucia, M. R., Soliveres, S., Penone, C., Manning, P., van der Plas, F., Boch, S., Prati, D., Ammer, C., Schall, P., Gossner, M. M., Bauhus, J., Buscot, F., Blaser, S., Blüthgen, N., de Frutos, A., Ehbrecht, M., Frank, K., Goldmann, K., Hänsel, F., Allan, E. (2018). Multiple forest attributes underpin the supply of multiple ecosystem services. *Nature Communications*, *9*, 4839. https://doi.org/10.1038/s41467-018-07082-4

Flores, S., Forister, M. L., Sulbaran, H., Díaz, R., & Dyer, L. A. (2023). Extreme drought disrupts plant phenology: Insights from 35 years of cloud forest data in Venezuela. *Ecology*, *104*(5), e4012. https://doi.org/10.1002/ecy.4012

Fritts, H. C. (1976). *Tree Rings and Climate*. Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-268450-0.X5001-0

García-Pérez, J. L., Aldrete, A., López-Upton, J., Vargas-Hernández, J. J., & Prieto-Ruíz, J. Á. (2015). Efecto de la condición ambiental y la fertilización en el preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *38*(3), 297–304.

González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., & Sørensen, P. D. (2012a). *Arbutus bicolor* (Ericaceae, Arbuteae), a new species from Mexico. *Acta Botánica Mexicana*, *99*, 55–72. https://doi.org/10.21829/abm99.2012.19

González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., & López-Enríquez, I. L. (2012b). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: Una síntesis. *Acta Botánica Mexicana*, *100*, 351–403. https://doi.org/10.21829/abm100.2012.40

Gray, R. E. J., & Ewers, R. M. (2021). Monitoring forest phenology in a changing world. *Forests*, *12*(3), 297. https://doi.org/10.3390/f12030297

Herrerías-Mier, L. G., & Nieto de Pascual Pola, C. del C. (2020). Structural and demographic characteristics of *Juniperus deppeana* Steud. In two locations in Tlaxcala State. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *11*(61). https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.618

Hsiao, T. C. (1973). Plant Responses to Water Stress. *Annual Review of Plant Physiology*, *24*, 519–570. https://doi.org/10.1146/annurev.pp.24.060173.002511

Janssen, T., Van Der Velde, Y., Hofhansl, F., Luyssaert, S., Naudts, K., Driessen, B. & Dolman, H. (2021). Drought effects on leaf fall, leaf flushing and stem growth in the Amazon forest: reconciling remote sensing data and field observations. *Biogeosciences*, *18*(14), 4445-4472.

Keenan, R. J. (2015). Climate change impacts and adaptation in forest management: a review. *Annals of Forest Science*, *72*, 145–167. https://doi.org/10.1007/s13595-014-0446-5

Koenig, W.D., Knops, J.M., Carmen, W.J., & Pearse, I. S. (2015). What drives masting? The phenological synchrony hypothesis. *Ecology*, *96*(1), 184-192.

Körner, C., & Basler, D. (2010). Phenology under global warming. *Science*, *327*(5972), 1461-1462.

Madrid-Aispuro, R. E., Cordova-Saucedo, M. D., Prieto-Ruíz, J. Á., Aldrete, A., Salcido-Ruiz, S., & Pérez-Luna, A. (2025a). Crecimiento de *Quercus durifolia* Seemen en sustratos con turba, corteza, aserrín y fertilizante de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *16*(88), 74–97. https://doi.org/10.29298/rmcf.v16i88.1526

Madrid-Aispuro, R.E., J.A. Prieto-Ruíz, A. Aldrete, S. Salcido-Ruiz, E.D. Vivar-Vivar, L.E. Martínez-Nevárez (2025b). Descripción inicial de la fenología de *Quercus durifolia* Seemen ex Loes. árbol endémico de la Sierra Madre Occidental. *POLIBOTÁNICA*, (60).

Martínez, A. J., Sainos, P., Lezama Delgado, E., & Angeles-Álvarez, G. (2007). El tamaño sí importa: los frutos grandes de *Juniperus deppeana* Steud. (sabino) son más susceptibles a depredación por insectos. *Madera y Bosques*, *13*(2), 65–81. https://doi.org/10.21829/myb.2007.1321229

Molina-Marchan, E., Narváez-Flores, R., & Mojica-Guerrero, A. S. (2024). Estructura horizontal y diversidad de los bosques de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco en México. *Polibotánica*, *0*(57), 63–80. https://doi.org/10.18387/polibotanica.57.4

Morellato, L. P. C., Alberton, B., Alvarado, S. T., Borges, B., Buisson, E., Camargo, M. G. G., Cancian, L. F., Carstensen, D. W., Escobar, D. F. E., Leite, P. T. P., Mendoza, I., Rocha, N. M. W. B., Soares, N. C., Silva, T. S. F., Staggemeier, V. G., Streher, A. S., Vargas, B. C., & Peres, C. A. (2016). Linking plant phenology to conservation biology. *Biological Conservation*, *195*, 60–72. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.033

Morin, X., Fahse, L., Jactel, H., Scherer-Lorenzen, M., García-Valdés, R., & Bugmann, H. (2018). Long-term response of forest productivity to climate change is mostly driven by change in tree species composition. *Scientific Reports*, *8*, 5627. https://doi.org/10.1038/s41598-018-23763-y

Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I. C., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evengård, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., Garcia, R. A., Griffis, R. B., Hobday, A. J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M. A., Jennings, S., Lenoir, J., Linnetved, H. I., Martin, V. Y., McCormack, P. C., McDonald, J., Mitchell, N. J., Mustonen, T., Pandolfi, J. M., Pettorelli, N., Popova, E., Robinson, S. A., Scheffers, B. R., Shaw, J. D., Sorte, C. J. B., Strugnell, J. M., Sunday, J. M., Tuanmu, M. N., Vergés, A., Villanueva, C., Wernberg, T., Wapstra, E., & Williams, S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, *355*(6332). https://doi.org/10.1126/science.aai9214

Pettorelli, N., Wegmann, M., Skidmore, A., Mücher, S., Dawson, T. P., Fernandez, M., Lucas, R., Schaepman, M. E., Wang, T., O'Connor, B., Jongman, R. H. G., Kempeneers, P., Sonnenschein, R., Leidner, A. K., Böhm, M., He, K. S., Nagendra, H., Dubois, G., Fatoyinbo, T., Geller, G. N. (2016). Framing the concept of satellite remote sensing essential biodiversity variables: challenges and future directions. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, *2*(3), 122–131. https://doi.org/10.1002/rse2.15

Pezzini, F. F., Ranieri, B. D., Brandão, D. O., Fernandes, G. W., Quesada, M., Espírito-Santo, M. M., & Jacobi, C. M. (2014). Changes in tree phenology along natural regeneration in a seasonally dry tropical forest. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, *148*(5), 965–974. https://doi.org/10.1080/11263504.2013.877530

Piao, S., Liu, Q., Chen, A., Janssens, I. A., Fu, Y., Dai, J., Liu, L., Lian, X., Shen, M., & Zhu, X. (2019). Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. *Global Change Biology*, *25*(6), 1922–1940. https://doi.org/10.1111/gcb.14619

Pompa-García, M., Romero-Rocha, S., Martínez-Rivas, J. A., Vivar-Vivar, E. D., Rodríguez-Flores, F. D. J., & Yerena-Yamallel, J. I. (2024). Kawí Tamiruyé: A permanent research forest plot in the Sierra Tarahumara. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *15*(86), 123-143.

Pompa-García, M., Camarero, J. J., Valeriano, C., & Vivar-Vivar, E. D. (2025). Variable growth responses of four tree species to climate and drought in a Madrean pine-oak forest. *Forest Ecosystems*, *12*, 100292. https://doi.org/10.1016/j.fecs.2025.100292

Pulido, F. J., & Díaz, M. (2005). Regeneration of a Mediterranean oak: a whole-cycle approach. *Ecoscience*, *12*(1), 92-102.

Rodríguez-Laguna, R., Vargas-Hernández, J. J., Cetina-Alcalá, V. M., Ramírez-Herrera, C., & Escalante-Estrada, J. A. (2000). Variación en el patrón de alargamiento del brote

Recibido:
18/mayo/2025

Aceptado:
1/diciembre/2025

terminal en diferentes procedencias de *Pinus engelmannii* Carr. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *85*(87), 77–103.

Rossi, S., Anfodillo, T., Čufar, K., Cuny, H. E., Deslauriers, A., Fonti, P., & Treml, V. (2016). Pattern of xylem phenology in conifers of cold ecosystems at the Northern Hemisphere. *Global Change Biology*, *22*(11), 3804-3813.

Ryan, M. G. (2010). Editorial: Temperature and tree growth. *Tree Physiology*, *30*(6), 667–668. https://doi.org/10.1093/treephys/tpq033

Rzedowski, J., & Huerta, L. (1978). vegetación de México (Vol. 432). México: Editorial Limusa.

Sáenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R. A., Joyce, D. G., Beaulieu, J., St Clair, J. B., & Jaquish, B. C. (2016). Assisted migration of forest populations for adapting trees to climate change. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, *22*(3), 303-323.

Silva-Ávila, N., Pompa-García, M., & Martínez-Rivas, J. A. (2025). Kawí Tamiruyé: un acceso universal al conocimiento del bosque. Una revisión documental. Naturaleza y Sociedad. *Desafíos Medioambientales*, (11), 60-75.

Silvestro, R., Deslauriers, A., Prislan, P., Rademacher, T., Rezaie, N., Richardson, A. D., & Rossi, S. (2025). From Roots to Leaves: Tree Growth Phenology in Forest Ecosystems. *Current Forestry Reports*, *11*(1), 12.

Sork, V. L. (1993). Evolutionary ecology of mast-seeding in temperate and tropical oaks (*Quercus* spp.). Vegetatio, 107(1), 133-147.

Taiz, L., Møller, I. M., Murphy, A., & Zeiger, E. (2023). Plant Physiology and Development. En *Plant Physiology and Development*. https://doi.org/10.1093/hesc/9780197614204.001.0001

Tang, J., Körner, C., Muraoka, H., Piao, S., Shen, M., Thackeray, S. J., & Yang, X. (2016). Emerging opportunities and challenges in phenology: A review. *Ecosphere*, *7*(8), e01436. https://doi.org/10.1002/ecs2.1436

Tovar-Rocha, V., Rocha-Granados, M. del C., & Delgado-Valerio, P. (2017). Influencia de la maduración del fruto de *Arbutus xalapensis* Kunth sobre la germinación de semillas y embriones cigóticos. *Polibotánica*, *37*(19), 79–92.

Valencia-Avalos, S., Coombes, A. J., Rodríguez-Acosta, M., Parra-Suárez, A., Morales-Sandoval, P., Bassuk, N., González-Rodríguez, A., Llanderal-Mendoza, J., Alvarez-Clare, S., Beckman, E., Carrero, C., Paist, S., & Westwood, M. (2020). *Manual para la propagación de Quercus: una guía fácil y rápida para cultivar encinos en México y América Central* (M. Rodríguez-Acosta & A. J. Coombes, Eds.; 1a ed.). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Valladares, F., Vilagrosa, A., Peñuelas, J., Ogaya, R., Camarero, J. J., Corcuera, L., Sisó, S., & Gil-Pelegrín, E. (2004). Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. En F. Valladares (Ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (2a ed., pp. 163–190). Ministerio de Medio Ambiente.

Vitasse, Y., Schneider, L., Rixen, C., Christen, D., & Rebetez, M. (2018). Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades. *Agricultural and Forest Meteorology*, *248*, 60–69. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.09.005

Zhang, X., Friedl, M. A., Schaaf, C. B., Strahler, A. H., Hodges, J. C. F., Gao, F., Reed, B. C., & Huete, A. (2003). Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, *84*(3), 471–475. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00135-9

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

EFECTO DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES SOBRE LA SUPERVIVENCIA Y EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE *Dalbergia congestiflora* PROPAGADAS *in vitro* Y POR SEMILLA EN CONDICIONES DE INVERNADERO

EFFECT OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI ON THE SURVIVAL AND GROWTH OF *Dalbergia congestiflora* PLANTS PROPAGATED *in vitro* AND FROM SEED UNDER GREENHOUSE CONDITIONS

Ambriz, E., C.J. Alvarado López, Y. López Antonio, H.J. Barrales Cureño, R. Salgado Garciglia, A. Hernández García

EFECTO DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES SOBRE LA SUPERVIVENCIA Y EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE *Dalbergia congestiflora* PROPAGADAS *in vitro* Y POR SEMILLA EN CONDICIONES DE INVERNADERO
EFFECT OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI ON THE SURVIVAL AND GROWTH OF *Dalbergia congestiflora* PLANTS PROPAGATED *in vitro* AND FROM SEED UNDER GREENHOUSE CONDITIONS

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 259-271 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.15

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Efecto de hongos micorrízicos arbusculares sobre la supervivencia y el crecimiento de plantas de *Dalbergia congestiflora* propagadas *in vitro* y por semilla en condiciones de invernadero

Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the survival and growth of *Dalbergia congestiflora* plants propagated *in vitro* and from seed under greenhouse conditions

Enrique Ambriz https://orcid.org/0000-0003-1513-5760
Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Ave. Francisco J. Múgica s/n. Morelia, Michoacán. México

Carlos Juan Alvarado-López https://orcid.org/0000-0001-7442-8171
Instituto Tecnológico de Conkal. Av. Tecnológico s/n. Conkal, Yucatán, México

Yoshira López-Antonio
Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Ave. Francisco J. Múgica s/n. Morelia, Michoacán. México

Hebert Jair Barrales-Cureño https://orcid.org/0000-0002-8431-2102
Rafael Salgado-Garciglia https://orcid.org/0000-0001-5920-6562
Alejandra Hernández-García / alejandra.hernandez@umich.mx
https://orcid.org/0000-0001-8353-0266
Instituto de Investigaciones Químico Biológicas.
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
Ave. Francisco J. Múgica s/n. Morelia, Michoacán. México.

RESUMEN: Las especies de árboles en estatus de riesgo, como *Dalbergia congestiflora* Pittier (Fabaceae), presentan una baja calidad de crecimiento y desarrollo, lo que dificulta su supervivencia en invernadero y campo. Para mitigar esto, se utilizan estrategias como la fertilización y la adición de microorganismos benéficos, destacando los hongos micorrízicos arbusculares (HMA). El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la adición de HMA sobre la supervivencia, crecimiento y desarrollo de plantas de *D. congestiflora* cultivadas en invernadero, utilizando dos métodos de propagación (plantas micropropagadas y propagadas por semillas). A partir de brotes multiplicados *in vitro* provenientes de callos, se obtuvieron plántulas micropropagadas, aclimatadas con éxito y posteriormente cultivadas en invernadero. Las plantas propagadas por semillas, se desarrollaron a partir de la germinación en cajas Petri con papel filtro húmedo y después fueron cultivadas en invernadero. En ambos casos, las plantas se inocularon con un producto comercial de HMA, utilizando tres concentraciones de esporas/planta (80, 128 y 176) y un tratamiento control (0 esporas) (n=6), evaluando parámetros de supervivencia, altura, diámetro de tallo, número de foliolos y área foliar, durante 180 días. La inoculación con esporas tuvo efectos variables según el tipo de propagación de la planta, la supervivencia de las plantas micropropagadas y obtenidas por semilla fue mayor ($p<0.05$) en los tratamientos de inoculación, en comparación con el tratamiento control. En plantas micropropagadas, la inoculación no afectó la altura ni el diámetro del tallo, pero con la inoculación de 128 y 176 esporas, resultaron en una mayor área foliar a los 180 días ($p<0.05$). En plantas propagadas por semilla, con las tres concentraciones de inoculación, se obtuvo un incremento en la altura y el diámetro del tallo a los 180 días ($p<0.05$). En estas plantas, con 176 esporas también se aumentó significativamente el número de foliolos ($p<0.05$), y con 80 y 128 esporas, se produjo la mayor área foliar a los 180 días ($p<0.05$). En general, las plantas inoculadas propagadas por semilla mostraron los valores más altos en todas las variables evaluadas en comparación con las plantas micropropagadas.

Enrique Ambriz, Carlos Juan Alvarado López, Yoshira López Antonio, Hebert Jair Barrales Cureño, Rafael Salgado Garciglia, Alejandra Hernández García

EFECTO DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES SOBRE LA SUPERVIVENCIA Y EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE *Dalbergia congestiflora* PROPAGADAS *in vitro* Y POR SEMILLA EN CONDICIONES DE INVERNADERO

EFFECT OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI ON THE SURVIVAL AND GROWTH OF *Dalbergia congestiflora* PLANTS PROPAGATED *in vitro* AND FROM SEED UNDER GREENHOUSE CONDITIONS

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 259-271. Enero 2026

DOI:
10.18387/polibotanica.61.15

Palabras clave: Campincerán, calidad de planta, micorrizas, propagación.

ABSTRACT: Endangered tree species, such as *Dalbergia congestiflora* Pittier (Fabaceae), have a low quality of growth and development, which makes it difficult for them to survive in greenhouses and fields. To mitigate this, strategies such as fertilization and the addition of beneficial microorganisms are used, highlighting arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). The objective of the present research was to determine the effect of the addition of AMF on the survival, growth and development of greenhouse-grown *D. congestiflora* plants, using two propagation methods (micropropagated and seed-propagated plants). From shoots multiplied *in vitro* from callus, micropropagated plantlets were obtained, successfully acclimatized and subsequently grown in greenhouse. The seed-propagated plants were developed from germination in Petri dishes with wet filter paper and then grown in greenhouse. In both cases, the plants were inoculated with a commercial AMF product, using three concentrations of spores/plant (80, 128 and 176) and a control treatment (0 spores) (n=6), evaluating growth parameters such as survival, plant height, stem diameter, number of leaflets and leaf area, during 180 days. Inoculation with spores had variable effects depending on the type of plant propagation, the survival of micropropagated and seed-obtained plants was higher ($p<0.05$) in inoculation treatments, compared to the control treatment. In micropropagated plants, inoculation did not affect stem height or diameter, but with inoculation of 128 and 176 spores, they resulted in a larger leaf area at 180 days ($p<0.05$). In seed-propagated plants, with the three inoculation concentrations, an increase in plant height and stem diameter was obtained at 180 days ($p<0.05$). In these plants, with 176 spores, the number of leaflets was also significantly increased ($p<0.05$), and with 80 and 128 spores, the largest leaf area was produced at 180 days ($p<0.05$). Overall, seed-propagated inoculated plants showed the highest values in all evaluated variables compared to micropropagated plants.

Key Words: Campincerán, plant quality, mycorrhizae, propagation.

INTRODUCCIÓN

El género *Dalbergia* agrupa especies maderables de gran valor comercial. El incremento en la demanda de madera de estas especies ha generado la reducción de las poblaciones y esta situación se ha agravado debido a que de manera natural se distribuyen de forma agregada (Barboza Nogueira *et al.*, 2014). La disminución del número de árboles potencialmente productivos genera baja producción de semillas y bajo reclutamiento, aunado a que estas especies presentan baja capacidad de dispersión de semillas (Barboza Nogueira *et al.*, 2014). A pesar de estas dificultades, la propagación de *Dalbergia congestiflora* es prometedora ya que se ha reportado hasta un 90 % de germinación (Casillas-Sánchez, 2014) y se tiene un protocolo de propagación *in vitro* (Hernández-García *et al.*, 2021). Sin embargo, tanto las plantas propagadas por semilla como por micropropagación, no cuentan con características morfológicas adecuadas para soportar las condiciones de estrés en campo. Por lo tanto, se requiere generar estrategias para incrementar el crecimiento de las plantas de *D. congestiflora* y asegurar su supervivencia durante su cultivo.

Las estrategias para incrementar el vigor de las plantas son a través del abono y de la fertilización, el uso de bioestimulantes, el tipo de sustrato, el tipo de contenedor, el riego y el drenaje, el control de factores como el pH, la temperatura y luz, así como con la inoculación de microorganismos (Yakhin *et al.*, 2017; Patel *et al.*, 2023). Una dosis de fertilización alta genera plantas con mayor diámetro de tallo y altura (Watkinson *et al.*, 2022; Paz *et al.*, 2023). Además, las plantas crecidas en contenedores profundos y con el sustrato adecuado producen raíces de mayor longitud, y como consecuencia el diámetro de tallo y la altura también se incrementan (Bernaola-Paucar *et al.*, 2022; El Haddadi *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2023), por lo que estas prácticas en vivero mejoran el crecimiento. Por otra parte, la combinación de fertilización y hongos micorrízicos arbusculares (HMA) da como resultado una mayor calidad de planta a través del diámetro de tallo y de la altura de la planta (Ruiz *et al.*, 2021).

La supervivencia de las plantas en campo, ya sea propagadas por semilla o micropropagadas, varía de acuerdo con la especie vegetal. En plantas de *Dalbergia retusa* propagadas por semillas,

se presentó un 75% de supervivencia después de diez años de haber realizado la plantación (López-Barreto, 2015). Para *D. congestiflora* se tienen datos de 27% de supervivencia (Márquez-Torres & Martínez-Garza, 2022), cuyo valor se ha clasificado como bajo. La supervivencia de plantas micropropagadas bajo condiciones de campo ha sido reportada entre 7.5 y 22% (Salama *et al.*, 2017; Mežaka *et al.*, 2023). La supervivencia puede aumentar hasta un 81% y depende de la estructura morfológica de las plantas micropropagadas, tallos altamente lignificados y mayor cantidad de ramas laterales (Pogorzelec *et al.*, 2014). Los HMA contribuyen en el aumento del vigor o calidad de las plantas propagadas *in vitro* durante su cultivo en invernadero y con ello se incrementan las posibilidades de supervivencia en condiciones de campo. Lo anterior, debido a que los HMA ayudan a disminuir el estrés causado durante el trasplante y la aclimatación, mejorando de manera significativa la absorción de nutrientes y agua (Roveda *et al.*, 2012; El Kinany *et al.*, 2019; Ancona *et al.*, 2021; Gómez-Falcón *et al.*, 2023; Mortier *et al.*, 2023). Efectos positivos sobre la altura y el diámetro de tallo se han observado en diversas especies de plantas micropropagadas micorrizadas en comparación con las no micorrizadas (El Kinany *et al.*, 2019; Gómez-Falcón *et al.*, 2023) y en plantas propagadas por semilla en especies del género *Dalbergia* (Niranjan *et al.*, 2007; Bisht *et al.*, 2009; Mirdhe & Lakshman, 2009; Saravanan *et al.*, 2013; Bhardwaj *et al.*, 2023). Por lo tanto, la hipótesis de este trabajo fue que las plantas de *D. congestiflora* tanto propagadas por semillas como micropropagadas, incrementan su supervivencia y crecimiento con la inoculación de HMA. Por lo que, el objetivo fue evaluar el crecimiento de plantas de *D. congestiflora* propagadas por semilla y micropropagadas, inoculadas con un producto comercial de HMA. Las variables evaluadas fueron supervivencia, diámetro de tallo, altura de la planta, número de foliolos y área foliar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las plantas micropropagadas de *D. congestiflora* se obtuvieron a partir de callos cultivados en medio Murashige y Skoog (MS) (Murashige & Skoog, 1962) con 1.5 mg L^{-1} de benciladenina (BA) y 0.5 mg L^{-1} de ácido naftalenacético (ANA), establecidos a partir de yemas axilares de plántulas micropropagadas (Hernández-García *et al.*, 2021), y mantenidos en condiciones de cuarto de cultivo en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Para lograr la formación de brotes, se cultivaron segmentos de callos de 0.5 cm de diámetro, de 30 días de cultivo, en medio MS con 1.0 mg L^{-1} BA y 0.1 mg L^{-1} ANA, con 8 g L^{-1} de agar bacteriológico (Bioxon®, México) y 30 g L^{-1} de sacarosa (Bioxon®, México) (Hernández-García *et al.*, 2021). Posteriormente se mantuvieron en un cuarto de cultivo a 25 °C y un fotoperiodo de 16 horas de luz con una intensidad de 36 µmol m^{-2} s^{-1}, por lámparas de luz blanca fluorescente. Los brotes se desarrollaron después de 30 días y se colocaron en medio MS ½ con 2.5 mg L^{-1} de ácido idol-3-butírico (AIB) con 20 g L^{-1} de sacarosa y mantenidos en las condiciones antes mencionadas, hasta la formación de plántulas (Hernández García *et al.*, 2016). Para ambos medios, los reguladores de crecimiento, vitaminas y sales minerales, fueron de la marca Sigma-Aldrich® México.

Las plántulas se mantuvieron bajo cultivo *in vitro* por 30 días por considerarlas aptas para el trasplante y aclimatación, ya que presentaron una altura de 4 cm en promedio, con 5 raíces con una longitud promedio de 2 cm (Figura 1A). Éstas se trasplantaron y se cultivaron en condiciones de aclimatación durante 30 días en cámara húmeda a 80% de humedad relativa, de acuerdo con lo reportado por Hernández-García *et al.* (2021). Posteriormente se cultivaron en bolsas de plástico de 1 kg conteniendo sustrato de una mezcla de materia orgánica (Vigoro®) con agrolita en una proporción de 1:1, esterilizado dos veces en condiciones de presión a 14 lb $pulg^{-2}$ durante 30 min (Figura 1B). El pH del sustrato después de la esterilización fue de 5.3.

Las semillas de *D. congestiflora* fueron donadas por el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera (UMSNH) y fueron recolectadas de 15 individuos en la localidad de Carácuaro Michoacán México (18°59′17.17″N, 101°6′18.56″W).

La germinación se realizó en cajas Petri con papel filtro húmedo y se mantuvieron en oscuridad en condiciones de cuarto de cultivo (25 °C), hasta la aparición de la radícula (Figura 1C). Después de 30 días de la germinación, las plantas fueron cultivadas en el mismo sustrato de cultivo utilizado para las plantas micropropagadas (Figura 1D). Para la experimentación, se utilizaron plantas de ambos sistemas de propagación, con una altura promedio de 4 cm de altura y fueron mantenidas en condiciones semicontroladas de invernadero, a una temperatura promedio de 25 °C, humedad relativa de 80%, sin control de las horas luz, utilizando una malla-sombra del 70%. El riego del sustrato fue cada tercer día con agua corriente, hasta quedar completamente húmedo durante todo el experimento.

Las plantas provenientes de semilla y micropropagadas se inocularon con un consorcio de especies de un producto comercial de HMA, conteniendo esporas de *Glomus clarum*, *G. intraradices*, *G. etunicatum* y *Entrophospora columbiana* (Mycor Tree ® Plant Health Care, Canadá), utilizando tres tratamientos con diferentes concentraciones de esporas (80, 128 y 176 esporas por planta) y un tratamiento control, sin esporas. Para obtener los tres diferentes inóculos (esporas mL^{-1}), se preparó una solución de esporas de la mezcla de HMA con 1 mL de agua estéril, en la que se obtuvo 176 esporas mL^{-1}, de la cual se realizaron dos diluciones, registrando 126 y 80 esporas mL^{-1}. A los 15 días después del cultivo de las plantas en invernadero, tanto micropropagadas como propagadas por semilla, se agregó 1 mL de cada concentración de esporas por planta (Figuras 1B, 1D).

Además del porcentaje de supervivencia, se evaluaron los parámetros de crecimiento como la altura de la planta, el diámetro de tallo, número de foliolos y el área foliar, ésta se determinó midiendo el largo y ancho de los foliolos por planta, para ambos sistemas. Estos parámetros se evaluaron a los 60, 120 y 180 días, contados a partir de la inoculación en ambos sistemas de propagación y el área foliar se determinó solo a los 180 días. El número de plantas fue de 15 por tratamiento para ambos sistemas de propagación, considerando cada planta como repetición.

Los datos de las variables de altura, diámetro de tallo, número de foliolos y área foliar, fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) por variable. El número de réplicas (n) varió durante la experimentación, de acuerdo a la supervivencia de las plantas. Se utilizó una prueba de diferenciación de medias de Tukey ($p<0.05$) (programa estadístico JP8®).

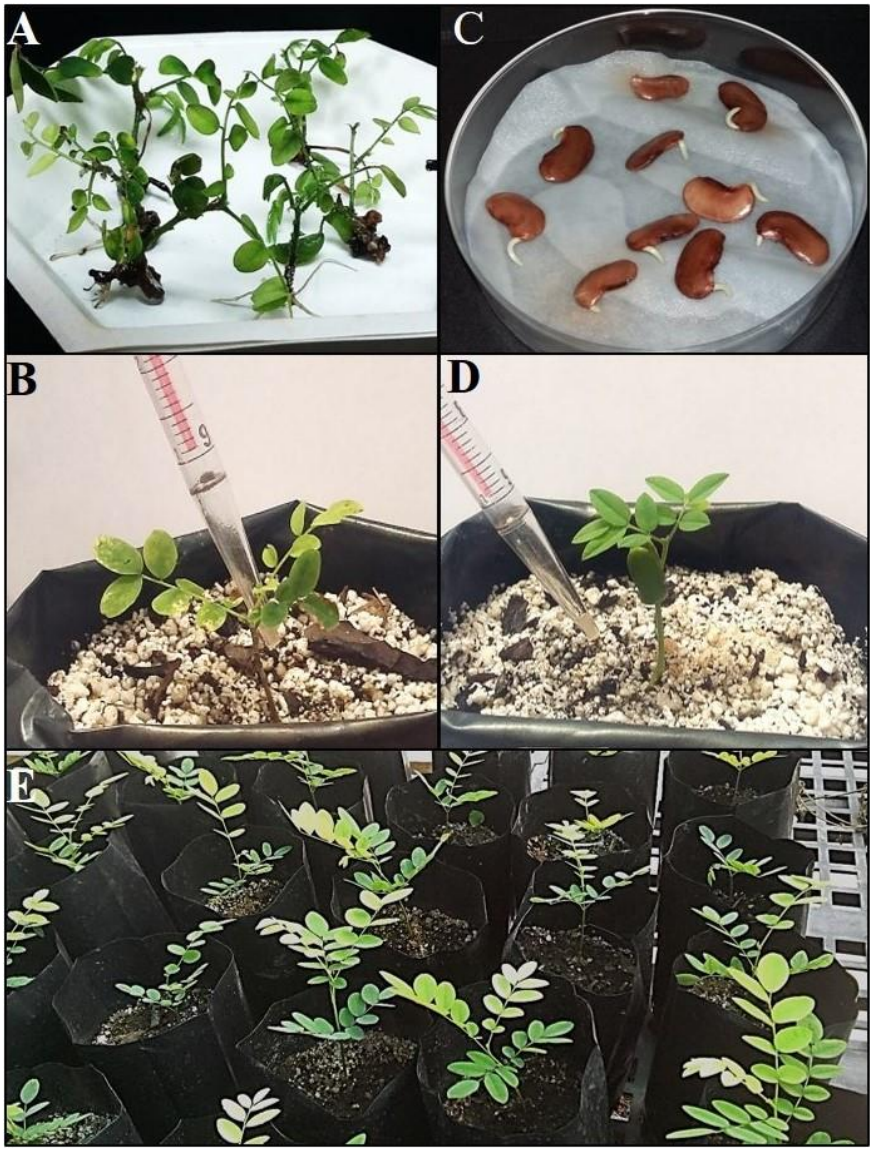


Figura 1. Plantas micropropagadas y propagadas por semilla de *D. congestiflora*: A) Plántulas micropropagadas previo al trasplante y aclimatación; B) Plantas micropropagadas cultivadas en invernadero, después de 30 días de aclimatación; C) Semillas a los tres días del inicio de la germinación; D) Plantas propagadas por semilla, después de 30 días de germinación; E) Plantas propagadas por semilla, cultivadas durante 180 días en condiciones de invernadero e inoculadas con 176 esporas de HMA.
Figure 1. *D. congestiflora* plants micropropagated and propagated from seed: A) Plantlets micropropagated prior to transplantation and acclimatization; B) Micropropagated plants grown in greenhouse, after 30 days of acclimatization; C) Seeds three days after the start of germination; D) Plants propagated from seed, after 30 days of germination; E) Plants propagated from seed, cultivated for 180 days in greenhouse conditions, inoculated with 176 spores.

RESULTADOS

Efecto de la inoculación con HMA en plantas micropropagadas

El efecto de la inoculación con HMA en plantas micropropagadas de *D. congestiflora*, sobre el porcentaje de supervivencia, la altura, el número de foliolos, el diámetro del tallo y el área foliar, se presenta en el Cuadro 1. La supervivencia de las plántulas a los 30 días del trasplante previo a

la inoculación con las esporas de HMA, fue de un 70%, seleccionando 15 plántulas para cada tratamiento. Las plántulas micropropagadas no inoculadas con HMA presentaron un porcentaje del 20% de supervivencia a los 60 días, un valor igual cuando se inocularon con 80 esporas, porcentaje que aumentó en plantas inoculadas con 128 y 176 esporas, alcanzando un 40%. A los 120 días no hubo variación en los porcentajes de supervivencia en todos los tratamientos, permaneciendo un 20% en las plántulas control e inoculadas con 80 esporas, y un 40 % en los tratamientos con 128 y 176 esporas, valores que permanecieron durante todo el periodo evaluado (180 días). La inoculación con HMA no mostró un efecto positivo en la altura de las plantas y en el diámetro de tallo, ya que no hubo diferencias significativas entre los valores de las plantas del tratamiento control y los tratamientos con esporas. 80, 128 y 176 esporas, a los diferentes tiempos. Sin embargo, aunque no hubo un incremento en el número de foliolos a los 60 días de cultivo, en los tratamientos con esporas, respecto al tratamiento control, las plantas tratadas con 176 esporas mantuvieron valores sin diferencias significativas desde los 60 días (7.7 foliolos) hasta los 180 días (5.8 foliolos). En los demás tratamientos, este número disminuyó, siendo más notorio en las plantas tratadas con 128 esporas, con 3 foliolos a los 180 días del cultivo.

En la variable de área foliar, a los 180 días se observó un incremento en las plantas tratadas con 128 y 176 esporas (1.97 y 1.99 cm^2, respectivamente), sin embargo, en las plantas tratadas con 80 esporas, se obtuvo una disminución en esta variable, sin diferencia significativa a lo observado en plantas control.

Cuadro 1. Efecto del número de esporas de HMA sobre las variables de supervivencia y crecimiento de plantas micropropagadas de *Dalbergia congestiflora*

Table 1. Effect of the number of AMF spores on the survival and growth parameters of micropropagated plants of *Dalbergia congestiflora*.

		Tratamientos (número de esporas)			
Variable	**Edad (días)**	**Control**	**80**	**128**	**176**
Supervivencia (%)	60	20	20	40	40
	120	20	20	40	40
	180	20	20	40	40
Altura (cm)	60	5.9±0.57 a	6.3±0.25 a	6.2±0.40 a	6.0±0.40 a
	120	6.0±0.55 a	6.5±0.43 a	6.5±0.45 a	6.5±0.15 a
	180	6.0±0.59 a	6.6±0.44 a	6.5±0.45 a	6.5±0.14 a
Diámetro (mm)	60	1.23±0.14 a	1.15±0.21 a	1.30±0.39 a	1.15±0.14 a
	120	1.45±0.30 a	1.33±0.26 a	1.47±0.41 a	1.47±0.31 a
	180	1.45±0.30 a	1.33±0.26 a	1.47±0.41 a	1.47±0.31 a
Número de foliolos	60	7.0±0.89 a	6.3±0.63 a	5.5±1.22 b	7.7±0.82 a
	120	4.2±0.41 c	5.5±0.84 b	2.8±0.75 d	5.8±0.98 a
	180	4.2±0.41 c	5.5±0.84 b	3.0±0.89 d	5.8±1.17 a b
Área foliar (cm^2)	180	0.98±0.50 b	1.08±0.22 b	1.97±0.38 a	1.99±0.19 a

± =Desviación estándar, letras distintas por variable indican diferencia significativa (p<0.05).
± = standard error, different letter per variable indicates a significant difference (p<0.05).

Efecto de la inoculación de HMA en plantas propagadas por semilla

A los dos días de inicio del experimento de germinación, se observó la formación de radícula con una longitud promedio de 0.45 mm, a los 8 días se obtuvo la formación de plántulas con una altura promedio de 4 cm, presentando un 90% de germinación, las que fueron trasplantadas a sustrato para la experimentación. En el cuadro 2 se muestran los resultados de porcentaje de

supervivencia y de las variables de altura, diámetro de tallo, número de foliolos y área foliar, a los 60, 120 y 180 días del cultivo. A los 60 días de cultivo, se obtuvo un 100% de supervivencia en todos los tratamientos, el cual disminuyó a los 120 y 180 días, manteniendo los porcentajes más altos en las plantas tratadas con 128 y 176 esporas (80%).

La altura de las plantas varió en relación al número de esporas y con el tiempo de evaluación. A los 60 días, no hubo diferencias significativas en la altura en las plantas de cada uno de los tratamientos, con un máximo de 12.5 cm en las tratadas con 176 esporas, valor similar a lo presentado en plantas no tratadas a los 120 y 180 días. Con 176 esporas, se obtuvo la mayor altura a los 120 y 180 días, con 14.1 y 14.7 cm, respectivamente, sin diferencia significativa con el valor de la altura de plantas tratadas con 128 esporas a los 180 días del cultivo (13.4 cm).

Desde los 60 días, las plantas propagadas por semilla tanto en el tratamiento control como en los tratamientos con esporas, presentaron un incremento en el diámetro de tallo, alcanzando 2.2 mm en plantas control a los 180 días, obteniendo a este tiempo, los mayores valores de diámetro de tallo en los tratamientos con 80, 128 y 176 esporas (3.2, 2.8 y 3 mm, respectivamente), sin diferencias significativas entres éstos.

El número de foliolos incrementó en las plantas inoculadas, respecto al número de esporas, con el mayor número en el tratamiento con 176 esporas, a los 60 (38.5) y 120 días (42.5). A los 180 días del cultivo, se obtuvo una disminución de esta variable tanto en plantas control como en las inoculadas. La mayor área foliar fue observada a los 180 días del cultivo, en las plantas tratadas con 80 y 128 esporas, con baja diferencia significativa a la de plantas control y una alta diferencia significativa con las plantas tratadas con 176 esporas, las que mostraron una disminución en esta variable.

Cuadro 2. Efecto del número de esporas de HMA sobre las variables de supervivencia y crecimiento de plantas de *Dalbergia congestiflora* propagadas por semilla

Table 2. Effect of the number of AMF spores on the survival and growth parameters of seed-propagated *Dalbergia congestiflora* plants

		Tratamientos (número de esporas)			
Variable	**Edad (días)**	**Control**	**80**	**128**	**176**
Supervivencia (%)	60	100	100	100	100
	120	60	80	80	80
	180	40	60	80	80
Altura (cm)	60	10.9±0.96 b	11.5±0.95 b	11.3±0.86 b	12.5±0.50 b
	120	11.9±0.65 b	12.6±0.55 b	13.0±0.69 ab	14.1±0.40 a
	180	11.9±0.65 b	13.1±0.59 ab	13.4±0.58 a	14.7±0.79 a
Diámetro (mm)	60	1.5±0.22 c	2.2±0.39 b	2.1±0.85 b	1.9±0.27 b
	120	2.1±0.42 b	3.0±0.09 a	2.4±0.38 b	2.3±0.41 b
	180	2.2±0.32 b	3.2±0.41 a	2.8±0.27 a	3.0±0.04 a
Número de foliolos	60	25.0±3.7 c	31.5±4.2 b	34.7±1.1 b	38.5±2.1 a
	120	27.5±2.2 bc	33.8±1.9 b	31.7±2.6 b	42.5±2.7 a
	180	17.5±2.7 d	23.5±3.1 c	21.7±2.6 c	31.2±2.0 b
Área foliar (cm^2)	180	7.9±1.03 ab	9.1±1.83 a	8.9±3.46 a	6.1±1.00 b

± = Desviación estándar, letras distintas por variable indican diferencia significativa (p<0.05).

± = standard error, different letter per variable indicates a significant difference (p<0.05).

DISCUSIÓN

Efecto de la inoculación de HMA en plantas micropropagadas

El efecto benéfico de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) sobre la supervivencia en diversas plantas micropropagadas se ha reportado hasta 2.25 veces más, respecto a lo observado en plántulas no inoculadas con HMA, con valores de supervivencia de entre 40 y 80% (da Silva *et al.*, 2017; Ancona *et al.*, 2021; Gómez-Falcón *et al.*, 2023). Estos autores han propuesto que los valores de supervivencia están asociados a la calidad de las plantas en la etapa de propagación y la diferencia en supervivencia es por efecto de los HMA. En este estudio, se observó también un efecto positivo con la inoculación de HMA sobre la supervivencia de las plantas micropropagadas de *D. congestiflora*, ya que se promovió un incremento de dos veces, cuando se inocularon con 128 y 176 esporas. El valor bajo del porcentaje de supervivencia (20%) a los 180 días en plantas micropropagadas no tratadas con esporas de HMA, se sugiere se deba a que éstas sufren un fuerte estrés y no están preparadas para crecer y desarrollarse en las condiciones de invernadero ya que muestran deshidratación, insuficiencia fotosintética, un sistema radicular débil, por lo que requieren de un óptimo sustrato y buenas condiciones de humedad, temperatura y luz, así como la presencia de microorganismos benéficos como los HMA (Pérez *et al.*, 2002; Collado *et al.*, 2004). Con la inoculación de HMA (128 y 176 esporas) en plántulas micropropagadas de *D. congestiflora*, se logró un 40% de supervivencia, con la inoculación de 80 esporas no se consiguió un incremento en la supervivencia.

Los valores de altura y diámetro de tallo en plantas micropropagadas fueron similares en todos los tratamientos durante todo el experimento, sin observar diferencias significativas entre éstos, no encontrando un efecto positivo con la inoculación de HMA. Un aumento en el diámetro del tallo de plantas micropropagadas, cultivadas en invernadero e inoculadas con HMA, se ha reportado en *Hevea brasilensis* (caucho) (Sosa Rodríguez e*t al.*, 2009), así como en *Citrus sinensis* (naranja dulce), inoculadas con *Glomus* spp. Zac-19 (Chávez *et al.*, 2000), obteniendo un valor de 3.5 mm de diámetro en ambas especies. En esta investigación, las plantas micropropagadas e inoculadas con 128 y 176 esporas, obtuvieron solo 1.47 mm de diámetro de tallo a los 180 días y no difirieron de las plantas no inoculadas. Con estos resultados, se sugiere que el tiempo de experimentación fue primordial para observar un efecto positivo, ya que, en otras plantas, como en las de alcachofa (*Cynara cardunculus*), no se ha observado dicho efecto en el crecimiento, debido al corto periodo de evaluación (Pandino *et al.*, 2022). Esta situación ya ha sido observada a los 180 días de crecimiento y después de 6 meses, en plantas micropropagadas de coco (*Cocos nucifera*) inoculadas con HMA, las que mostraron un incremento en el crecimiento y en el área foliar (Gómez-Falcón *et al.*, 2023). En cuanto a esta variable (área foliar), a los 180 días se observó un incremento en plantas inoculadas con 128 y 176 esporas, excepto en el tratamiento con 80. Hay investigaciones en las que se demuestra este efecto positivo, dependiente del número de esporas de inoculación, debido a una alta colonización (Vivas-Cedeño *et al.*, 2018), lo que no pudo comprobarse en la presente investigación, quedando como perspectiva del trabajo.

Efecto de la inoculación de HMA en plantas propagadas por semilla

Los resultados obtenidos en el porcentaje de germinación, concuerdan con lo reportado en diversas investigaciones de especies del género *Dalbergia* (García & Di Stéfano, 2000; Casillas-Sánchez, 2014). En el caso de *D. congestiflora* es necesario mantener condiciones de alta humedad para obtener resultados del 90% de germinación. Casillas-Sánchez (2014) reportó un porcentaje de supervivencia en *D. congestiflora* del 47% a los 15 días del cultivo, en una mezcla de vermiculita + turba (3:1 v/v), lo que difiere con lo obtenido en este trabajo ya que se presentó un porcentaje de supervivencia del 100% hasta los 60 días tanto en plantas control como en plantas inoculadas con los tres tratamientos de HMA (80, 128 y 176 esporas por planta).

Con la inoculación de HMA comercial en plantas germinadas de *D. congestiflora*, se incrementó tanto la altura como el diámetro del tallo, con un mayor efecto cuando se inocularon con 176 esporas, a los 180 días del cultivo. La altura de las plantas en *Dalbergia sissoo* fue entre 17 y 41 cm para plantas sin inocular y plantas inoculadas con HMA respectivamente, en un periodo de

120 días (Mirdhe & Lakshman, 2009), mientras que la altura en plantas de *Dalbergia latifolia*, ésta fue de 19 y 27 cm para plantas sin inocular e inoculadas con HMA en un periodo de 180 días, respectivamente (Saravanan *et al.*, 2013). En las plantas de *D. congestiflora* se obtuvo una altura menor a la altura reportada para especies de *Dalbergia* en periodos de crecimiento similares, con 11.9 y 14.7 cm en plantas sin inocular e inoculadas con HMA, respectivamente. Estos resultados indican que *D. congestiflora* tiene una velocidad de crecimiento menor, en comparación con otras especies del mismo género. Lo anterior, al considerar que Casillas-Sánchez (2014) reportó valores de altura de la planta similares a los observados en este estudio con la misma especie de *Dalbergia*.

Aunque a los 180 días el número de foliolos disminuyó significativamente tanto en plantas control como inoculadas con HMA, a los 120 se observó el mayor número con 42.5 foliolos por planta, en plantas inoculadas con 176 esporas por planta. Este resultado no se relacionó con el área foliar, ya que, a los 180 días, se obtuvo el valor menor en las plantas de este tratamiento (176 esporas/planta), sin diferencia significativa al de las plantas no inoculadas. Las plantas inoculadas con 80 y 128 esporas por planta presentaron los mayores valores de área foliar con 9.1 y 8.9 cm^2, respectivamente.

En *D. latifolia* se ha reportado un mayor número de hojas y mayor área foliar para plantas inoculadas en relación a las plantas sin inocular (Saravanan *et al.*, 2013), cuyos valores son muy superiores a los observados en el presente estudio. A pesar de que se presentó una disminución en el número de foliolos a los 180 días del cultivo, la inoculación de HMA mostró un efecto positivo en esta variable en plantas de *D. congestiflora*, lo cual se debe posiblemente a una mejor nutrición, principalmente mediante el aporte de fósforo como se ha planteado en algunas investigaciones (Aguirre-Medina *et al.*, 2011; Saravanan *et al.*, 2013) . En *D. sisso*, también se infiere que el incremento en biomasa a los 90 días del cultivo en plantas inoculadas con una mezcla de HMA (*Glomus intraradices, Gigaspora albida* y *Acaulospora scrobiculata*), se debe a una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes (Bisht *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

El efecto de la inoculación con el consorcio de especies de HMA del producto comercial (*Glomus intraradices*, *G. etunicatum*, *G. clarum* y *Entrophospora columbiana*), con 80, 128 y 176 esporas/planta, fue más notorio en plantas de *D. congestiflora* propagadas por semilla, ya que todas las variables determinadas (supervivencia, altura, diámetro del tallo, número de foliolos y área foliar), presentaron los valores más altos en comparación con las plantas micropropagadas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera y al laboratorio de Biotecnología Vegetal del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

LITERATURA CITADA

Aguirre-Medina, J. F., Moroyoqui-Ovilla, D. M., Mendoza-López, A., Cadena-Iñiguez, J., Avendaño-Arrazate, C. H., & Aguirre-Cadena, J. F. (2011). Hongo endomicorrízico y bacteria fijadora de nitrógeno inoculadas a *Coffea arabica* en vivero. *Agronomía Mesoamericana*, *22*(1), 71–80. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43721202009

Ancona, S., De Mastro, G., Jenderek, M. M., & Ruta, C. (2021). Micropropagation supports reintroduction of an Apulian artichoke landrace in sustainable cropping systems. *Agronomy*, *11*(6): 1169. https://doi.org/10.3390/agronomy11061169

Barboza Nogueira, F. C., Medeiros Filho, S., Baldoni, R. N., & Sampaio e Silva, T. A. (2014). Is the seed dispersal related to spatial pattern of individuals in populations? The Case of *Dalbergia cearensis*. *American Journal of Plant Sciences*, *05*(20), 2997–3004. https://doi.org/10.4236/ajps.2014.520316

Bernaola-Paucar, R. M., Ruiz-Blandon, B., Salcedo-Pérez, E., & Zapata-Hernández, I. (2022). Nursery management factors that influence growth and survival of *Pinus douglasiana* in Mexico. *Bosque*, *43*(2), 101–115. https://doi.org/10.4067/S0717-92002022000200101

Bhardwaj, A. K., Chandra, K. K., & Kumar, R. (2023). Water stress changes on AMF colonization, stomatal conductance and photosynthesis of *Dalbergia sissoo* seedlings grown in entisol soil under nursery condition. *Forest Science and Technology*, *19*(1), 47–58. https://doi.org/10.1080/21580103.2023.2167873

Bisht, R., Chaturvedi, S., Srivastava, R., Sharma, A. K., & Johri, B. N. (2009). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi, *Pseudomonas fluorescens* and *Rhizobium leguminosarum* on the growth and nutrient status of *Dalbergia sissoo* Roxb. *Tropical Ecology*, *50*(2), 231–242. https://www.researchgate.net/publication/255454806

Casillas-Sánchez, J. I. (2014). *"Propagación de Tilia americana* var. *mexicana y Dalbergia congestiflora"* (Tesis Inédita de Maestría). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México, 80 p.

Chávez, M. C. G., Cerrato, R. F., Monter, A. V., & Oropeza, J. L. (2000). Selección de sustratos de crecimiento en microplántulas de cítricos inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19. *Terra Latinoamericana*, *18*(4), 0. https://www.redalyc.org/pdf/573/57318411.pdf

Collado, R., Barbón, R., Agramonte, D., Jiménez, F., Pérez, M., Gutiérrez, O., & Ramírez, D. (2004). Establecimiento *in vitro* de ápices y segmento nodales de *Swietenia macrophylla* King. *Biotecnología Vegetal*, *4*(3). https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/411

da Silva, A. R., de Melo, N. F., & Yano-Melo, A. M. (2017). Acclimatization of micropropagated plants of *Etlingera elatior* (Jack) R. M. Sm. inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *South African Journal of Botany*, *113*, 164–169. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.08.014

El Haddadi, R., El Mekkaoui, A., Zouahri, A., Ouazzani Touhami, A., & Douira, A. (2022). Effect of growing media on morpho-physiological quality attributes of *Tetraclinis articulata* seedlings. *Forest Science and Technology*, *18*(3), 108–117. https://doi.org/10.1080/21580103.2022.2104936

El Kinany, S., Achbani, E., Faggroud, M., Ouahmane, L., El Hilali, R., Haggoud, A., & Bouamri, R. (2019). Effect of organic fertilizer and commercial arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of micropropagated date palm cv. Feggouss. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *18*(4), 411–417. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.01.004

García, E. G., & Di Stéfano, J. F. (2000). Temperatura y germinación de las semillas de *Dalbergia retusa* (Papilionaceae), árbol en peligro de extinción. *Revista de Biología Tropical*, *48*(1), 43–45. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442000000100005

Gómez-Falcón, N., Sáenz-Carbonell, L. A., Andrade-Torres, A., Lara-Pérez, L. A., Narváez, M., & Oropeza, C. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi increase the survival and growth of micropropagated coconut (*Cocos nucifera* L.) plantlets. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, *59*(3), 401–412. https://doi.org/10.1007/s11627-023-10345-5

Hernández García, A., Salgado Garciglia, R., & Ambriz Parra, E. (2016). Propagación de *Dalbergia congestiflora* Pittier (Fabaceae) por estaca: efecto de la concentración de AIB y el tejido de la estaca. *Nova Scientia*, *8*(17), 87–96. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052016000200087&lng=es&tlng=es.

Hernández-García, A., Ambriz-Parra, E., López-Albarrán, P., León, J. C. De, & Salgado-Garciglia, R. (2021). *In vitro* propagation from axillary buds of the endangered tree

Dalbergia congestiflora Pittier (Fabaceae). *Plant Biotechnology*, *38*(4), 409–414. https://doi.org/10.5511/PLANTBIOTECHNOLOGY.21.0901A

López-Barreto, C. A. (2015). Evaluación de sobrevivencia e incremento de seis especies forestales maderables en plantaciones de la finca Eco forestal, San Juan del Sur, Rivas. (Tesis inédita de Doctorado). Universidad Nacional Agraria, 21. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442000000100005

Márquez-Torres, J. F., & Martínez-Garza, C. (2022). Supervivencia de 12 especies de árboles nativos en plantaciones de restauración en la selva estacionalmente seca. *Botanical Sciences*, *100*(2), 314–330. https://doi.org/10.17129/botsci.2878

Mežaka, I., Kļaviņa, D., Kaļāne, L., & Kronberga, A. (2023). Large-Scale *in vitro* propagation and *ex vitro* adaptation of the endangered medicinal plant *Eryngium maritimum* L. *Horticulturae*, *9*(2). 271. https://doi.org/10.3390/horticulturae9020271

Mirdhe, R. M., & Lakshman, H. C. (2009). Synergistic effect of arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium* inoculation on *Dalbergia sissoo* Roxb. in unsterile soil. *Nat. Environ. Pollut. Technol*, *8*, 781–784. https://www.neptjournal.com/upload-images/NL-1-28-(28)-B-1389.pdf

Mortier, E., Jacquiod, S., Jouve, L., Martin-Laurent, F., Recorbet, G., & Lamotte, O. (2023). Micropropagated walnut dependency on phosphate fertilization and arbuscular mycorrhiza for growth, nutrition and quality differ between rootstocks both after acclimatization and post-acclimatization. *Scientia Horticulturae*, *318*, 112081. https://doi.org/10.1101/2022.11.24.517850

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/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

Niranjan, R., Mohan, V., & Rao, V. M. (2007). Effect of indole acetic acid on the synergistic interactions of *Bradyrhizobium* and *Glomus fasciculatum* on growth, nodulation, and nitrogen fixation of *Dalbergia sissoo* Roxb. *Arid Land Research and Management*, *21*(4), 329–342. https://doi.org/10.1080/15324980701603573

Pandino, G., Lombardo, S., Monaco, A. Lo, Ruta, C., & Mauromicale, G. (2022). Mycorrhizal inoculation improves plant growth and yield of micropropagated early globe artichoke under field conditions. *Agriculture (Switzerland)*, *12*(1), 114. https://doi.org/10.3390/agriculture12010114

Patel, B. K., Wolfe, K. S., Patel, S. B., Dugan, K. C., Esbrook, C. L., Pawlik, A. J., Stulberg, M., Kemple, C., Teele, M., & Zeleny, E. (2023). Effect of early mobilisation on long-term cognitive impairment in critical illness in the USA: a randomised controlled trial. *The Lancet Respiratory Medicine*, *11*(6), 563–572. https://doi.org/10.1016/s2213-2600(22)00489-1

Paz, M. P., Trejo, D. A. R., Morales, A. V., & De la Rosa, M. A. M. B. (2023). Fertilization, plant quality and field survival of *Pinus* spp. in Ixtlán de Juárez, state of Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *14*(76), 71–92. https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i76.1324

Pérez, J., Mesén, F., Hilje, L., & Aguilar, M. E. (2002). Desarrollo de un método de micropropagación aplicable a genotipos selectos de *Cedrela odorata* LI Optimización de la fase de multiplicación. *Recursos Naturales y Ambiente*, *38, 67-71*. http://bco.catie.ac.cr:8087/portal-revistas/index.php/RRNA/article/view/263/415

Pogorzelec, M., Banach-Albińska, B., Serafin, A., & Szczurowska, A. (2014). Population resources of an endangered species *Salix lapponum* L. in polesie lubelskie region (eastern Poland). *Acta Agrobotanica*, *67*(4), 81–86. https://doi.org/10.5586/aa.2014.043

Roveda, R., Peñaranda, A., Ramírez, M., Baquero, I., & Galindo P, R. (2012). Diagnosis of chemical soil fertility of the municipalities of Granada and Silvania for golden cape gooseberry production in Cundinamarca. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *13*(2), 179–188. https://repository.agrosavia.co/items/7aedfb41-25f7-4e25-9f97-33c18401ac59

Recibido:
20/junio/2025

Aceptado:
2/diciembre/2025

Ruiz, S. S., Ruíz, J. Á. P., Aispuro, E. S., Simental, J. A. C., & Aispuro, R. E. M. (2021). Survival and growth of *Pinus engelmannii* Carr. In a reforestation from mycorrhization and fertilization. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *12*(64). https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i64.847

Salama, A., Shukla, M. R., Popova, E., Fisk, N. S., Jones, M. P., & Saxena, P. K. (2017). In vitro propagation and reintroduction of golden paintbrush (*Castilleja levisecta*), a critically imperilled plant species. *Canadian Journal of Plant Science*, *98*(3), 762–770. https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0207

Saravanan, T. S., Rajendran, K., Uma, M., & Chezhian, P. (2013). Effects of bioinoculants on quality seedling production and nutrient uptake of *Casuarina equisetifolia* Forst. grown in decomposed coir pith. In *Microbiological Research In Agroecosystem Management* (pp. 141–154). Springer. http://dx.doi.org/10.1007/978-81-322-1087-0_10

Sosa Rodríguez, T., Sánchez Nieves, J., Marina Melgarejo, L., Sc, B., Caro Muñoz, M., & Agrónoma, I. (2009). Efecto de la inoculación con hongos formadores de micorrizas arbusculares sobre plántulas de caucho. Effects of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on rubber seedlings. In *Acta biol. Colomb., 14(3), 31- 46.* http://scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2009000300003

Vivas-Cedeño, J. S., Roger, Y. L., González-Ramírez, I., & Robles-García, J. O. (2018). Hongos micorrízicos arbusculares en el cultivo de plátano en viveros. *Dominio de Las Ciencias*, *4*(3), 3–15. https://www.researchgate.net/publication/326722592_Hongos_micorrizicos_arbusculares_en_el_cultivo_de_platano_en_viveros

Wang, M., Cheng, Z., Li, G., Wang, J., & Uscola, M. (2023). The tradeoff strategy between growth and survival in *Quercus variabilis* seedlings: determining the most limiting resource in the field drive shoot dieback. *Forestry*, *96*(4), 575–587. https://doi.org/10.1093/forestry/cpac062

Watkinson, A. D., Naeth, M. A., & Pruss, S. D. (2022). Nutrient loading *Artemisia cana* seedlings in greenhouse increases nitrogen tissue content and post-outplanting survival. *Restoration Ecology*, *30*(5), e13590. https://doi.org/10.1111/rec.13590

Yakhin, O. I., Lubyanov, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 2049. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

CRIOCONSERVACIÓN DE EXPLANTES FLORALES ENCAPSULADOS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) MEDIANTE DESHIDRATACIÓN Y VITRIFICACIÓN

CRYOPRESERVATION OF ENCAPSULATED FLORAL EXPLANTS OF CACAO (*Theobroma cacao* L.) BY DEHYDRATION AND VITRIFICATION

Avendaño Arrazate, C.H., J.L. Rodríguez de la O, L. Iracheta Donjuan, E. Rodríguez Olivera

CRIOCONSERVACIÓN DE EXPLANTES FLORALES ENCAPSULADOS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) MEDIANTE DESHIDRATACIÓN Y VITRIFICACIÓN
CRYOPRESERVATION OF ENCAPSULATED FLORAL EXPLANTS OF CACAO (*Theobroma cacao* L.) BY DEHYDRATION AND VITRIFICATION

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 273-293 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.16

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Núm. 61: 273-293 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Crioconservación de explantes florales encapsulados de cacao (*Theobroma cacao* l.) mediante deshidratación y vitrificación

Cryopreservation of encapsulated floral explants of cacao (*Theobroma cacao* l.) by dehydration and vitrification

Eliud Rodríguez-Olivera / eldolivera7@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-8764-7736
Campo Experimental Rosario Izapa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km 18, Carretera Tapachula-Cacahoatán, Tuxtla Chico, Chiapas México C.P. 30870.
Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56230.

Leobardo Iracheta-Donjuan https://orcid.org/0000-0003-2908-4183
Campo Experimental Rosario Izapa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km 18, Carretera Tapachula-Cacahoatán, Tuxtla Chico, Chiapas México C.P. 30870.

José Luis Rodríguez de la O https://orcid.org/0000-0002-2331-9984
Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56230.

Carlos Hugo Avendaño Arrazate[1] https://orcid.org/0000-0003-3591-2280
Campo Experimental Rosario Izapa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km 18, Carretera Tapachula-Cacahoatán, Tuxtla Chico, Chiapas México C.P. 30870

RESUMEN: La aplicación de la técnica de embriogénesis somática en cacao (*Theobroma cacao* L.), dependiente de tejidos florales, enfrenta limitaciones debido a la restringida disponibilidad de flores. En este contexto, la crioconservación de tejidos florales se plantea como una alternativa para conservar y mantener disponible el material necesario para la regeneración *in vitro*, contribuyendo además a la conservación de la diversidad genética de la especie. El objetivo de este estudio fue evaluar la viabilidad de explantes florales sometidos a crioconservación en dos genotipos experimentales de cacao (F9P6 y F19P3), comparando la influencia del tipo de explante y las variantes en las técnicas criogénicas de encapsulación–deshidratación y encapsulación–vitrificación. Se realizaron dos experimentos en los que se evaluaron pétalos, estaminodios y anteras como explantes. En el primer experimento se aplicó la técnica de encapsulación–deshidratación, donde los explantes se precultivaron en medio DKW modificado por un día y se sometieron a dos métodos de deshidratación (flujo laminar y gel de sílice) y dos tiempos de deshidratación (3 y 5 h). En el segundo experimento se utilizó la técnica de encapsulación–vitrificación, en la cual los explantes de ambos genotipos se precultivaron durante cinco días en medio DKW modificado con dos condiciones de sacarosa (sin sacarosa y 0.75 M) y se expusieron a dos soluciones vitrificadoras (PVS2 y PVS4). En ambos experimentos se evaluaron el necrosamiento de tejidos, el incremento de volumen, la formación de callo hasta los 28 días y la viabilidad a los 35 días. Los pétalos presentaron la mayor viabilidad. En encapsulación–deshidratación, los pétalos del genotipo F9P6 mantuvieron el 100% de viabilidad tras 5 h con gel de sílice, mientras que F19P3 lo logró con 5 h en flujo laminar o 3 h con gel de sílice. En encapsulación–vitrificación, los pétalos del genotipo F9P6 conservaron el 100% de viabilidad en medio sin sacarosa con ambos vitrificantes, así como con 0.75 M de sacarosa y PVS4; mientras

Carlos Hugo Avendaño Arrazate, José Luis Rodríguez de la O, Leobardo Iracheta Donjuan, Eliud Rodríguez Olivera

CRIOCONSERVACIÓN DE EXPLANTES FLORALES ENCAPSULADOS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) MEDIANTE DESHIDRATACIÓN Y VITRIFICACIÓN

CRYOPRESERVATION OF ENCAPSULATED FLORAL EXPLANTS OF CACAO (*Theobroma cacao* L.) BY DEHYDRATION AND VITRIFICATION

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 273-293. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.16

que F19P3 presentó 100% de viabilidad con PVS4 sin sacarosa. No se observó incremento de volumen ni formación de callo en los explantes crioconservados; sin embargo, la conservación de su viabilidad confirma la factibilidad del uso de explantes florales encapsulados como material base para estrategias de crioconservación.
Palabras clave: *in vitro*, encapsulación–deshidratación, encapsulación–vitrificación, soluciones PVS.
ABSTRACT: The application of the somatic embryogenesis technique in cacao (*Theobroma cacao* L.), which relies on floral tissues, faces limitations due to the restricted availability of flowers. In this context, the cryopreservation of floral tissues is proposed as an alternative to preserve and maintain the availability of material required for *in vitro* regeneration, while also contributing to the conservation of the species' genetic diversity. The aim of this study was to evaluate the viability of floral explants subjected to cryopreservation in two experimental cacao genotypes (F9P6 and F19P3), comparing the influence of explant type and variations in the cryogenic techniques of encapsulation–dehydration and encapsulation–vitrification. Two experiments were carried out using petals, staminodes, and anthers as explants. In the first experiment, the encapsulation–dehydration technique was applied; explants were precultured for one day in modified DKW medium and dehydrated either by laminar airflow or with silica gel for 3 or 5 hours. In the second experiment, the encapsulation–vitrification technique was used; explants from both genotypes were precultured for five days in modified DKW medium under two sucrose conditions (0 and 0.75 M) and exposed to two vitrification solutions (PVS2 and PVS4). In both experiments, tissue necrosis, volume increase, callus formation up to 28 days, and viability at 35 days were evaluated. Petals exhibited the highest viability. In encapsulation–dehydration, petals of genotype F9P6 maintained 100% viability after 5 hours of dehydration with silica gel, whereas F19P3 achieved the same result after 5 hours by laminar airflow or 3 hours with silica gel. In encapsulation–vitrification, petals of F9P6 retained 100% viability in sucrose-free medium with both vitrification solutions, as well as with 0.75 M sucrose and PVS4; F19P3 showed 100% viability with PVS4 in sucrose-free medium. No increase in volume or callus formation was observed in cryopreserved explants; however, the preservation of viability confirms the feasibility of using encapsulated floral explants as base material for cryopreservation strategies.
Key words: *in vitro*, encapsulation-dehydration, encapsulation-vitrification, PVS solutions.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el cultivo de cacao se ha visto en crisis debido a un decrecimiento en la producción desde que iniciaron los brotes de enfermedades severas como la moniliasis, la mancha negra de la mazorca y la escoba de bruja (Aguirre-Medina *et al*., 2010; Hernández-Gómez *et al*., 2015). Estas enfermedades ocasionan del 10 al 25% de pérdidas de la producción mundial de cacao; esto conlleva a que los productores cambien sus plantaciones de cacao por otras alternativas, poniendo en riesgo las variedades genéticas criollas asociada con su cultivo (Aguirre-Medina *et al*., 2010).

Ante esta problemática, el Campo Experimental Rosario Izapa (CERI) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Chiapas, inició un programa de mejoramiento genético en 2004, dirigido a la obtención de clones resistentes a la moniliasis. El resultado fue más de 600 híbridos evaluados en la región del Soconusco Chiapas (Aguirre-Medina *et al*., 2010), de los cuales ha sido posible el registro de nuevas variedades por métodos convencionales de mejoramiento y por selección participativa (Avendaño-Arrazate *et al*., 2018; Solís *et al*., 2015).

Durante el mejoramiento genético convencional, la disponibilidad de flores en campo y la asincronía entre genotipos de interés representa una limitante en un programa de cruzamientos y los enfoques *in vitro*, donde diversas estructuras florales —como pétalos, estaminodios y

anteras— son utilizadas como explantes para inducir embriogénesis somática o establecer líneas embriogénicas haploides (Robles, 2015; Silva *et al*., 2005).

Si bien la crioconservación de polen podría beneficiar directamente los cruzamientos convencionales, durante los programas de mejoramiento genético, la conservación de estructuras florales somáticas tiene un enfoque distinto: preservar material genético de alto valor con la capacidad de regenerar plantas completas a través de procesos biotecnológicos (Ballesteros *et al*., 2024). Por ello, la crioconservación de pétalos, estaminodios y anteras puede convertirse en una herramienta estratégica para la propagación clonal futura de materiales élite, así como para la generación de nuevas variantes genéticas vía embriogénesis somática o transformación genética (Guan *et al*., 2016; Mohammadi *et al*., 2023).

Por lo antes expuesto, en un programa de inducción de embriogénesis somática en cacao, con fines de conservación de la diversidad o creación de variabilidad genética, es importante contar con un número adecuado y constante de flores. Sin embargo, los explantes florales de cacao no pueden ser conservados en condiciones ambientales más de dos días, pues tienden a necrosarse rápidamente, por lo que se ha buscado nuevas técnicas de conservación apoyadas en el cultivo *in vitro* de células y tejidos vegetales, que aseguren la viabilidad del material por tiempo prolongado y permitan su disponibilidad independiente de la temporada de floración, para estudios de conservación y propagación *in vitro*.

La crioconservación es un método de conservación a largo plazo, el cual consiste en llevar un material biológico desde su temperatura fisiológicamente normal a temperaturas ultra bajas: a -196 °C sumergido en nitrógeno líquido, o a -150 °C en la fase de vapor de nitrógeno líquido (Engelmann & González-Arnao, 2013; Mosa *et al*., 2023). A esta temperatura la división celular y los procesos metabólicos cesan, por lo que el material puede permanecer almacenado por tiempo indefinido sin presentar deterioro fisiológico ni alteraciones metabólicas significativas. Sin embargo, el éxito del proceso depende del acondicionamiento que se dé al material vegetal para que resista tanto el congelamiento, como el descongelamiento. Tal acondicionamiento consiste en provocar una deshidratación protectora en las células y tejidos de manera que se evite la formación de cristales de hielo que provocan grandes daños en las membranas de la mayoría de las células (Engelmann & González-Arnao, 2013; Gowthami *et al*., 2025).

Las técnicas de crioconservación podrían ser una alternativa para optimizar el uso de estos tejidos en cualquier estación del año (Adu-Gyamfi *et al*., 2016). Hasta el momento hay estudios sobre la crioconservación de embriones somáticos por el método de encapsulación-deshidratación (Pence, 1991), así como de callos por el método de encapsulación-vitrificación (Pineda-Aguilar *et al*., 2016). Sin embargo, es poco lo que se ha explorado sobre el potencial de conservar otros tipos de explantes de cacao, como los florales, los cuales representan el punto de partida en la inducción de embriogénesis somática y su preservación permitiría disponer de material embriogénico durante todo el año, reduciendo la dependencia de la floración natural y asegurando la continuidad de los programas de propagación *in vitro*.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la influencia del genotipo, tipo de explante floral y variantes en las técnicas criogénicas de encapsulación-vitrificación y encapsulación-deshidratación en la viabilidad de explantes florales de cacao sometidos a crioconservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Biotecnología del Campo Experimental Rosario Izapa del INIFAP en Tuxtla Chico, Chiapas, México. El material biológico utilizado como explantes fue: pétalos, estaminodios y anteras, de los híbridos interclonales F9P10 y F10P3, producto del cruzamiento de cacaos forasteros resistentes a la moniliasis, con cacaos criollos de calidad (Iracheta-Donjuan *et al*., 2017). Previamente, botones florales sin daños (cerrados), con 5 mm de diámetro y 5 a 7 mm de longitud, fueron etiquetados en árboles en campo y se les asperjó durante tres días con fungicida Amistar®, cuyo ingrediente activo es la azoxistrobina (50%, 1.5 g L^{-1}), un compuesto de acción sistémica y de contacto que inhibe la respiración mitocondrial de los hongos fitopatógenos (Bartlett *et al*., 2002).

Núm. 61: 273-293 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Los botones se llevaron al laboratorio en un recipiente con algodón humedecido con una solución antioxidante-fungicida (Ácido cítrico 0.15 g L^{-1} + ácido ascórbico 0.1 g L^{-1} + sacarosa 30 g L^{-1} + Amistar® 1.5 g L^{-1}). Enseguida se procedió a eliminar impurezas superficiales de los botones florales: estos se colocaron en una canastilla metálica y se lavaron con una solución de detergente líquido comercial y agua corriente durante 2 min, seguido de un enjuague con el flujo de agua de grifo por 2 min. Después, los botones en la canastilla se sumergieron en una solución de *Amistar*® (1.5 g L^{-1}) esterilizada en autoclave (120 °C con 1.1 kg cm^{-2} de presión, por 20 min) durante 10 min con agitación constante.

La desinfección se realizó en campana de flujo laminar siguiendo el protocolo de (Iracheta-Donjuan *et al*., 2017), consistente en lavados sucesivos en una solución de hipoclorito de sodio al 2 % (Cloralex®), durante 20 min, seguidos de tres enjuagues con agua destilada esterilizada en autoclave. Finalmente, los botones se transfirieron a una solución antioxidante de ácido cítrico (0.15 g L^{-1}), ácido ascórbico (0.1 g L^{-1}) y sacarosa (30 g L^{-1}), esterilizada en autoclave. Los botones permanecieron en esta solución durante todo el tiempo que duró la obtención de los explantes.

Para el establecimiento y mantenimiento se utilizó el medio de cultivo de inducción de callo embriogénico DKW (Driver & Kuniyuki, 1984) modificado por Iracheta-Donjuan *et al*. (2019), con la adición de 0.25 mg L^{-1} de Kinetina, 1.0 mg L^{-1} de ácido 2,4-diclorofenoxiacético, suplementado con 30 g L^{-1} de glucosa, con pH de 5.7 y gelificado con 3.0 g L^{-1} de Gelrite (Sigma-Aldric®).

Experimento 1: Crioconservación por el método de encapsulación-deshidratación

Los explantes se precultivaron en medio DKW modificado durante un día, bajo condiciones asépticas, previo a la aplicación de los tratamientos de crioconservación. Este paso permitió disponer oportunamente del material vegetal para su posterior encapsulación y tratamiento criogénico.

Metodología (Figura 1): Para la encapsulación, los explantes previamente cultivados se colocaron dentro de una campana de flujo laminar en láminas de aluminio esterilizados en autoclave, de 10 × 40 mm con cinco cavidades a manera de crioplacas. En cada cavidad se adicionaron de 6 a 10 µL de alginato de sodio al 3 % (esterilizado), según Marassi *et al*. (2006), y los explantes se recubrieron con un volumen similar de la misma solución. Posteriormente, se agregaron 6 µL de cloruro de calcio (100 mM, esterilizado) para inducir la gelificación del alginato, y las crioplacas se dejaron reposar dentro de la campana de flujo laminar durante 15 min para completar la encapsulación. Después, las crioplacas (conteniendo los tejidos encapsulados), se sumergieron en una solución de carga SC (sacarosa 0.4 M + glicerol 2 M) durante 30 min, de acuerdo con Matsumoto & Niino (2017) (Figura 1B). En total se llenaron 48 crioplacas, con cinco explantes cada una (ocho crioplacas de cada tipo de explante por genotipo).

Posteriormente, las crioplacas se extrajeron y escurrieron sobre cajas Petri con doble papel filtro esterilizado. Luego, las crioplacas fueron sometidas a diferentes métodos y tiempos de deshidratación: 24 crioplacas (4 crioplacas de cada explante por genotipo) se colocaron sobre cajas Petri dentro de un desecador con gel de sílice, 12 crioplacas (2 crioplacas de cada explante por genotipo) se dejaron por 3 h y las otras 12 por 5 h (Zhang *et al*., 2017) (Figura 1C); mientras que las 24 crioplacas restantes se dejaron directamente expuestas al flujo de la campana, 12 crioplacas (2 crioplacas de cada explante por genotipo) se dejaron expuesta por 3 h y las otras 12 crioplacas por 5 h) (Figura 1D). Una vez completada la deshidratación, las crioplacas se colocaron individualmente dentro de crioviales (Figura 1E), estos se fijaron cerrados en las criocañas y se sumergieron en nitrógeno líquido durante 1 h (Figura 1F). Al término del tiempo, las crioplacas se rescataron de los crioviales sumergidos en nitrógeno líquido y se pasaron a crioviales con 2 mL de solución de calentamiento (sacarosa 1.0 M, a temperatura ambiente), se taparon y se dejaron en temperatura ambiente a 25 °C durante 15 min (Figura 1G). Nuevamente, las crioplacas se escurrieron en cajas Petri con doble papel filtro.

Para la recuperación y establecimiento de los explantes, las crioplacas se colocaron en caja Petri se extrajeron los explantes encapsulados de las crioplacas y luego se rescataron de las cápsulas

(Figura 1H), para enseguida sembrarlos en medio DKW modificado, se establecieron 10 explantes por tratamiento.



Figura 1. Proceso de encapsulación-deshidratación. Encapsulado (A), inmersión en SC (B), deshidratación con gel de sílice (C), deshidratación con flujo laminar (D), crioplaca con explantes en criovial (E), inmersión en nitrógeno líquido (F), descongelamiento (G) y recuperación de explantes para siembra (H).
Figure 1. Encapsulation (A), immersion in loading solution (B), dehydration with silica gel (C), dehydration under laminar airflow (D), cryoplate containing explants placed in a cryovial (E), immersion in liquid nitrogen (F), thawing (G), and recovery of explants for *in vitro* culture (H).

Diseño experimental
Veinticuatro tratamientos fueron establecidos, con 10 repeticiones cada uno, en los que un explante de pétalo, estaminodio o antera correspondió a una repetición. El total de tratamientos se obtuvo a partir de la interacción de dos genotipos, tres tipos de explantes, dos métodos de deshidratación y dos tiempos de deshidratación. Adicionalmente se establecieron seis blancos, los cuales consistieron en dos genotipos y tres tipos de explantes encapsulados, pero estos solo se sometieron a la SC por 30 min y se establecieron en medio DKW modificado sin pasar por el resto del proceso.

Experimento 2: Crioconservación por el método de encapsulación-vitrificación
Los explantes se precultivaron en medio DKW modificado con dos condiciones de sacarosa (sin sacarosa y 0.75 M) durante cinco días, con el objetivo de evaluar el efecto de la acumulación de carbohidratos sobre la recuperación de los explantes crioconservados

Metodología (Figura 2): Los explantes se encapsularon (Figura 2A) como fue descrito anteriormente, una vez que lo explantes se encontraran en las crioplacas, se sumergieron en la solución de carga SC (Figura 2B) como se especifica anteriormente. En total se llenaron 48 crioplacas con 5 explantes cada una (8 crioplacas de cada tipo de explante por genotipo).
Posteriormente, las crioplacas se extrajeron, escurrieron como se describe anteriormente y 24 crioplacas (dos crioplacas de cada explante por genotipo y condición de sacarosa en precultivo) se sumergieron en el crioprotector PVS2 [Glicerol 30%+ etilenglicol 15% + DMSO (Dimetilsulfóxido) 15% + sacarosa 0.4 M], por 15 min y las 24 crioplacas restantes se sumergieron en PVS4 (Glicerol 35 %+ etilenglicol 20 % + sacarosa 0.6 M), por el mismo tiempo (Pineda-Aguilar *et al*., 2016). Al término del tiempo, las crioplacas se sacaron y se escurrieron nuevamente.

Después del tratamiento con el crioprotector, las crioplacas se colocaron en crioviales, estos se fijaron a las criocañas y se sumergieron en nitrógeno líquido 1 h. Luego, las criocañas se sacaron de nitrógeno líquido, y se retiraron los crioviales, las crioplacas se pasaron a crioviales con 2 ml de solución de calentamiento, se taparon y se dejaron reposar 15 min.
Las crioplacas se escurrieron en una caja Petri con doble papel filtro. Finalmente, las crioplacas se colocaron en caja Petri y se recuperaron los explantes de las cápsulas, los cuales se sembraron en medio de cultivo MI (Figura 2). Se colocaron cinco explantes del mismo tipo por caja.

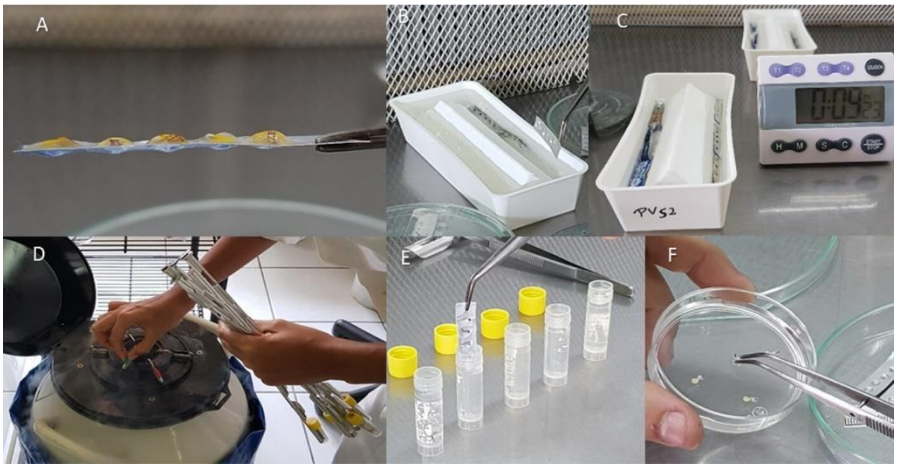


Figura 2. Proceso de encapsulación-vitrificación. Encapsulado (A), Inmersión en SC (B), inmersión en crioprotector PVS2 o PVS4 (C), inmersión en nitrógeno líquido (D), solución de calentamiento (E) y recuperación y establecimiento de explantes (F).
Figure 2. Encapsulation-vitrification process. Encapsulation (A), immersion in loading solution (B), immersion in cryoprotectant solution PVS2 or PVS4 (C), immersion in liquid nitrogen (D), warming solution (E), and recovery and establishment of explants (F).

Diseño Experimental

En total se establecieron veinticuatro tratamientos, con 10 repeticiones cada uno, en los que un explante individual de pétalo, estaminodio o antera correspondió a una repetición. Este número se obtuvo a partir de la interacción entre los factores, dos genotipos, tres tipos de explantes, dos concentraciones de sacarosa en precultivo y dos crioprotectores. Adicionalmente se establecieron seis tratamientos testigos, denominados blancos, los cuales consistieron en los dos genotipos y tres tipos de explantes, estos se extrajeron y sembraron en medio DKW modificado un día antes del establecimiento final y solo se sometieron a la solución SC por 30 minutos y se establecieron en medio DKW modificado sin pasar por el resto del proceso.
Para ambos experimentos, los tratamientos y repeticiones se incubaron de acuerdo con un diseño experimental completamente a alzar con arreglo factorial. Los explantes se mantuvieron en un cuarto de incubación bajo condiciones controladas de temperatura a 25 ± 1 °C y en oscuridad total. El periodo de incubación duró 28 días, con evaluaciones a los 3, 7, 14 y 28 días después del establecimiento.
Las variables respuesta consistieron en: 1) Necrosamiento, determinado visualmente con base en el cambio de coloración de la superficie adaxial del explante; 2) Incremento de volumen, evaluado de forma cualitativa mediante la comparación visual del tamaño o volumen general respecto al tamaño inicial al momento de la siembra, considerándose incremento cuando el explante mostraba expansión evidente de tejidos o abultamiento; 3) Explantes con Callo, se consideraron aquellos explantes que presentaron la formación de un conglomerado amorfo de células no diferenciadas, de textura friable o compacta, visible en cualquier región del explante; 4) Viabilidad, evaluada mediante tinción diferencial con sales de tetrazolio al 1.0 % y azul de Evans

al 0.25 %. Se consideraron viables los explantes que mostraron tinción parcial o total con el reactivo de tetrazolio (coloración rosada o rojiza), mientras que los tejidos muertos se tornaron azulados con el colorante de Evans, la evaluación de esta última variable se realizó a los 35 días después del establecimiento.

Análisis estadísticos

Para ambos experimentos, se realizó un análisis de varianza y comparación de medias, utilizando la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05, mediante el paquete estadístico SAS® 9.3. Los datos fueron transformados para darles una distribución normal, para ello se empleó la fórmula "$\sqrt{x+1}$", donde x es el valor observado (Castañeda, 1990).

RESULTADOS

Experimento 1: Crioconservación por el método de encapsulación-deshidratación

Se realizó un ANOVA y comparación de medias para las variables de necrosamiento y viabilidad a los 28 días después del establecimiento (Tabla 1), ya que no se observó incremento de volumen ni explantes con callo en los explantes crioconservados; a diferencia de los blancos (Tabla 2), de quienes se observó que las anteras fueron los explantes más afectados con el cultivo *in vitro*, toda vez que presentaron el mayor grado de necrosamiento (53.5 y 56.5 %), menor incremento de volumen (20 y 30 %) y menor producción de callo (0 y 10 %), respecto al resto de explantes. Y únicamente las anteras del genotipo F9P6 presentaron un 50 % de viabilidad. Por otra parte, si bien los estaminodios de ambos genotipos presentaron menor porcentaje de necrosamiento (0 y 17 %), fueron los explantes de pétalo los que indujeron mayor producción de callo (78 y 90 %).

Tabla 1. Niveles de Necrosamiento y supervivencia de explantes florales de dos genotipos de cacao crioconservados, sometidos a dos tiempos y métodos de deshidratación. Promedio a los 28 días después del establecimiento

Table 1. Necrosis and survival levels of floral explants from two cryopreserved cacao genotypes subjected to two dehydration methods and durations. Mean values at 28 days after establishment

Tratamientos Genotipo/Explante/Deshidratación/Tiempo	Necrosamiento (%)	Viabilidad† (%)
T1: F9P6/P/Flujo/3h	80.0 ab††	80.0 ab
T2: F9P6/P/Flujo/5h	81.0 ab	0.0 c
T3: F9P6/P/SG/3h	74.0 ab	80.0 ab
T4: F9P6/P/SG/5h	83.0 ab	100.0 a
T5: F9P6/E/Flujo/3h	30.0 cde	0.0 c
T6: F9P6/E/Flujo/5h	21.0 de	0.0 c
T7: F9P6/E/SG/3h	26.5 de	0.0 c
T8: F9P6/E/SG/5h	25.0 de	0.0 c
T9: F9P6/A/ Flujo/3h	45.5 bcde	0.0 c
T10: F9P6/A/ Flujo/5h	30.5 cde	0.0 c
T11: F9P6/A/ SG/3h	21.5 de	0.0 c
T12: F9P6/A/SG/5h	35.0 cde	0.0 c
T13: F19P3/P/ Flujo/3h	71.0 ab	70.0 b
T14: F19P3/P/ Flujo/5h	77.0 ab	100.0 a
T15: F19P3/P/ SG/3h	82.0 ab	100.0 a
T16: F19P3/P/SG/5h	84.0 a	0.0 c
T17: F19P3/E/ Flujo/3h	59.0 abc	0.0 c
T18: F19P3/E/ Flujo/5h	55.0 abcd	0.0 c
T19: F19P3/E/ SG/3h	31.0 cde	0.0 c

T20: F19P3/E/SG/5h	30.5 cde	0.0 c
T21: F19P3/A/ Flujo/3h	32.0 cde	20.0 c
T22: F19P3/A/ Flujo/5h	22.5 e	0.0 c
T23: F19P3/A/ SG/3h	30.5 cde	0.0 c
T24: F19P3/A/SG/5h	33.0 cde	0.0 c
CV	24.86	6.08

C.V.= Coeficiente de variación datos transformados ($\sqrt{x+1}$). † La viabilidad se evaluó a los 35 días. †† Medias por columna y factor de estudio con distintas letras son significativamente diferentes (Tukey ≤0.05). P=Pétalo; E=Estaminodio; A= Anteras; Flujo= Deshidratación por flujo laminar; SG= Deshidratación por gel de sílice; 3h= 3 horas de deshidratación; 5h= 5 horas de deshidratación.

Tabla 2. Niveles de Necrosamiento, incremento de volumen, explantes con callo y supervivencia de explantes florales de dos genotipos de cacao no crioconservados (Blancos). Promedio a los 28 días después del establecimiento.
Table 2. Necrosis levels, volume increase, explants with callus, and survival of floral explants from two non-cryopreserved (Blank) cacao genotypes. Mean values at 28 days after *in vitro* establishment.

Blancos (Genotipo/Explante)	Necrosamiento (%)	Incremento de volumen (%)	Explantes con callo (%)	Viabilidad† (%)
B1: F9P6/P	25.0 abc	89.0 a	78.0 a	100.0 a
B2: F9P6/E	0.0 c	100.0 a	40.0 ab	100.0 a
B3: F9P6/A	53.5 a	20.0 b	0.0 b	50.0 b
B4: F19P3/P	40.0 ab	100.0 a	90.0 a	100.0 a
B5: F19P3/E	17.0 bc	60.0 ab	40.0 ab	100.0 a
B6: F19P3/A	56.5 a	30.0 b	10.0 b	100.0 a
CV	31.20	11.81	13.82	23.73

C.V.= Coeficiente de variación datos transformados ($\sqrt{x+10}$ para Necrosamiento y $\sqrt{x+1}$ para incremento de volumen y explantes con callo). † La viabilidad se evaluó a los 35 días. †† Medias por columna y factor de estudio con distintas letras son significativamente diferentes (Tukey P≤0.05). P=Pétalo; E=estaminodio; A= anteras.

Necrosamiento

En el análisis factorial, la interacción entre los factores no fue significativa para la necrosis, mientras que para la viabilidad si presentó efectos significativos; no obstante, en ambas variables, el efecto simple del factor tipo de explante fue el que contribuyó más a la variabilidad del experimento. Para el factor genotipo, a los 28 días de cultivo, los explantes de ambos genotipos presentaron porcentajes desde 21 a 84%, el material del genotipo F9P6 presentó menos oscurecimiento durante todo el cultivo (Figura 3-A). En cuanto al factor tipo de explante (Figura 3-B), los estaminodios y anteras resistieron mejor el necrosamiento (29.5% y 30.06% respectivamente) que los pétalo (70.15%).

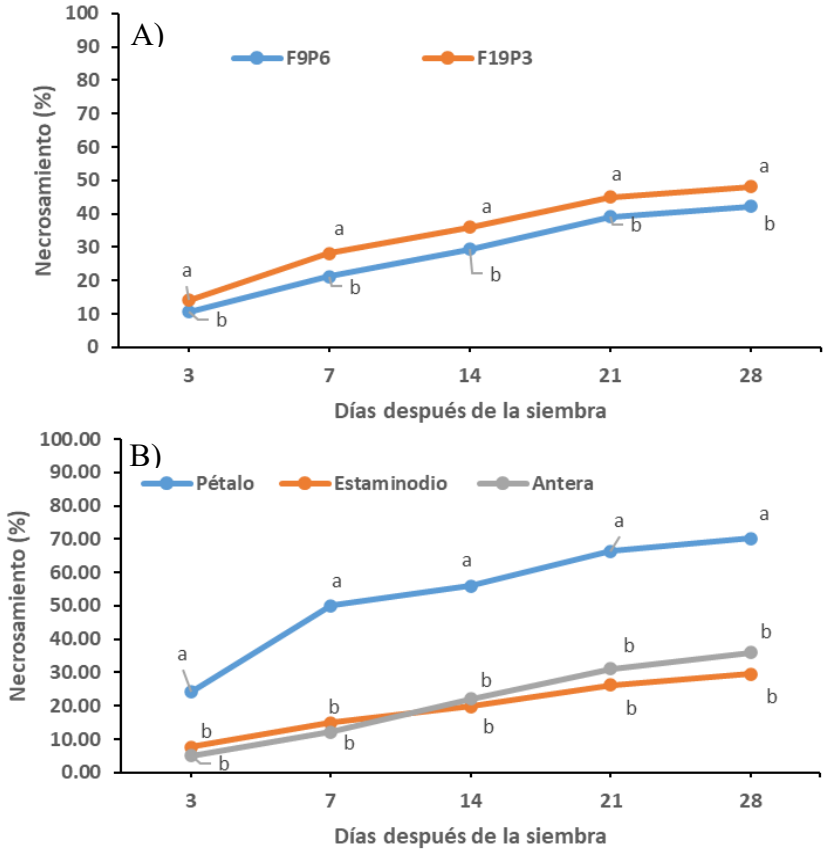


Figura 3. Porcentaje de necrosamiento promedio de los explantes crioconservados, para los dos genotipos de *Theobroma cacao* (A) y los tres tipos de explantes florales (B). Letras distintas por fecha de evaluación indican diferencias significativas (Tukey P≤0.05). Agrupamientos estadísticos de datos promedio a los 28 días con base a la transformación $\sqrt{x+1}$.

Figure 3. Percentage of necrosis in two *Theobroma cacao* genotypes (A) and in three types of floral explants (B) under the best-performing treatments. Different letters for each evaluation date indicate significant differences (Tukey, $P \leq 0.05$). Statistical groupings of mean values at 28 days based on $\sqrt{x+1}$ transformation.

El mejor tratamiento para el genotipo F9P6 correspondió al T3 (pétalos deshidratados con gel de sílice) y para el F19P3 el T13 (pétalos deshidratados en flujo), en ambos casos deshidratados durante 3 h (Tabla 1). Sin embargo, al comprar ambos tratamientos con sus respectivos blancos durante los 28 días de cultivo, los tratamientos T3 y T13 mostraron una acelerada necrosis durante los primeros 14 días, la cual tendió a estabilizarse en valores cercanos al 70% a partir de los 21 días (Figura 4). En general, los explantes sometidos a deshidratación presentaron mayor necrosamiento que los blancos, a excepción de las anteras, donde el necrosamiento de los blancos fue mayor que los tratamientos (Tabla 1 y 2).

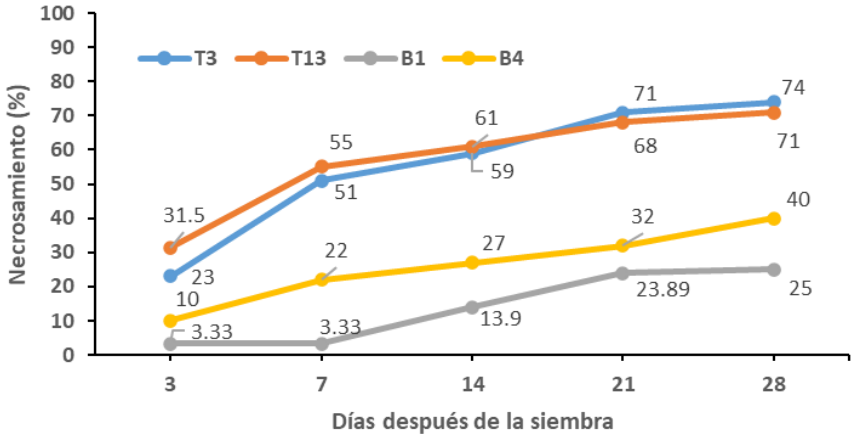


Figura 4. Porcentaje de necrosamiento de pétalos de mejores tratamientos con respecto a la variable necrosamiento, en contraste con blancos. T3: pétalos del genotipo F9P6 deshidratados con gel de sílice por 3 h; T13: pétalos del genotipo F19P3 deshidratados en flujo por 3 h; B1: pétalos del genotipo F9P6; B4: pétalos del genotipo F19P3.
Figure 4. Percentage of necrosis in petals under the best-performing treatments for the necrosis variable, in comparison with controls. T3: Petals of genotype F9P6 dehydrated with silica gel for 3 h; T13: Petals of genotype F19P3 dehydrated by airflow for 3 h; B1: Petals of genotype F9P6; B4: Petals of genotype F19P3.

Los explante de los blancos (sin tratamiento de deshidratación) fueron los únicos que presentaron un incremento de volumen (Tabla 2), siendo los explantes de pétalo y estaminodios los que expresaron mayor incremento de volumen (18 y 16%, respectivamente), no se observó diferencias significativas entre genotipos (Figura 5).

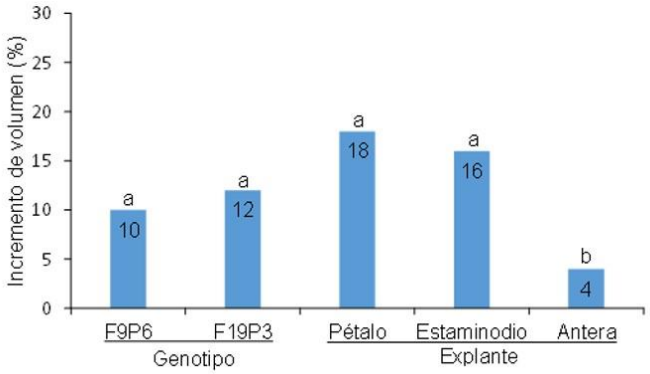


Figura 5. Incremento de volumen por genotipo (F9P6 y F19P3) y tipo de explante (pétalos, estaminodios y anteras) de *Theobroma cacao*, en blancos. Letras distintas por factor indican diferencias significativas (Tukey P≤0.05). Agrupamientos estadísticos de datos promedio a los 28 días con base a la transformación √(x+1).
Figure 5. Volume increase by genotype (F9P6 and F19P3) and type of explant (petals, staminodes and anthers) of *Theobroma cacao*, in blanks. Different letters per factor indicate significant differences (Tukey's test, P≤0.05). Statistical groupings based on mean values at 28 days using the √(x+1) transformation.

Explantes con callo

Los explantes blancos fueron los únicos que indujeron callo. Se observó que ambos genotipos presentaron una respuesta similar para esta variable. Los explantes de pétalo fueron los que expresaron mayor formación de callo (14 %), seguido de los estaminodios (6%), mientras que las anteras no presentaron incremento de volumen por formación de callo (Figura 6).

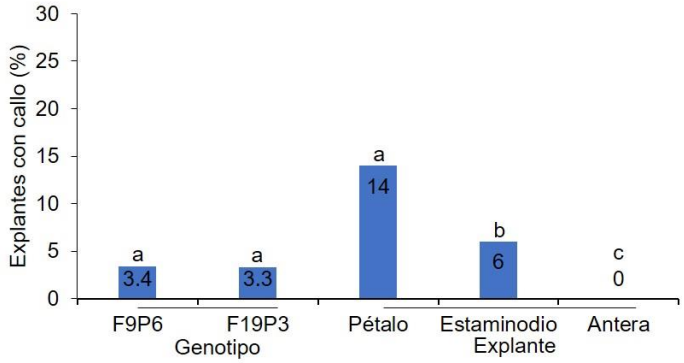


Figura 6. Explantes con callo de acuerdo con el genotipo (F9P6 yF19P3) y tipo de explantes (pétalos, estaminodios y anteras) de de *Theobroma cacao*, en blancos. Letras distintas por factor indican diferencias significativas (Tukey P≤0.05). Agrupamientos estadísticos de datos promedio a los 28 días con base a la transformación √(x+1).
Figure 6. Explants with callus according to the genotype (F9P6 and F19P3) and type of explants (petals, staminodes and anthers) of *Theobroma cacao*, in blanks. Different letters per factor indicate significant differences (Tukey's test, P≤0.05). Statistical groupings based on mean values at 28 days using the √(x+1) transformation.

Viabilidad

La prueba de viabilidad a los 35 días reveló tejido aún vivo en pétalos y anteras de los tratamientos, siendo los pétalos los que presentan porcentajes de hasta 100 % de sobrevivencia (Cuadro 1).

No obstante, los altos índices de necrosamiento en los explantes, la prueba demostró la viabilidad en pétalos y anteras, a los 35 días después de ser recuperados del nitrógeno líquido, por lo que la encapsulación y deshidratación permitieron la viabilidad del explante, aunque se notan ciertas partes del explante muertas o zonas teñidas (Figura 7).

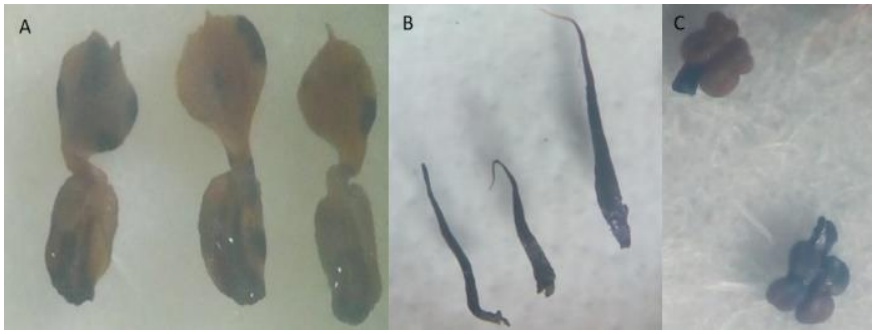


Figura 7. Prueba de viabilidad en explantes crioconservados teñidos con azul de Evans. Pétalos (A), Estaminodios (B) y Anteras (C).
Figure 7. Viability test on cryopreserved explants stained with Evans blue. Petals (A), staminodes (B), and anthers (C).

Experimento 2: Crioconservación por el método de encapsulación-vitrificación

Se realizó un ANOVA y comparación de medias únicamente para las variables de necrosamiento y viabilidad a los 28 días (Tabla 3), ya que solo los blancos presentaron incremento de volumen y callo. Se observó que, si bien no hubo diferencias en el porcentaje de necrosamiento (25.63 – 54.44 %), los pétalos y estaminodios presentaron mayor incremento de volumen (100 %) que las anteras (50 y 56%); sin embargo, no hubo diferencia estadística en la producción de callo (25 - 80%). Todos los explantes de los blancos presentaron 100 % de viabilidad (Tabla 4).

Tabla 3. Niveles de necrosamiento y viabilidad en explantes florales de dos genotipos de cacao, sometidos a precultivo con y sin sacarosa y dos soluciones crioprotectoras. Promedio de niveles de factores a los 28 dds
Table 3. Necrosis levels and viability in floral explants of two cacao genotypes subjected to preculture with or without sucrose and two cryoprotectant solutions. Mean factor levels at 28 days after culture initiation

Tratamientos Genotipo/Explante/Deshidratación/Tiempo	Necrosamiento (%)	Viabilidad† (%)
T1: F9P6/P/PreC0.0/PVS2	89.00 a††	100.0 a
T2: F9P6/P/PreC0.0/PVS4	85.00 a	100.0 a
T3: F9P6/P/PreC0.75/PVS2	86.00 a	80.0 a
T4: F9P6/P/PreC0.75/PVS4	89.00 a	100.0 a
T5: F9P6/E/PreC0.0/PVS2	63.00 abcd	0.0 b
T6: F9P6/E/PreC0.0/PVS4	50.00 bcdef	0.0 b
T7: F9P6/E/PreC0.75/PVS2	45.50 def	0.0 b
T8: F9P6/E/PreC0.75/PVS4	60.00 abcde	0.0 b
T9: F9P6/A/PreC0.0/PVS2	34.50 ef	0.0 b
T10: F9P6/A/PreC0.0/PVS4	51.00 cdef	0.0 b
T11: F9P6/A/PreC0.75/PVS2	46.00 def	0.0 b
T12: F9P6/A/PreC0.75/PVS4	56.88 abcdef	0.0 b
T13: F19P3/P/PreC0.0/PVS2	73.50 abcd	100.0 a
T14: F19P3/P/PreC0.0/PVS4	81.11 abc	80.0 a
T15: F19P3/P/PreC0.75/PVS2	83.00 ab	80.0 a
T16: F19P3/P/PreC0.75/PVS4	84.00 ab	20.0 b
T17: F19P3/E/PreC0.0/PVS2	60.50 abcde	0.0 b
T18: F19P3/E/PreC0.0/PVS4	69.00 abcd	0.0 b
T19: F19P3/E/PreC0.75/PVS2	45.00 def	0.0 b
T20: F19P3/E/PreC0.75/PVS4	55.50 abcde	0.0 b
T21: F19P3/A/PreC0.0/PVS2	50.00 def	0.0 b
T22: F19P3/A/PreC0.0/PVS4	51.00 cdef	0.0 b
T23: F19P3/A/PreC0.75/PVS2	28.50 f	0.0 b
T24: F19P3/A/PreC0.75/PVS4	50.50 cdef	0.0 b
CV	16.51	6.82

C.V.= Coeficiente de variación datos transformados ($\sqrt{x+1}$). † La viabilidad se evaluó a los 35 dds. †† Medias por columna y factor de estudio con distintas letras son significativamente diferentes (Tukey P≤0.05). G1: genotipo F9P6; G2: genotipo F19P3; P: pétalo; E: estaminodio; A: Antera; PreC0.0: precultivo sin sacarosa; PreC0.75: precultivo con sacarosa 0.75 M; PVS2: Crioprotector PVS2; PVS4: Crioprotector PVS4.

Tabla 4. Niveles de Necrosamiento, incremento de volumen, explantes con callo y supervivencia de explantes florales de dos genotipos de cacao no crioconservados (Blancos). Promedio a los 28 días después del establecimiento
Table 4. Necrosis levels, volume increase, explants with callus, and survival of floral explants from two non-cryopreserved cacao genotypes (Blanks). Mean values at 28 days after establishment

Blancos (Genotipo/Explante)	Necrosamiento (%)	Incremento de volumen (%)	Explantes con callo (%)	Viabilidad† (%)
B1: F9P6/P	42.50 a††	100.0 a	50.0 a	100.0 a
B2: F9P6/E	26.50 a	100.0 a	80.0 a	100.0 a
B3: F9P6/A	54.44 a	56.0 b	33.0 a	100.0 a
B4: F19P3/P	41.50 a	100.0 a	50.0 a	100.0 a
B5: F19P3/E	31.00 a	100.0 a	40.0 a	100.0 a
B6: F19P3/A	25.63 a	50.0 b	25.0 a	100.0 a
CV	25.51	8.98	17.14	0.0

C.V.= Coeficiente de variación datos transformados ($\sqrt{x+10}$ para Necrosamiento y $\sqrt{x+1}$ para incremento de volumen y explantes con callo). † La viabilidad se evaluó a los 35 después del establecimiento. †† Medias por columna y factor de estudio con distintas letras son significativamente diferentes (Tukey P≤0.05). P=Pétalo; E=estaminodio; A= anteras.

Necrosamiento

De acuerdo con el análisis factorial, a lo largo de 28 días, el necrosamiento aumentó progresivamente en ambos genotipos, y no se apreciaron diferencias significativas entre ellos (Figura 8-A). En el caso del factor tipo de explante, éstos presentaron altos porcentajes de necrosamiento (Tabla 3), no obstante, los pétalos fueron los más afectados desde el inicio hasta el final de experimento (76%) (Figura 8-B).

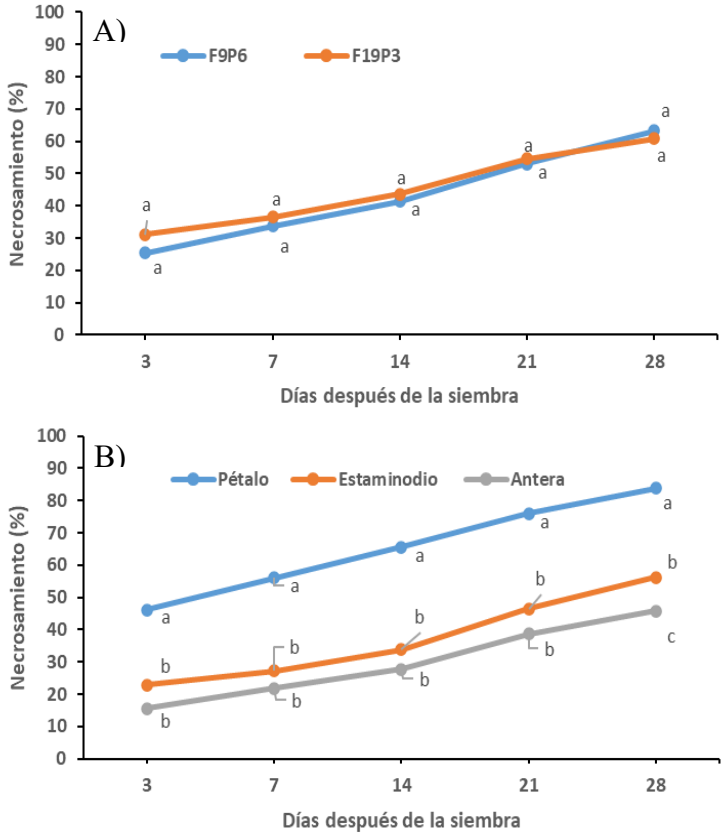


Figura 8. Porcentaje de necrosamiento en los genotipos F9P6 y F19P3 de *Theobroma cacao* (A) y en los pétalos, estaminodios y anteras (B). Letras distintas por fecha de evaluación indican diferencias significativas (Tukey P≤0.05). Agrupamientos estadísticos de datos promedio a los 28 días con base a la transformación $\sqrt{x+1}$.

Figure 8. Percentage of necrosis in two *Theobroma cacao* genotypes (A) and in three types of floral explants (B). Different letters for each evaluation date indicate significant differences (Tukey, P ≤ 0.05). Statistical groupings of mean values at 28 days based on $\sqrt{x+1}$ transformation.

Los tratamientos de ambos genotipos que incluyen a los explantes de pétalos, fueron los que presentaron los mayores niveles de necrosamiento (73 a 89%) y no presentaron diferencias estadísticas entre ellos. No obstante, fueron los únicos tratamientos que mostraron viabilidad en parte de sus tejidos (Tabla 3). Entre estos tratamientos, el T2 (Pétalos de F9P6 con precultivo sin

sacarosa y PVS4 como crioprotector) y T13 (Pétalos de F19P3 con precultivo sin sacarosa y PVS2 como crioprotector), podrían ser seleccionados, toda vez que presentan numéricamente un valor menor de necrosis y 100% de viabilidad. En este caso particular, al ser comprados ambos con los respectivos blancos (B1 y B4) durante 28 días de cultivo (Figura 9), se observó que los blancos presentaron en cada fecha de evaluación aproximadamente la mitad de necrosis que T2 y T13. De igual manera, tanto para los tratamientos T2 y T13, así como para los blancos, el nivel de necrosamiento se incrementó cerca del doble desde el inicio del cultivo hasta el final de la evaluación (Figura 9).

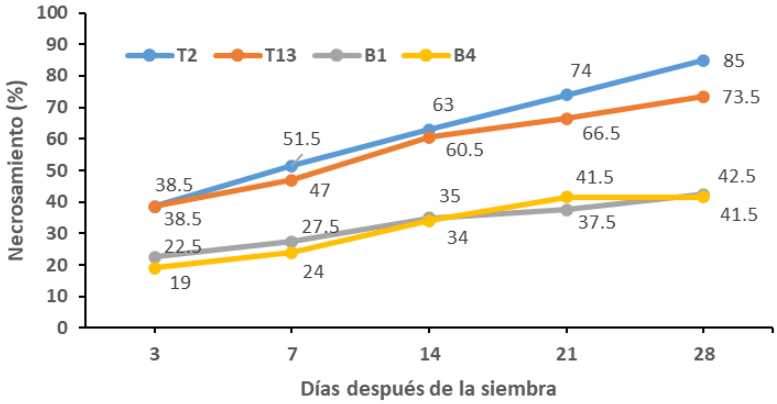


Figura 9. Porcentaje promedio de necrosamiento de Pétalos en los mejores tratamientos, respecto a la variable necrosamiento, en contraste con blancos. T2: Pétalos de F9P6 con sacarosa 0.0 M y PVS4 como crioprotector; T13: Pétalos de F19P3 sin sacarosa y PVS2 como crioprotector; B1: Pétalos de F9P6: B4: Pétalos de F19P3.
Figure 9. Figure 9. Mean percentage of petal necrosis in the best treatments, based on the necrosis variable, in comparison with blanks. T2: Petals of F9P6 with 0.0 M sucrose and PVS4 as cryoprotectant; T13: Petals of F19P3 with 0.0 M sucrose and PVS2 as cryoprotectant; B1: Petals of F9P6; B4: Petals of F19P3.

Por otro lado, no se detectaron diferencias significativas para necrosamiento entre los tratamientos con estaminodios y anteras como explantes. Si bien en el caso de los explantes de estaminodio y anteras se identificaron tratamientos con bajo porcentaje de necrosamiento (T7, T19 para estaminodio y T9, T23 para anteras), en ningún caso los explantes fueron viables (Tabla 3).

Incremento de volumen

Los explantes crioconservados no presentaron un incremento de volumen luego de ser crioconservados, no así los blancos, en los que sí se apreció un incremento de volumen (Tabla 4). El análisis factorial permitió identificar que, para los tratamientos blanco, ambos genotipos expresaron el mismo nivel de incremento de volumen, donde los pétalos y estaminodios fueron más reactivos que las anteras (Figura 10).

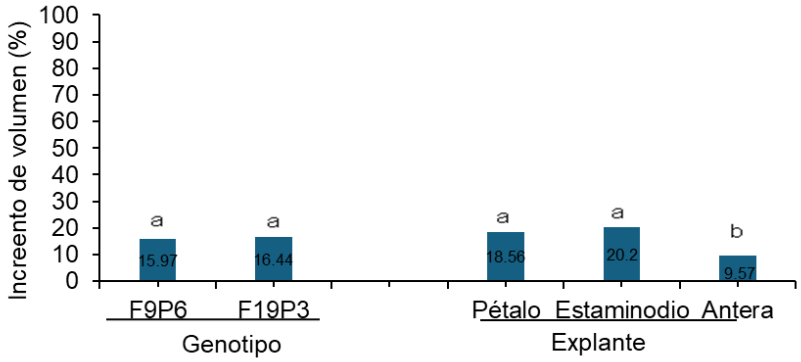


Figura 10. Incremento de volumen en tres explantes florales (pétalos, estaminodios y anteras) de dos genotipos (F9P6 y F19P3) de *Theobroma cacao*, en blancos. Letras distintas por factor indican diferencias significativas (Tukey P≤0.05). Agrupamientos estadísticos de datos promedio a los 28 días con base en la transformación √(x+1).
Figure 10. Volume increase in three floral explants (petals, staminodes and anthers) of two genotypes (F9P6 and F19P3) of *Theobroma cacao*, in blanks. Different letters for each factor indicate significant differences (Tukey, P ≤ 0.05). Statistical groupings of mean values at 28 days based on √(x+1) transformation.

Explantes con callo

En los explante crioconservados no se observó la presencia de callo. Solo los blancos formaron callo e incrementaron su volumen, en ambos genotipos, expresando una respuesta similar. Nuevamente la reactividad de los pétalos y estaminodios fue similar y superior a las anteras (Figura 11).

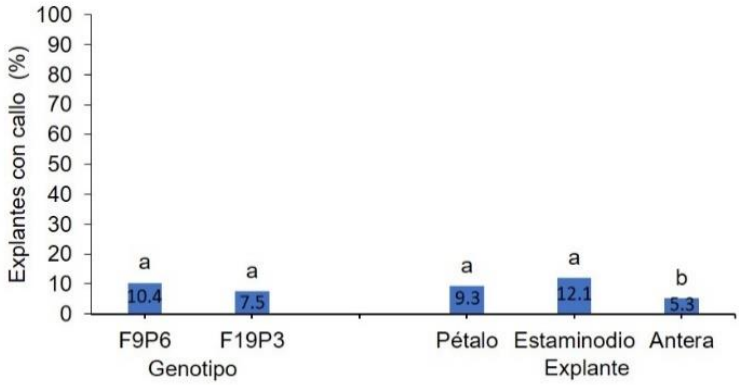


Figura 11. Explantes con callo en tres explantes florales (pétalos, estaminodios y anteras) de dos genotipos (F9P6 y F19P3) de *Theobroma cacao*, en blancos. Letras distintas por factor indican diferencias significativas (Tukey P≤0.05). Agrupamientos estadísticos de datos promedio a los 28 días con base a la transformación √(x+1).
Figure 11. Explants with callus on three floral explants (petals, staminodes and anthers) of two genotypes (F9P6 and F19P3) of *Theobroma cacao*, in blanks. Means for each factor with different letters different letters differ significantly (Tukey test, P ≤ 0.05). Statistical groupings based on mean values at 28 days using √(x+1) transformation.

Viabilidad

A pesar de los altos índices de necrosamiento observados, fue posible identificar porcentajes de viabilidad entre 20 y 100%, pero solo en explantes de pétalo (Tabla 3). No obstante, no se apreciaron diferencias estadísticas importantes, a excepción del tratamiento T16 con solo 20% de

viabilidad, el cual correspondió al genotipo F19P3 con precultivo con sacarosa (0.75 M) y el crioprotector PVS4.

DISCUSIÓN

A pesar de los altos índices de necrosamiento observados, los resultados demostraron que los explantes de pétalo conservaron viabilidad hasta 35 días después de ser recuperados del nitrógeno líquido (Figura 6). Esto indica que las técnicas de crioconservación aplicadas permitieron preservar parcialmente la integridad tisular. No obstante, se observaron daños localizados (zonas teñidas) que probablemente limitaron la reactivación del crecimiento y la reactivación de crecimiento en los explantes crioconservados (hasta los 28 días). De acuerdo con Azofeifa (2009), el oscurecimiento de los tejidos cultivados *in vitro* puede deberse a la oxidación de compuestos fenólicos, proceso común en explantes sometidos a estrés fisiológico o manipulación, y que también podría contribuir al necrosamiento observado en este estudio. Por otra parte, se ha señalado que la presencia de necrosis en los explantes no descarta completamente su potencial morfogénico, por lo que el necrosamiento observado en los pétalos de cacao no necesariamente implica una pérdida total de viabilidad (Guzmán, 2010; Tirado, 2014), en realidad, estos altos niveles de necrosamiento en los explantes de cacao cultivados *in vitro*, incluso en los tratamientos blanco de ambos genotipos, son típicos, pues se relaciona con la condición recalcitrante del material (Fuentes, 2014; Orozco, 2008; Suriano, 2009). Por otra parte, Chalker-Scott y Fuchigami (1989) también relacionan el necrosamiento con lesiones causadas por el frío, las cuales se deben a la rotura de las membranas celulares y pueden provocar la muerte del explante. Cabe mencionar que la formación de hielo no es el único factor que puede afectar gravemente a las células: durante la congelación o deshidratación, la salida de agua del citoplasma concentra los solutos intracelulares (iones y sales), alcanzando niveles que pueden resultar tóxicos para las estructuras celulares (Adu-Gyamfi & Wetten, 2012). Asimismo, un exceso de deshidratación puede disminuir peligrosamente el potencial hídrico y la turgencia celular, generando deformaciones estructurales irreversibles (Gowthami *et al*., 2025).

Aunque se han obtenido resultados favorables sobre el efecto del precultivo en medios enriquecidos con carbohidratos para la recuperación de explantes crioconservados (Abdelnour, 1999; Ballesteros *et al*., 2024; Fang *et al*., 2004; Gonzalez-Arnao & Engelmann, 2006), en este estudio los explantes precultivados con 0.75 M de sacarosa no mostraron una respuesta morfogénica superior respecto a los precultivados sin sacarosa.

Si bien la sacarosa cumple una función importante en la crioprotección, algunos tratamientos pueden resultar nocivos, ya sea por concentraciones elevadas (Gowthami *et al*., 2025) o por tiempos de exposición prolongados durante el precultivo, los cuales pueden inducir la acumulación de compuestos fenólicos y promover el marchitamiento por necrosis, reduciendo la supervivencia (Poobathy *et al*., 2013; Sakai & Engelmann, 2007).

De acuerdo con Sánchez-Chiang y Jiménez (2010), las soluciones vitrificadoras como PVS2 o PVS4 son mezclas altamente concentradas que pueden causar plasmólisis excesiva y choque osmótico, afectando negativamente los tejidos tras el descongelamiento. Esto puede deberse a la presencia de crioprotectores como el DMSO, que, aunque puede penetrar las células y protegerlas durante la congelación, también puede resultar tóxico para especies tropicales. Por ello, tanto los crioprotectores como sus combinaciones deben seleccionarse cuidadosamente (Sánchez-Chiang & Jiménez, 2010; Zamecnik *et al*., 2021). Según Sakai *et al*. (1991), las soluciones vitrificadoras previenen la formación de cristales de hielo en diversas especies; sin embargo, una encapsulación deficiente en este estudio pudo haber provocado daños celulares permanentes que impidieron la reactivación del crecimiento.

En cuanto a la viabilidad, (Zhang *et al*., 2017), reportaron una exitosa crioconservación y recuperación de anteras de *Citrus cavaleriei* y *Citrus maxima,* al pasar por un proceso de deshidratación previamente. En contraste, en el presente estudio no se observó incremento de volumen que indicara actividad celular tras la crioconservación en ninguno de los tres tipos de explantes. Es probable que una deshidratación excesiva durante el proceso haya afectado la

integridad de los tejidos (Osorio *et al*., 2011), reduciendo drásticamente la viabilidad de los estaminodios y anteras, no así en los pétalos, aunque no expresaron respuesta morfogénica, por lo que se innegablemente también sufrieron daño. Dicho daño podría deberse a alteraciones estructurales generadas por la pérdida de agua antes de la crioconservación, que provocan el colapso celular y limitan la recuperación posterior al descongelamiento (Sakai & Engelmann, 2007). Asimismo, no se descarta que durante la crioconservación se formen metabolitos secundarios capaces de inhibir la división celular y la regeneración de los explantes (Cisne, 1992).

CONCLUSIONES

La crioconservación de explantes florales encapsulados de cacao mediante las técnicas de encapsulación-deshidratación y encapsulación-vitrificación permitió preservar la viabilidad de los pétalos en los genotipos F9P6 y F19P3, mientras que los estaminodios y anteras no sobrevivieron al proceso. La encapsulación-deshidratación fue más efectiva al emplear deshidratación con gel de sílice o flujo laminar durante 3 a 5 h, según el genotipo. En tanto, la encapsulación-vitrificación resultó exitosa al utilizar crioprotectores (PVS2 y PVS4) sin precultivo con sacarosa, destacando su eficacia en los pétalos del genotipo F9P6.
Estos resultados constituyen una base útil para el desarrollo de bancos de germoplasma *in vitro*, que aseguren la disponibilidad de material para la embriogénesis somática y conservación de variedades élite.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a SADER-CONAHCyT por el financiamiento para la realización del presente trabajo de investigación, a través del proyecto 2017-02-00291417: “Desarrollo de innovaciones tecnológicas para el manejo integral sustentable del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en México”.

LITERATURA CITADA

Abdelnour, A. (1999). Crioconservación de plantas, estado actual de la investigación en Costa Rica. *Agronomia Costarricense*, *23(2)*, 205–214. https://link.gale.com/apps/doc/A109220326/IFME?u=anon~873386c4&sid=googleScholar&xid=7d25c7cf

Adu-Gyamfi, R., & Wetten, A. (2012). Cryopreservation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) somatic embryos by vitrification. *CryoLetters*, *33*(6), 494–505.

Adu-Gyamfi, R., Wetten, A., & Marcelino Rodríguez López, C. (2016). Effect of Cryopreservation and Post-Cryopreservation Somatic Embryogenesis on the Epigenetic Fidelity of Cocoa (*Theobroma cacao* L.). *PLOS ONE*, *11*(7), e0158857. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158857

Aguirre-Medina, J. F., Alonso-Báez, M., Iracheta-Donjuan, L., Grajales-Solis, M., Avendaño-Arrazate, C. H., Sandoval-Esquivez, A., Mendoza-López, A., Solís-Bonilla, J. L., Olivera-de los Santos, A., López-Navarrete, M. C., Zamarripa-Colmenero, A., Gallardo-Méndez, R. A., & López-Guillen, G. (2010). *Tecnologías para la producción de cacao*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa. Libro técnico Núm. 6. Tuxtla Chico, Chiapas.

Avendaño-Arrazate, C. H., Guillén-Díaz, S., & Hernández-Gómez, E. (2018). “Regalo de Dios”: Clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) tolerante a *Moniliophthora roreri* Cif & Par, para la renovación de las zonas cacaoteras de México. *Agroproductividad*, *11*(9), 173–176.

Azofeifa, Á. (2009). Problemas de oxidación y oscurecimiento de explantes cultivados *in vitro*. *Agronomía Mesoamericana*, *20*(1), 153–175.

Ballesteros, D., Martínez, M. T., Sánchez-Romero, C., Montalbán, I. A., Sales, E., Moncaleán, P., Arrillaga, I., & Corredoira, E. (2024). Current status of the cryopreservation of embryogenic material of woody species. *Frontiers in Plant Science*, *14*. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1337152

Bartlett, D. W., Clough, J. M., Godwin, J. R., Hall, A. A., Hamer, M., & Parr-Dobrzanski, B. (2002). The strobilurin fungicides. *Pest Management Science*, *58*, 649–662. https://doi.org/10.1002/ps.520

Castañeda, P. R. (1990). *Bioestadística aplicada*. Trillas. https://books.google.com.mx/books?id=RfVBPgAACAAJ

Chalker-Scott, L., & Fuchigami, L. H. (1989). The role of phenolic compounds in plant stress responses. *Low Temperature Stress Physiology in Crops*, 68–76.

Cisne, C. J. D. (1992). Criopreservación de embriones cigóticos y somáticos de cacao. [Tesis de maestría]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Driver, J., & Kuniyuki, A. H. (1984). *In vitro* propagation of Paradox Walnut root stock. *HortScience: A Publication of the American Society for Horticultural Science*, *18*, 506–509. https://doi.org/https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.4.507

Engelmann, F., & González-Arnao, M. T. (2013). Introducción a la conservación *ex situ* de los recursos genéticos vegetales. In M. T. González-Arnao & F. Engelmann (Eds.), *Crioconservación de plantas en américa latina y el caribe* (pp. 25–35). IICA.

Fang, J.-Y., Wetten, A., & Hadley, P. (2004). Cryopreservation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) somatic embryos for long-term germplasm storage. *Plant Science*, *166*(3), 669–675. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.11.002

Fuentes, B. A. (2014). Respuesta del callo embriogénico de cacao a modificaciones de la consistencia y componentes del medio de cultivo [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma de Chiapas.

Gonzalez-Arnao, M. T., & Engelmann, F. (2006). Cryopreservation of plant germplasm using the encapsulation-dehydration technique: Review and case study on sugarcane. *CryoLetters*, *27*(3), 155–168.

Gowthami, R., Agrawal, A., Chander, S., Pandey, R., Sharma, N., Gupta, S., Srivastava, V., Malhotra, E. V., Bansal, S., Malik, S. K., Mahendru-Singh, A., & Singh, G. P. (2025). *In vitro* Genebank of India for safe conservation of horticultural plant diversity: four decades of milestones. *3 Biotech*, *15*(11), 1–26. https://doi.org/10.1007/s13205-024-04177-2

Guan, Y., Li, S. G., Fan, X. F., & Su, Z. H. (2016). Application of somatic embryogenesis in woody plants. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 938. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00938

Guzmán, T. B. (2010). Efecto del tipo de explante, estado y componentes del medio de cultivo en el origen y formación *in vitro* de tejido embrionario de cacao (*Theobroma cacao* L.*)* [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma de Chiapas.

Hernández-Gómez, E., Hernández-Morales, J., Avendaño-Arrazate, C. H., López-Guillen, G., Garrido-Ramírez, E. R., Romero-Nápoles, J., & Nava-Díaz, C. (2015). Factores socieconómicos y parasitológicos que limitan la producción del cacao en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, *33(2)*, 232–246. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092015000200232&lng=es&tlng=es.

Iracheta-Donjuan, L., Cruz-López, L. A., López-Gómez, P., Avendaño-Arrazate, C. H., & Ortíz-Curiel, S. (2019). 2iP y brasinosteroides promueven la inducción de la embriogénesis somática en *Theobroma cacao* L. *Agro Productividad*, *12*(1), 65–70. https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1340

Iracheta-Donjuan, L., López-Gómez, P., & Avendaño-Arrazate, C. (2017). Variabilidad de la capacidad morfogénica *in vitro* de híbridos interclonales de *Theobroma cacao* L. In E. de J. Pérez Álvarez & M. B. Arévalo Dorry (Eds.), *Congreso Mesoamericano de*

Investigación UNACH (pp. 1404–1409). Universidad Autónoma de Chiapas. https://dgip.unach.mx/images/CMIU/PDF/CMIU-2017.pdf

Marassi, M. A., Scocchi, A., & Gonzalez, A. M. (2006). Plant regeneration from rice anthers cryopreserved by an encapsulation/dehydration technique. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, *42*(1), 31–36. https://doi.org/10.1079/IVP2005746

Matsumoto, T., & Niino, T. (2017). Development of vitrification method. In T. Niino, T. Matsumoto, S. Yamamoto, S. Mki, D. Tanaka, & F. Engelmann (Eds.), *Manual of Cryopreservation Methods using Cryo-plate* (pp. 8–15). PTCCryo Group.

Mohammadi, M. A., Wai, M. H., Rizwan, H. M., Qarluq, A. Q., Xu, M., Wang, L., Cheng, Y., Aslam, M., Zheng, P., Wang, X., Zhang, W., & Qin, Y. (2023). Advances in micropropagation, somatic embryogenesis, somatic hybridizations, genetic transformation and cryopreservation for Passiflora improvement. *Plant Methods*, *19*, 50. https://doi.org/10.1186/s13007-023-01030-0

Mosa, K. A., Ahmed, A. E., Hazem, Y., Kanawati, I. S., Abdullah, A., Hernandez-Sori, L., Ali, M. A., & Vendrame, W. (2023). Insights into cryopreservation, recovery and genetic stability of medicinal plant tissues. *Fitoterapia*, *169*, 105555. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2023.105555

Orozco, W. V. (2008). Establecimiento in vitro e inducción de la organogénesis en clones de cacao resistentes a la moniliasis [Tesis de licenciatura]. Universidad autónoma de Chiapas.

Osorio, S. A., Mascorro Gallardo, J. O., Rodríguez de la O, J. L., Melchor López, C., & González Arnao, M. T. (2011). Crioconservación de ápices de crisantemo (*Dendranthema grandiflorum* Kitam) por encapsulación-deshidratación y por vitrificación. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *XVII*, 33–43.

Pence, V. C. (1991). Cryopreservation of immature embryos of *Theobroma cacao*. *Plant Cell Reports*, *10*, 144–191.

Pineda-Aguilar, J., Iracheta-Donjuan, L., Avendaño-Arrazate, C. H., & López-Gómez P. (2016). Efecto del precultivo con elicitores y crioprotectores en la reactivación de callos de *Theobroma cacao* L. *Memorias de XI Congreso de Biotecnología*.

Poobathy, R., Xavier, R., Sinniah, U. R., & Subramaniam, S. (2013). Molecular stability of protocorm-like bodies of *Dendrobium* sonia-28 after encapsulation- dehydration and vitrification. *Australian Journal of Crop Science*, *7*, 189–195.

Robles, G. K. K. (2015). Efecto de la vernalización y reguladores de crecimiento en la inducción de callo haploide de *Theobroma cacao* L. [Tesis de licenciatura]. Universidad autónoma de Chiapas.

Sakai, A., & Engelmann, F. (2007). Vitrification, Encapsulation-Vitrification and Droplet-Vitrification: A review. *CryoLetters*, *28(3)*, 151–172.

Sakai, A., Kobayashi, S., & Oiyama, I. (1991). Cryopreservation of nucellar cells of navel orange (*Citrus sinensis* Osb.) by a simple freezing method. *Plant Science*, *74*(2), 243–248. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0168-9452(91)90052-A

Sánchez-Chiang, N., & Jiménez, V. M. (2010). Técnicas de conservación *in vitro* para el establecimiento de bancos de germoplasma en cultivos tropicales. *Agronomía Mesoamericana*, *21(1)*, 193–205.

Silva, J. J., Montes Cruz, S., Acosta Pompa, L., Arias, E., & García Alcántara, A. (2005). Embriogénesis somática: una alternativa para la propagación, mejoramiento y conservación de germoplasma en cacao. *Cuadernos de Biodiversidad*, *16*, 9–12. https://doi.org/10.14198/cdbio.2005.16.02

Solís, J. L., Zamarripa Colmenero, A., Pecina Quintero, V., Garrido Ramírez, E., & Hernández Gómez, E. (2015). Evaluación agronómica de híbridos de cacao (*Theobroma cacao* L.) para selección de alto rendimiento y resistencia en campo a moniliasis. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *6 (1)*, 71–82.

Suriano, de P. Y. (2009). Introducción de Embriogénesis somática en genotipos de cacao con diferente grado de resistencia a la moniliasis [Tesis para ingeniero biotecnólogo]. Universidad Autónoma de Chiapas.

Recibido:
9/julio/2025

Aceptado:
5/diciembre/2025

Tirado, P. B. (2014). Efecto del medio de cultivo y tamaño del explante sobre la embriogénesis secundaria en *Theobroma cacao* L. [Tesis de licenciatura]. Universidad autónoma de Chiapas.

Zamecnik, J., Faltus, M., & Bilavcik, A. (2021). Vitrification solutions for plant cryopreservation: Modification and properties. *Plants*, *10*(12), 2623. https://doi.org/10.3390/plants10122623

Zhang, J.-M., Lu, X.-X., Xin, X., Yin, G.-K., He, J.-J., Huang, B., Jiang, D., & Chen, X.-L. (2017). Cryopreservation of Citrus anthers in the National Crop Genebank of China. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, *53*(4), 318–327. https://doi.org/10.1007/s11627-017-9848-z

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA EN CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y PATAXTE (*T. bicolor* Humb. & Bonpl.) DE LOS ESTADOS DE TABASCO Y CHIAPAS, MÉXICO

GENETIC DIVERSITY ANALYSIS IN COCOA (*Theobroma cacao* L.) AND PATAXTE (*T. bicolor* Humb. & Bonpl.) FROM TABASCO AND CHIAPAS, MEXICO

Hernández Montes, F.S., G.C. Rodríguez Castillejos, G. Castañón Nájera, O. Castillo-Ruiz, C.A. Pérez Obrador, H.W. Araujo Torres, R. Ruíz Salazar

ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA EN CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y PATAXTE (*T. bicolor* Humb. & Bonpl.) DE LOS ESTADOS DE TABASCO Y CHIAPAS, MÉXICO
GENETIC DIVERSITY ANALYSIS IN COCOA (*Theobroma cacao* L.) AND PATAXTE (*T. bicolor* Humb. & Bonpl.) FROM TABASCO AND CHIAPAS, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 295-310 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.17

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Análisis de la diversidad genética en cacao (*Theobroma cacao* L.) y pataxte (*T. bicolor* Humb. & Bonpl.) de los estados de Tabasco y Chiapas, México

Genetic diversity analysis in cocoa (*Theobroma cacao* L.) and pataxte (*T. bicolor* Humb. & Bonpl.) from Tabasco and Chiapas, Mexico

Fernanda Sarahí Hernández-Montes https://orcid.org/0000-0003-3530-068X
Guadalupe Concepción Rodríguez-Castillejos https://orcid.org/0000-0003-0205-9340
Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa – Aztlán, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Calle 16 y Lago de Chapala S/N, CP. 88740, Reynosa, Tamaulipas

Guillermo Castañón-Nájera https://orcid.org/0000-0001-8901-0421
División Académica de Ciencias Biológicas Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Villahermosa-Cárdenas, Entronque Bosques de Saloya, kilómetro 0.5, C.P. 86040, Villahermosa, Tabasco

Octelina Castillo- Ruiz https://orcid.org/0000-0001-9566-3584
Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa – Aztlán, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Calle 16 y Lago de Chapala S/N, CP. 88740, Reynosa, Tamaulipas

Christian Asur Pérez-Obrador https://orcid.org/0000-0001-7483-0304
Colegio de postgraduados-Campus Tabasco. México. Periférico A. Molina s/n. Carr. Cárdenas-Huimanguillo km.3 C.P. 86500 Cárdenas, Tabasco, México

Hernán Wenceslao Araujo-Torres https://orcid.org/0009-0007-4140-4318
Tecnológico Nacional de México Campus Reynosa. Av. Tecnológico S/N Col. Loma real de Jarachina Sur C.P. 88730. Reynosa, Tamaulipas

Régulo Ruíz-Salazar / regulo.ruiz@docentes.uat.edu.mx
https://orcid.org/0000-0001-6579-6458
Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa – Aztlán, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Calle 16 y Lago de Chapala S/N, CP. 88740, Reynosa, Tamaulipas

RESUMEN: El cacao (*Theobroma cacao* L.), junto con el pataxte (*T. bicolor* Humb. & Bonpl) son dos especies cultivadas de suma importancia agronómica, ambas crecen juntas en plantaciones de los estados de Tabasco y Chiapas al sur de México. Las dos especies presentan cierto parecido fenotípico, y quizá genotípico, pero pocas investigaciones se han realizado para estudiar la relación genética que pudiera existir entre ambas especies. Por lo anterior, y por lo importante que son ambas especies en el sur-sureste de la república Mexicana, el objetivo del presente trabajo fue analizar la diversidad genética entre ambas especies de cacao y pataxte del sur de México. Para ello, se colectaron 56 accesiones, que pertenecen a cinco grupos genéticos de cacao (Guayaquil, Criollo, Calabacillo, Patastillo y Guayaquil rojo) y uno de Pataxte. La purificación del ADN se realizó con el fin de amplificar cuatro marcadores microsatélite, dos de ellos (mTcCIR11 y mTcCIR12), reportados como informativos en estudios de diversidad genética en cacao. Con los análisis de diversidad, se estimó el número total de alelos por *locus* (Na), el número efectivo de alelos (Ne), la heterocigosidad observada (Ho) y esperada (He) y el coeficiente de endogamia (F_{IT}). El rango alélico observado en

Fernanda Sarahi Hernández Montes, Guadalupe Concepción Rodríguez Castillejos, Guillermo Castañón Nájera, Octelina Castillo-Ruiz, Christian Asur Pérez-Obrador, Hernán Wenceslao Araujo Torres, Régulo Ruíz Salazar

ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA EN CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y PATAXTE (*T. bicolor* Humb. & Bonpl.) DE LOS ESTADOS DE TABASCO Y CHIAPAS, MÉXICO

GENETIC DIVERSITY ANALYSIS IN COCOA (*Theobroma cacao* L.) AND PATAXTE (*T. bicolor* Humb. & Bonpl.) FROM TABASCO AND CHIAPAS, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 295-310. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.17

mTcCIR11 fue de 121-313 pb y en MTcCIR12 fue de 190-232 pb. Para cada marcador se encontró un Na = 6.50, con un Ne para Guayaquil = 4.00, Criollo = 2.00, Calabacillo = 2.50, Patastillo = 3.00, Guayaquil rojo = 1.75 y Pataxte =3.00. La Ho fue inferior a la He, para todas las variedades de estudio. El AMOVA mostró una variación de 1% entre poblaciones, 85% entre los individuos y 14% entre individuos dentro de poblaciones.
Palabras clave: Cacao, diversidad genética, germoplasma, marcadores moleculares, pataxte.
ABSTRACT: Cacao (*Theobroma cacao* L.), along with pataxte (*T. bicolor* Humb. & Bonpl), are two cultivated species of agricultural importance. Both grow together on plantations in the states of Tabasco and Chiapas in southern Mexico. The two species share some phenotypic and perhaps genotypic similarity, but little research has been conducted to study the genetic relationship that may exist between them. Therefore, and given the importance of both species in the south-southeast of Mexico, the objective of this study was to analyze the genetic diversity between both species of cacao and pataxte in southern Mexico. To this end, 56 accessions were collected, belonging to five genetic groups of cacao (Guayaquil, Criollo, Calabacillo, Patastillo, and Guayaquil Rojo) and one of Pataxte. DNA purification was performed to amplify four microsatellite markers, two of which (mTcCIR11 and mTcCIR12) have been reported to be informative in cacao genetic diversity studies. Diversity analyses were used to estimate the total number of alleles per locus (Na), the effective number of alleles (Ne), the observed (Ho) and expected (He) heterozygosity, and the inbreeding coefficient (F_{IT}). The allelic range observed in mTcCIR11 was 121–313 bp, and in mTcCIR12 was 190–232 bp. Na = 6.50 was found for each marker, with Ne for Guayaquil = 4.00, Criollo = 2.00, Calabacillo = 2.50, Patastillo = 3.00, Guayaquil Rojo = 1.75, and Pataxte = 3.00. Ho was lower than He for all study varieties. The AMOVA showed a variation of 1% between populations, 85% between individuals, and 14% between individuals within populations.
Key words: Cocoa, genetic diversity, germplasm, molecular markers, pataxte

INTRODUCCIÓN

Las especies *Theobroma cacao* L. y *T. bicolor* Humb. & Bonpl. pertenecen a la familia Sterculiaceae, alternativamente Malvaceae (Southgate, 2000; Zequeira y Beauregard, 2024). Ambas especies son árboles con hojas siempre verdes que alcanzan altura de 3 - 12 m, y se desarrollan en la franja geográfica entre los 18° LN y 15° LS, con temperaturas de 20º a 30º C y más de 2,000 mm de lluvia distribuida en todo el año (Cuatrecasas, 1964). Por otro lado, Southgate (2000) menciona que *T. cacao* se cultivó por primera vez durante los años 250 – 900 de la era actual, aunque Cornejo *et al.*, (2018) señalan que el cacao fue domesticado hace 3,600 años de donde surgió la variedad 'Criollo' y posteriormente fue introducido a Europa a mediados de 1550 (Dillinger *et al.*, 2000; Coe & Coe, 2018). El cacao es una planta cuyos frutos tienen gran capacidad antioxidante debido a los polifenoles que contiene (Kim *et al.*, 2011; Córdova-Avalos *et al.*, 2023; Gómez-Rivera *et al.*, 2024). A nivel mundial se reconocen los tipos de cacao Criollo, Forastero y Trinitario, este último es una variedad híbrida resultado del cruzamiento de las dos primeras. En México el cacao criollo es apreciado por su perfil sensorial y también es un cultivo importante para la economía familiar del sureste de la república Mexicana (Córdova-Lázaro *et al.*, 2018; Pérez-Obrador *et al.*, 2025). Con respecto al centro de origen del cacao, Zarrillo *et al.*, (2018) mencionan que el cacao es originario de la zona amazónica de Santa Ana-La Florida al sureste de Ecuador y refuerzan su hipótesis con el descubrimiento de semillas de 5,300 años de antigüedad y el correspondiente análisis molecular de DNA (Pérez-Obrador *et al.*, 2025). Respecto al pataxte (*T. bicolor*), éste es una especie con alto potencial productivo que se encuentra en proceso de domesticación y su distribución se restringe al Continente Americano (Tinajero-Carrizales *et al.*, 2021). En México, al pataxte se le encuentra en los estados de Chiapas, Oaxaca, Tabasco y con pequeñas poblaciones en el estado de Guerrero. Sin embargo, también crece y se desarrolla en Colombia, Venezuela y Brasil, de manera general al pataxte se le puede

encontrar asociado a cacao o como cultivo de traspatio (Rendón-Aguilar *et al.*, 1998; Gálvez-Marroquín *et al.*, 2016).

La diversidad genética y estructura poblacional del cacao ha sido estudiada con diferentes tipos de marcadores moleculares de ADN como los polimorfimos de secuencia simple (SNP) (Martínez *et al.*, 2017; Osorio-Guarín *et al.*, 2017; Cornejo *et al.*, 2018; Lindo *et al.*, 2018; De Wever *et al.*, 2019; Bustamante *et al.*, 2022), polimorfismo en longitud de los fragmentos de restricción (RFLP) (Motamayor & Lanaud, 2002; Motamayor *et al.*, 2003), secuencias simples repetidas (SSRs) (Zhang *et al.*, 2006; Ruíz-Erazo *et al.*, 2015) y con marcadores de cloroplasto (Nieves-Orduña *et al.*, 2021). Sin embargo, hay pocos estudios en los que se haya realizado análisis de la diversidad genética del pataxte con este tipo de marcadores, dentro de ellos se puede mencionar el uso de los RAPDs o amplificación aleatoria de ADN polimórfico (Moreno *et al.*, 2004). Arteaga-Voigt *et al.* (2016) estudiaron con nueve marcadores SSRs la estructura genética y relación filogenética de poblaciones de Cacao Nacional Silvestre y Cultivado procedente de 19 zonas productoras del Norte de La Paz, Bolivia. De sus resultados los autores citados reportan que el número de polimorfismo por locus fue de 4 a 13 alelos, el contenido de información polimórfica (PIC), presentó patrones de distribución semejantes entre sí. En todas las poblaciones estudiadas la heterocigosidad esperada (He) y heterocigosidad observada (Ho) presentó un 99.98%. Por otro lado, Ricaño-Rodríguez *et al.* (2019) genotipificaron muestras de cacao de Tabasco y Chiapas, y encontraron que *T. cacao* posee porcentajes entre 2-11% de SNPs. Los autores referidos observaron secuencias conservadas en las regiones codificantes de los genomas de las variedades de cacao estudiadas. Por su parte, Pérez-Pérez *et al.* (2025) realizaron un estudio morfológico y molecular en pataxte de los cuatro estados en los que se le encuentra a esta especie en México, de sus principales resultados reportan no haber encontrado variación genética en las regiones de ADN analizadas, pero sí diferencias morfológicas, las que deben ser modificadas por los diferentes ambientes en dónde se tienen establecidas las plantaciones de pataxte referidas. Por la relevancia e importancia que tiene el cultivo de cacao y pataxte en el sureste de la república Mexicana, el objetivo del presente estudio fue determinar y caracterizar la estructura poblacional de 56 accesiones de *Theobroma* spp. mediante marcadores microsatélites.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

La colecta del material experimental de esta investigación se realizó durante septiembre – diciembre 2018 y enero - agosto 2019 en los estados de Tabasco y Chiapas, México, se obtuvieron 56 accesiones, de las cuales, 43 pertenecen a cacao (*T. cacao* L.) representadas por cinco grupos genéticos: Guayaquil, Criollo, Calabacillo, Patastillo y Guayaquil/rojo y uno de pataxte (*T. bicolor*) representado por 13 colectas (Cuadro 1). Se tomaron de 2 a 3 mazorcas y de una a cinco plantas por variedad en manera aleatoria. La edad de los árboles muestreados oscila entre 15 y 25 años. Los suelos son profundos, temperatura apta para el desarrollo de los árboles y precipitación mayor a 2,000 mm durante el año.

Cuadro 1. Datos de pasaporte de 56 colectas que incluyen 43 accesiones de cacao y 13 de pataxte procedentes de Tabasco y Chiapas, México

Table 1. Passport data for 56 collections, including 43 cacao accessions and 13 pataxte accessions from Tabasco and Chiapas, Mexico

No.	Variedades	Estado	Municipio	Localidad	Tipo de tejido	LN	LO
1	Guayaquil	Tabasco	Centro	González 1ª	Fresco	17°10’05	93°04’58”
2	Guayaquil	Chiapas	Acapetahua	Ejido Arenal	Fresco	17°58’38.21	92°18’18.0”
3	Criollo	Chiapas	Acapetahua	Ejido Arenal	Fresco	17°58’38.21	92°18’18.0”
4	Guayaquil	Chiapas	Chicomucelo	Zacoalpa	Fresco	15°10’23.27”	92°41’59.93”
5	Guayaquil	Tabasco	Paraíso	Oriente 1ª	Fresco	18°21’12.2”	93°11’54.6”
6	Calabacillo	Chiapas	Acapetahua	Ejido Arenal	Fresco	17°58’38.21	92°18’18.0”

No.	Variedades	Estado	Municipio	Localidad	Tipo de tejido	LN	LO
7	Criollo	Tabasco	Paraíso	Oriente 1ª	Fresco	18°21’12.2”	93°11’54.6”
8	Guayaquil	Chiapas	Chicomucelo	Piedra Labrada	Fresco	15°10’23.27”	92°41’59.93”
9	Calabacillo	Tabasco	Paraíso	Oriente 1ª	Fresco	18°21’12.2”	93°11’54.6”
10	Guayaquil	Tabasco	Teapa	Cerro de Puyacatengo	Fresco	18°07’27.7”	92°55’86”
11	Guayaquil	Tabasco	Cunduacán	Huapacal	Fresco	18°3’2.52”	93°9’21.24”
12	Calabacillo	Tabasco	Teapa	Cerro de Puyacatengo	Fresco	18°07’27.7”	92°55’86”
13	Patastillo	Tabasco	Cunduacán	Las Cruces	Fresco	18°07’36.5”	93°11’29”
14	Calabacillo	Tabasco	Cunduacán	Rio Seco	Fresco	18°07’39.1”	93°18’02.9”
15	Patastillo	Tabasco	Cunduacán	Rio Seco	Fresco	18°07’39.1”	93°18’02.9”
16	Calabacillo	Chiapas	Reforma	Macayo	Fresco	17°8’20.6”	93°16’27.2”
17	Calabacillo	Tabasco	Cunduacán	Los Cerros	Seco	18°02’14.7”	93°06’04.9”
18	Pataxte	Tabasco	Huimanguillo	Los Naranjos	Seco	17°54’05”	93°35’11”
19	Guayaquil	Tabasco	Cunduacán	Rio Seco	Fresco	18°07’36.5”	93°11’29”
20	Patastillo	Tabasco	Cunduacán	Pechucalco	Fresco	18°06’42.2”	93°11°13.6”
21	Patastillo	Tabasco	Tacotalpa	Zunup y Patastal	Fresco	17°28’22.1”	92°48’48.1”
22	Calabacillo	Tabasco	Cunduacán	La Trinidad	Fresco	18°09’12”	93°16’11.7”
23	Pataxte	Tabasco	Pichucalco	Los Cascabeles	Seco	17°50’16”	93°11،33”
24	Patastillo	Tabasco	Cunduacán	Los Cerros	Fresco	18°02’14.7”	93°06’04.9”
25	Pataxte	Tabasco	Cunduacán	Las Cruces	Seco	18°07’36.5”	93°11’29”
26	Pataxte	Tabasco	Teapa	Cerro de Puyacatengo	Fresco	15°41’12.26”	92°18’40.08”
27	Patastillo	Chiapas	Macayo	Reforma	Fresco	17°58’20.6”	93°16’27.2”
28	Calabacillo	Tabasco	Cunduacán	Las Cruces	Fresco	18°07’36.5”	93°11’29”
29	Criollo	Tabasco	Teapa	Cerro de Puyacatengo	Fresco	17°32’45.1”	92°55’04.6”
30	Patastillo	Tabasco	Tacotalpa	Agua Escondida	Fresco	17°29’14.3”	92°46’37.5”
31	Calabacillo	Tabasco	Tacotalpa	Zunup y Patastal	Fresco	17°28’22.1”	92°46’37.5”
32	Calabacillo	Tabasco	Tacotalpa	Agua Escondida	Fresco	17°29’14.3”	92°46’37.5”
33	Patastillo	Tabasco	Paraíso	Oriente 1ª	Fresco	18°21’12.2”	93°11’54.6”
34	Guayaquil	Tabasco	Comacalco	Ra. Reyes Hernández	Seco	18°13’52.0”	93°15’09.5”
35	Trinitario	Tabasco	Comacalco	Ra. Reyes Hernández	Seco	18°13’52.0”	93°15’09.5”
36	Pataxte	Tabasco	Cárdenas	Nueva Zelandia	Seco	17°54’05”	93°35’11”
37	Criollo Blanco	Tabasco	Paraíso	Oriente 1ª	Seco	18°21’12.2”	93°11’54.6”
38	Criollo Rojo	Tabasco	Paraíso	Oriente 1ª	Seco	18°21’12.2”	93°11’54.6”
39	Pataxte	Tabasco	Pichucalco	Los Cascabeles	Seco	17°50’16”	93°11’33”
40	Pataxte	Tabasco	Paraíso	Oriente 1ª	Seco	18°21’12.2”	93°11’54.6”
41	Patastillo	Tabasco	Tenosique	El Palmar	Seco	17°28’00”	91°25’00”
42	Calabacillo	Tabasco	Cunduacán	Pechucalco	Seco	18°06’42.2”	93°11’13.6”
43	Guayaquil Rojo	Tabasco	Cunduacán	Pechucalco	Seco	18°06’42.2”	93°11’13.6”
44	Pataxte	Tabasco	Comalcalco	Ra. Reyes Hernández	Seco	18°13’52.0”	93°15’09.5”
45	Criollo/ Calabacillo	Tabasco	Comalcalco	Ra. Reyes Hernández	Seco	18°13’52.0”	93°15’09.5”
46	Guayaquil	Tabasco	Centro	Plátano y Cacao 1ª Sección	Seco	17°57’47.5”	93°10’23.0”
47	Guayaquil	Chiapas	Reforma	Macayo	Seco	17°58’20.6”	93°16’27.2”
48	Pataxte	Chiapas	Reforma	Macayo	Seco	17°58’20.6”	93°16’27.2”
49	Patastillo	Tabasco	Cunduacán	La Trinidad	Seco	18°09’12.0”	93°16’11.7”

No.	Variedades	Estado	Municipio	Localidad	Tipo de tejido	LN	LO
50	Pataxte	Tabasco	Nacajuca	Bosques de Saloya	Seco	18˚05'49"	92˚56'41"
51	Pataxte	Tabasco	Comalcalco	R/A Norte 1ª Sección	Seco	18˚21'12.2"	93˚15'09.5"
52	Guayaquil	Tabasco	Paraiso	Oriente 1ª	Fresco	18˚21'12.2"	93˚11'54.4"
53	Criollo	Tabasco	Paraiso	Oriente 1ª	Fresco	18˚21'12.2"	93˚11'54.4"
54	Calabacillo	Tabasco	Cunduacán	Huapacal	Fresco	18˚3'2.52"	93˚9'21.25"
55	Pataxte	Tabasco	Teapa	Cerro de Puyacatengo	Seco	18˚07'27.7"	92˚55'86"
56	Guayaquil Rojo	Tabasco	Teapa	Cerro de Puyacatengo	Fresco	18˚07'27.7"	92˚55'86"

Extracción de ADN

La caracterización molecular de las accesiones de cacao y pataxte se realizó en el Laboratorio de Biotecnología de Alimentos de la Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Aztlán de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAMRA - UAT). La semilla de cada una de las 56 colectas se hizo germinar en charolas de 21 cavidades con una mezcla de "Perlita y Peatmoss" en proporción 40/60. Después de la germinación se colectaron las primeras dos hojas de cada plántula, de las cuales se extrajo el DNA con el kit comercial 'DNeasy Plant Mini Kit' de Quiagen® sin modificaciones del instructivo. Después de la extracción, el ADN genómico obtenido de cada una de las accesiones se cuantificó mediante un equipo NanoDrop® de Thermo Fisher, posterior a ello, se realizó una mezcla de colorante para tinción de ácidos nucléicos SYBR Gold en dilución 1:100,000 con 2 µL de DNA genómico, la mezcla se colocó en gel de agarosa al 1% en una cámara de electroforesis cuyas condiciones de electroforesis fueron 95 Volts y 50 mA por una hora, posterior a esto, las muestras se visualizaron mediante un fotodocumentador de luz UV 'Gel DocTM EZ Imager' de Bio-Rad® .

Condiciones de amplificación y visualización de los microsatélites

Los cuatro marcadores microsatélites empleados en el estudio se presentan en el Cuadro 2 y fueron seleccionados por ser informativos de acuerdo con el trabajo realizado por Saunders *et al.* (2004). La amplificación del ADN de las muestras colectadas se realizó mediante la técnica de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) en un termociclador 'T100' de Bio-Rad®, con temperaturas acordes a las condiciones de amplificación indicadas por Saunders *et al.* (2004). La PCR se realizó en un volumen final de 25 µL compuesto por: 70 ng de ADNg (molde), 50 pmol de cada iniciador, 200 µM de dNTP´s, búfer PCR 5X (Tris-HCl a 10 mM, pH 9; KCl a 50 mM; Triton X-100 al 0.1%), $MgCl_2$ a 4 mM y 1 U de Taq DNA polimerasa de Promega (Madison, WI, EE.UU.). Los productos amplificados se visualizaron y cuantificaron en geles de agarosa al 1.2% 'NuSieve' de Lonza® con búfer SB (Borato de sodio decahidratado 5 mM) para alta resolución de los alelos producto de la amplificación y se analizaron mediante el software GelAnalizer 19.1 con marcadores de peso estándar para determinar los tamaños de los fragmentos amplificados por SSR.

Cuadro 2. Descripción de los marcadores microsatélites empleados en la caracterización de accesiones de cacao y pataxte
Table 2. Description of the microsatellite markers used in the characterization of cacao and pataxte accessions

SSR	Secuencias	Tm °C	Pb	Motivo
mTcCIR11	F-5'TTTGGTGATTATTAGCAG3' R-3'GATTCGATTTGATGTGAG5'	46	286 - 321	$(TC)_{13}$
mTcCIR12	F-5'TCTGACCCCAAACCTGTA3' R-3'ATTCCAGTTAAAGCACAT5'	46	165 - 256	$(CATA)_4N_{18}(TG)_6$
mTcCIR18	F-5'GATAGCTAAGGGGATTGAGGA3' R-3'GGTAATTCAATCATTTGAGGATA5'	51	331 - 354	$(GA)_{12}$
mTcCIR58	F-5'TTTTTGGTGATGGAACTAT3' R-3'TGGTTAAGCAACACTAAACT5'	52	254 - 274	$(GT)_{40}$

Tm= temperatura de alineamiento; Pb= pares de bases; Fuente: Saunders *et al.* (2004).

Análisis estadístico

Durante la visualización de los geles, se anotó el peso molecular del producto amplificado para cada alelo de cada colecta evaluada donde se tomó como referencia el un marcador de peso molecular de 50 a 1,000 pares de bases Promega® G3161 y con ello, se estimó la frecuencia alélica para cada microsatélite probado en el presente estudio. La estimación de la diferenciación genética entre colectas, se realizó mediante un Análisis molecular de varianza (AMOVA), con el software GenAlEx 6.5.1 (Peakall & Smouse, 2012), y de acuerdo con De Vicente et al. (2004), los parámetros de diversidad estimados en esta investigación son:

H_T = heterocigosidad esperada en la población total, estimada a partir de las frecuencias alélicas combinadas
H_o = heterocigosidad promedio observada en un grupo de poblaciones
H_e = heterocigosidad esperada, estimada a partir de cada subpoblación
$F_{IS} = 1 - \frac{H_o-}{H_e-}$, la deficiencia o el exceso de heterocigotos promedio en cada población
$F_{ST} = 1 - \frac{H_e-}{H_T-}$, el grado de diferenciación génica entre las poblaciones, en función de las frecuencias alélicas
$F_{IT} = 1 - \frac{H_o-}{H_T-}$, la deficiencia o exceso de heterocigotos promedio en un grupo de poblaciones
$P = \frac{n_{pj}-}{n_{total}-}$, P=proporción de loci polimórficos, n_{pj}= número de loci polimórficos, n total= total de loci
Na= número de alelos por locus
Ne=número promedio de alelos por locus

Los datos de los pesos moleculares fueron transformados a una matriz de disimilitud alélica con la fórmula siguiente:

$$d_{ij} = 1 - \frac{1}{L}\sum_{i=1}^{L}\frac{m_i}{\pi}$$

Donde:
d_{ij} = disimilitud entre las unidades de i y j
L = número de loci
π = ploidía
m_i = número de alelos pares para el locus l

Con la matriz de disimilitud generada se construyó un dendrograma mediante el método 'UnWeighted Neighbor Joining' "Vecinos no ponderados con el software DARWin 6.0.014 (Perrier *et al.*, 2003). La estructura de las poblaciones analizadas se determinó con el software STRUCTURE V 2.3.4 (Chumacero *et al.*, 2013) mediante ajuste del valor de ΔK que fue de uno a ocho con 200,000 'burn-ins periods' "Periodos de alineamiento" y 800,000 repeticiones a través de veinte simulaciones (iteraciones) independientes para cada valor de ΔK, se empleó un modelo mezclado y correlacionado en cada caso. El número óptimo de poblaciones se estimó con la prueba de ΔK propuesta por Evanno *et al.* (2005) con el software disponible en línea STRUCTURE HARVESTER V 0.6.94 (Earl & vonHoldt, 2012).

RESULTADOS

El rango alélico observado para cada marcador fue el siguiente: mTcCIR11 (121-313 pb), mTcCIR12 (190-232 pb), mTcCIR18 (333-357 pb) y mTcCIR58 (254-274 pb). Se observó exceso de homocigotos dado el valor de F_{IS}=0.861 lo cual es derivado de la presencia de alelos nulos en las colectas evaluadas. Se encontraron 10 alelos para la variedad de cacao 'Guayaquil'

y 10 para pataxte, el valor más alto para el número de alelos promedio (Ne=4), lo mostró la variedad 'Guayaquil', a diferencia del pataxte, que presentó tres alelos, pero superó al Ne=2 observado en la variedad Criollo. El valor más alto de heterocigosidad (He) lo presentó la variedad Guayaquil (0.595), pero fue inferior al 0.602 observado en Pataxte (Cuadro 3).

Cuadro 3. Parámetros obtenidos en la evaluación de la diversidad genética de poblaciones de cacao y pataxte colectadas en Tabasco y Chiapas, México.
Table 3. Parameters obtained in the evaluation of the genetic diversity of cacao and pataxte populations collected in Tabasco and Chiapas, Mexico.

Variedades	Na	Ne	He	Ho	Nivel de significancia
Guayaquil	10	4.00	0.595	0.100	0.000
Criollo	3	2.00	0.278	0.167	0.039
Calabacillo	6	2.50	0.458	0.083	0.000
Patastillo	8	3.00	0.543	0.188	0.000
Guayaquil/Rojo	2	1.75	0.281	0.125	0.111
Pataxte	10	3.00	0.602	0.165	0.000
Promedio	6.5	2.5	0.460	0.138	

Na= Número de alelos por locus; Ne= Número promedio de alelos por locus; He= Heterocigosidad esperada; Ho= Heterocigosidad observada.

De los resultados arrojados por el Análisis molecular de varianza (AMOVA), se puede observar (Cuadro 4) que el 1.0% de la variación fue explicada por la moderada diferenciación genética entre las poblaciones de cacao y pataxte estudiadas. Sin embargo, se observó que el 85.0% de la varianza estimada se atribuye a diferencias entre los individuos, y 14.0% a la variación entre los individuos dentro de las poblaciones.

Con respecto a los índices de fijación o estadísticos de Wright, se observa que el F_{ST} presentó un valor de 0.011, lo que se puede interpretar como poca diferenciación genética debido a las frecuencias alélicas entre las accesiones evaluadas. El F_{IT} de 0.861 y F_{IS} también con un valor de 0.861, señalan exceso promedio de heterocigotos en promedio en un grupo de poblaciones y en cada una de las poblaciones evaluadas.

Cuadro 4. Análisis molecular de varianza de 56 accesiones de *Theobroma* spp. colectados en los estados de Tabasco y Chiapas, México.
Table 4. Molecular analysis of variance of 56 *Theobroma* spp. accessions collected in the states of Tabasco and Chiapas, Mexico.

Fuente de variación	**Grados de libertad**	**Suma de cuadrados**	**Cuadrados Medios**	**% de varianza explicada**	**Índices de fijación**
Entre poblaciones	4	11.211	2.803	1.0	F_{ST}= 0.011
Entre individuos	51	126.039	2.471	85.0	F_{IT}= 0.861
Entre individuos dentro de poblaciones	56	10.500	0.188	14.0	F_{IS}= 0.861
Total	111	147.750		100.0	

El dendrograma (Figura 1), muestra las relaciones genéticas entre las accesiones evaluadas en el presente estudio, obsérvese que se formaron cuatro grupos o clústers donde se consideró una distancia de similitud igual 0.2. En el primer grupo (clúster 1) se agruparon 18 accesiones, entre ellas, se encuentran dos de Chiapas (Chis_Pataxte-1 y Chis_Patastillo-55), y el resto es

germoplasma colectado en el estado de Tabasco. Este agrupamiento es posible que se haya debido a que presentaron similitud en el número de bandas identificadas por los marcadores en cada accesión, además de su origen geográfico. Dentro de este primer grupo (clúster 1) predominaron Pataxte (5) y Patastillo (4). El segundo grupo (clúster 2) se conformó por 13 accesiones y al igual que en el primer clúster, en éste, también predominaron los tipos Pataxte (4) y Patastillo (3). El grupo 3 (clúster 3) agrupó a 18 variedades de cacao y fue la variedad Guayaquil la que sobresalió en mayor número, cuatro de Chiapas, y tres de Tabasco, luego, el Pataxte y Patastillo con cuatro colectas cada uno, y por último el Calabacillo con tres colectas. El último grupo (clúster 4) fue en el que se agrupó el menor número de colectas (7) donde predominaron en número, los tipos Calabacillo con tres colectas y Criollo con dos.

El análisis de estructura poblacional (Figura 2) clasificó a las variedades de cacao y pataxte evaluadas en tres grupos ($\Delta K=3$). El grupo 2 lo conformaron 23 accesiones, el grupo 3 se integró por 19 accesiones y el grupo 1 fue el de menor número de accesiones ya que solamente incluyó 14 accesiones. Obsérvese (Figura 2) que los pataxtes se encuentran distribuidos en cada uno de los tres grupos en cantidad más o menos proporcional por grupo.

DISCUSIÓN

Los marcadores moleculares tipo microsatélite (SSR) en el presente estudio resultaron ser una herramienta útil y eficiente para determinar la diversidad de las colectas de cacao y pataxte evaluadas, lo cual quedó demostrado debido al número de alelos por locus amplificado. Cabe mencionar el trabajo de Chumacero *et al.*, (2013) quienes emplearon los microsatélites mTcCir11, mTcCIR12 y mTcCIR18 entre otros, en reacciones de PCR multiplex, con lo cual pudieron detectar el flujo génico y la diversidad genética entre variedades de cacao silvestres y cultivadas. El microsatélite, que por los resultados arrojados, mostró más eficiencia en la presente investigación, además de ser significativo es el mTcCIR12, sin embargo, Smulders *et al.*, (2012) en su investigación realizada en cacao en Trinidad y Tobago, reportaron que el microsatélite mTcCIR18 resultó ser el más eficiente en cuanto al número de alelos amplificados, a diferencia del presente trabajo, pero que coincide con los resultados del marcador mTcCIR12 que reportó en cacao Londoño-Murillo *et al.* (2011), y menciona que este marcador es uno de los más informativos y polimórficos, esta discrepancia puede deberse a que los autores referidos emplearon plata para teñir sus geles, y en la presente investigación se usó SYBR Gold lo que permitió una tinción de banda muy eficiente en todos los microsatélites evaluados.

Al comparar los resultados obtenidos en la presente investigación con los encontrados por (Aikpokpodion *et al.*, 2010; Londoño-Murillo *et al.*, 2011; Loor Solorzano *et al.*, 2012; Vázquez-Ovando *et al.*, 2014) quienes en sus trabajos emplearon los mismos microsatélites, se puede establecer que el número de alelos y rangos fueron consistentes entre sí, lo que se corrobora también por lo reportado por Saunders *et al.* (2004). En el presente estudio, se identificaron pequeñas variaciones en la estimación de los pesos moleculares de los alelos, pero esto puede ser un efecto de la sensibilidad que se presenta al realizar la lectura del programa GelAnalyzer 19.1 (Lazar *et al.*, 2010). O también del ambiente en que se desarrollan las diferentes colecciones de cacao o pataxte de cada sitio experimental.

En relación al número de alelos por locus reportados en algunos trabajos con cacao se tienen los de Aikpokpodion *et al.* (2010) con 3.25, Aikpokpodion *et al.* (2009) con 4.39 alelos, Sereno *et al.* (2006) con 4.45 alelos, Boza *et al.* (2014) que reportó 3.14 alelos, y Velayutham *et al.*, (2013) encontraron 3 alelos, que son valores menores al 6.50 de alelos promedio por locus detectados en este trabajo para las variedades cultivadas de cacao y pataxte, y similar al promedio de 6 alelos por locus reportado por Vázquez-Ovando *et al.* (2014).

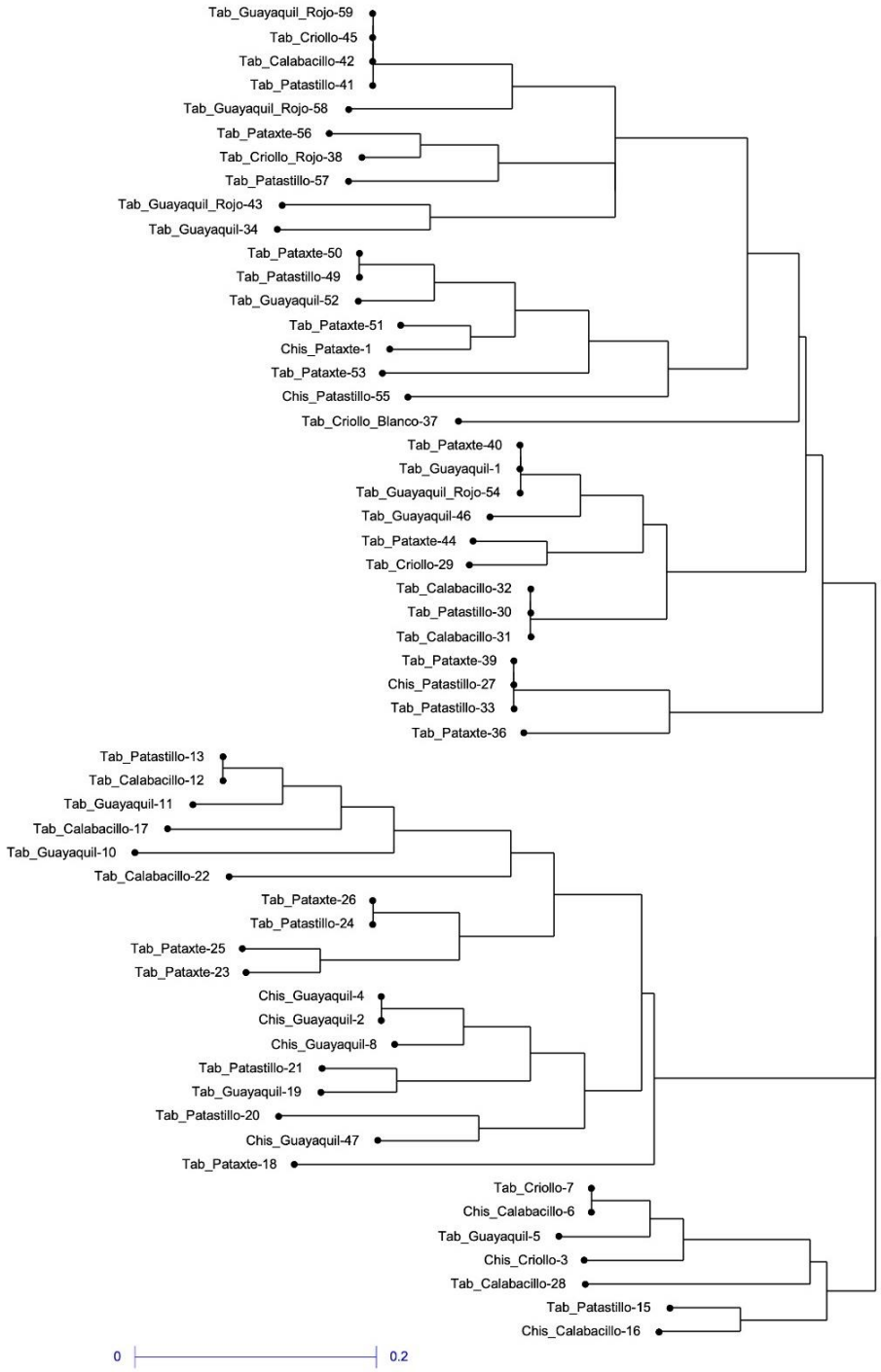


Figura 1. Dendrograma de 56 accesiones de *Theobroma* spp. colectadas en Tabasco y Chiapas, México.
Figure 1. Dendrogram of 56 *Theobroma* spp. accessions collected in Tabasco and Chiapas, Mexico.

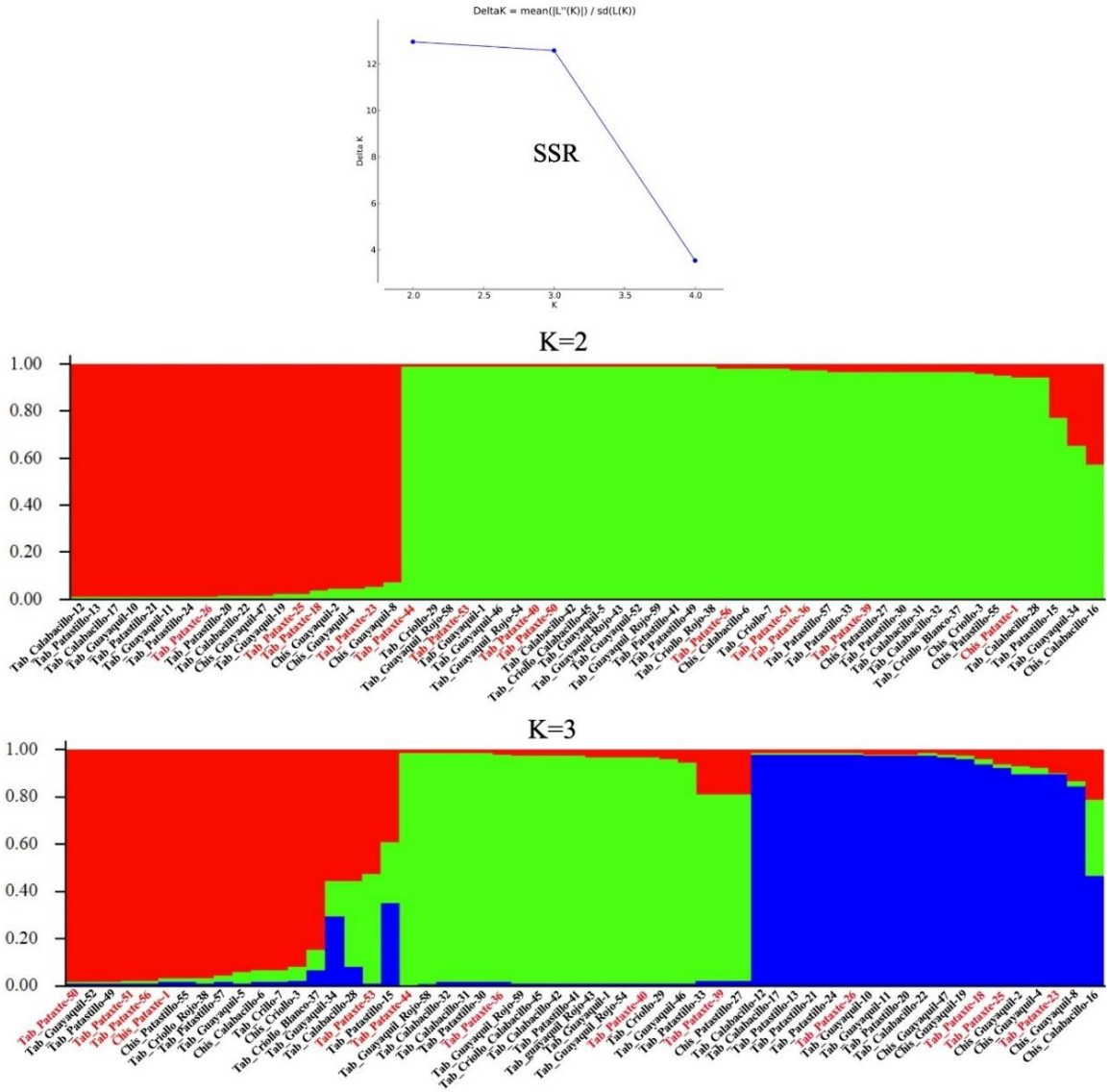


Figura 2. Determinación de la estructura poblacional de 56 accesiones de cacao y pataxte con marcadores microsatélites (SSR).

Figure 2. Determination of the population structure of 56 cacao and pataxte accessions with microsatellite markers (SSR).

Es posible que el número variable de alelos por locus reportados en los estudios previamente mencionados se deba a que se incluyeron materiales cultivados procedentes de distintas poblaciones, y por ello, cuando se comparan los resultados de este trabajo con estudios realizados en una única población se obtienen polimorfismos similares en cuanto al número de alelos amplificados.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos se basan en la comparativa de las diferencias en cuanto a los tamaños y número de alelos que se pueden obtener, los cuales, en gran medida se deben a la técnica de detección empleada (Smulders *et al.*, 2010). Mientras que la detección por radioactividad (NUCTECH) y por electroforesis capilar (poliacrilamida) permite la identificación de un mayor número de alelos, el uso de nitrato de plata es efectivo en menor proporción para la

detección de alelos, pero con la ventaja de ser de bajo costo, mientras que en el presente trabajo, se optó por emplear la tinción de SYBR Gold para visualizar ácidos nucleicos ello, por su alta similitud con la tinción de bromuro de etidio (EtBr) una vez que se expone a luz ultravioleta.

En relación a la varianza encontrada en el AMOVA, la variación de 1% de varianza explicada entre poblaciones puede deberse a que las accesiones evaluadas presentan poca diferenciación, la cual puede deberse a la similitud génica o alélica que existe ente ellas. Lo anterior se refuerza por lo encontrado por Aikpokpodion *et al.* (2010), quienes al evaluar 11 poblaciones (híbridos, poblaciones, y colecciones) del banco de germoplasma de Nigeria, encontraron 37% de varianza entre poblaciones y 67% dentro de poblaciones.

Con respecto a los estimadores de la estructura poblacional, Opoku *et al.* (2007) obtuvieron un valor de F_{ST} = 0.076, no obstante que este índice de fijación indica moderada diferenciación genética entre las subpoblaciones evaluadas (no existe divergencia genética), los autores mencionan haber observado grandes diferencias genéticas entre las accesiones evaluadas, con lo cual separaron el germoplasma mejorado del criollo de los agricultores. En los resultados de sus trabajos de investigación Aikpokpodion *et al.* (2009); Loor Solorzano *et al.* (2012); Ruiz *et al.* (2011); y Vázquez-Ovando *et al.* (2014), encontraron valores de F_{ST} que fluctuaron de 0.123, 0.209, 0.4979 y 0.230, los que son superiores al F_{ST}= 0.011 estimado en la presente investigación, es decir, las poblaciones evaluadas de los investigadores citados mostraron diferenciación genética de moderada a muy grande, mientras que las accesiones evaluadas en el presente estudio, presentan poca diferenciación o pequeña, misma que es posible que sea producto del intercambio de germoplasma entre agricultores de cacao de las localidades estudiadas en cada estado. Con respecto al valor F_{IS}=0.861 se encontró más exceso de homocigotos que el reportado (F_{IS}=0.2402) por Loor Solorzano *et al.* (2012) para este índice de fijación, lo cual pone de manifiesto la poca diferenciación genética que existe entre las accesiones evaluadas.

En cuanto a la heterocigosidad esperada (He=0.460), y la observada (Ho=0.138) el valor promedio encontrado para He, superó al reportado por Sereno *et al.* (2006); Chumacero *et al.* (2013); Vázquez-Ovando *et al.* (2014) y Gopaulchan *et al.* (2020), pero inferior al estimado por Aikpokpodion *et al.* (2010); y menor para Ho del trabajo de Ruiz *et al.* (2011) y Batista *et al.* (2016) . Resultados que pueden deberse, en parte a la constitución genética del germoplasma evaluado en cada trabajo.

Con relación al agrupamiento encontrado en las accesiones evaluadas, obsérvese (Figura 1 y 2), que el pataxte se mezcló con los demás tipos o accesiones de cacao, esto se contrapone con lo asegurado por Azurdia, (2014) y Avalos *et al.*, (2012) de que no existe relación filogenética entre el cacao criollo y el pataxte, y que por ello la hibridación natural entre ambas especies no es posible que se lleve a cabo.

CONCLUSIONES

La investigación realizada en la que se emplearon cuatro microsatélites, generó información con la que se puede establecer la hipótesis de que es posible que haya alguna relación filogenética entre el cacao y pataxte que se cultivan en los estados de Tabasco y Chiapas. Lo anterior se sustenta en el hecho de que es común que los agricultores de los estados referidos cultivan juntos en sus plantaciones al cacao y pataxte, y seleccionen semilla de las mejores mazorcas de cacao para tener nuevas plantas en sus predios, las que es posible que pudieran ser producto de posible hibridación, ya sea entre variedades de cacao o entre cacao y pataxte.

El mayor número efectivo de alelos (Ne) se encontró en las accesiones de cacao Guayaquil, que puede ser resultado del posible entrecruzamiento entre las variedades mencionadas.

LITERATURA CITADA

Aikpokpodion, P. O., Kolesnikova-Allen, M., Adetimirin, V. O., Guiltinan, M. J., Eskes, A. B., Motamayor, J. C., & Schnell, R. J. (2010). Population structure and molecular characterization of nigerian field genebank collections of cacao, *Theobroma cacao* L. *Silvae Genetica*, *59*(1–6), 273–285. https://doi.org/10.1515/sg-2010-0039

Aikpokpodion, P. O., Motamayor, J. C., Adetimirin, V. O., Adu-Ampomah, Y., Ingelbrecht, I., Eskes, A. B., Schnell, R. J., & Kolesnikova-Allen, M. (2009). Genetic diversity assessment of sub-samples of cacao, *Theobroma cacao* L. collections in West Africa using simple sequence repeats marker. *Tree Genetics & Genomes*, *5*(4), 699–711. https://doi.org/10.1007/s11295-009-0221-1

Arteaga-Voigt, D., Sandy-Valencia, x., Torres-Tola, E., Luna-Barrón, R., & Chávez-Carranza, E. (2016). Caracterización de la variabilidad genética de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en la región del norte Paceño Boliviano. *Wildlife Conservation Society*, *14*(1), 1–14. https://shorturl.at/upLYa

Avalos, A., Porres, M. A., Poll, E., Dardón, E., Arévalo, L. A., & Rosales, J. A. (2012). Caracterización agronómica, botánica y molecular de clones de cacao tipo criollo y mejorado de la zona sur de Guatemala. *Rev. Univ. Valle de Guatemala*, *1*(4), 100–104. https://shorturl.at/OFCnU

Azurdia, C. (2014). Cultivos nativos de Guatemala y bioseguridad del uso de organismos vivos modificados. *Guatemala CONAP*, *1*(7), 1–54. https://doi.org/https://shorturl.at/p0iUu

Batista, L. A., Ramos, L. P., Magalhaes, A. M., Amato, F., & Xavier, R. (2016). Molecular genetic diversity in a core of cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones with potential for selection of disease resistance, plant height and fruit production. *African Journal of Biotechnology*, *15*(44), 2517–2523. https://doi.org/10.5897/AJB2015.15188

Boza, E. J., Motamayor, J. C., Amores, F. M., Cedeño-Amador, S., Tondo, C. L., Livingstone, D. S., Schnell, R. J., & Gutiérrez, O. A. (2014). Genetic Characterization of the Cacao Cultivar CCN 51: Its Impact and Significance on Global Cacao Improvement and Production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *139*(2), 219–229. https://doi.org/10.21273/JASHS.139.2.219

Bustamante, D. E., Motilal, L. A., Calderon, M. S., Mahabir, A., & Oliva, M. (2022). Genetic diversity and population structure of fine aroma cacao (*Theobroma cacao* L.) from north Peru revealed by single nucleotide polymorphism (SNP) markers. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *10*, 1–15. https://doi.org/10.3389/fevo.2022.895056

Chumacero, C., Durka, W., Tscharntke, T., Hensen, I., & Kessler, M. (2013). Gene flow and genetic diversity in cultivated and wild cacao (*Theobroma cacao*) in Bolivia. *American Journal of Botany*, *100*(11), 2271–2279. https://doi.org/10.3732/ajb.1300025

Coe, S. D., & Coe, M. D. (2018). La verdadera historia del chocolate (M. A. Pulido-Rull, Ed.; Primera edición, Vol. 1). Fondo de Cultura Económica. 396 pp.

Córdova-Avalos, V., Mena-De los Santos, G., Cruz- Palacios, V., Pérez-Flores, J., Chávez-García, E., Córdova-Avalos, A., Córdova-Aquino, J., & Izquierdo-Reyes, F. (2023). Benefits of homemade chocolate consumption on human health. *Agro Productividad*, *5*(16), 147–154. https://doi.org/10.32854/agrop.v15i4.2497

Córdova-Lázaro, C. E., Jaramillo-Villanueva, J. L., Córdoba-Avalos, V., Carranza-Cerda, I., & Morales-Jiménez, J. (2018). Chocolate casero tradicional en la región de la Chontalpa Tabasco, México: actores y saberes locales. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, *28*(52), 1–27. https://doi.org/10.24836/es.v28i52.577

Cornejo, O. E., Yee, M. C., Dominguez, V., Andrews, M., Sockell, A., Strandberg, E., Livingstone, D., Stack, C., Romero, A., Umaharan, P., Royaert, S., Tawari, N. R., Ng, P., Gutierrez, O., Phillips, W., Mockaitis, K., Bustamante, C. D., & Motamayor, J. C. (2018). Population genomic analyses of the chocolate tree, *Theobroma cacao* L., provide insights into its domestication process. *Communications Biology*, *1*(1), 167–178. https://doi.org/10.1038/s42003-018-0168-6

Cuatrecasas, J. (1964). Cacao and its allies, a taxonomic revision of the genus *Theobroma*. En *Systematic Plant Studies* (First edition, Vol. 1, pp. 379–614). Smithsonian Institution Press.

De Wever, J., Everaert, H., Coppieters, F., Rottiers, H., Dewettinck, K., Lefever, S., & Messens, K. (2019). The development of a novel SNP genotyping assay to differentiate cacao clones. *Scientific Reports*, *9*(1), 1–10. https://doi.org/10.1038/s41598-019-45884-8

Dillinger, T. L., Barriga, P., Escárcega, S., Jimenez, M., Lowe, D. S., & Grivetti, L. E. (2000). Food of the Gods: Cure for humanity? A cultural history of the medicinal and ritual use of chocolate. *The Journal of Nutrition*, *130*(8), 2057S-2072S. https://doi.org/10.1093/jn/130.8.2057S

Earl, D. A., & vonHoldt, B. M. (2012). STRUCTURE HARVESTER: a website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method. *Conservation Genetics Resources*, *4*(2), 359–361. https://doi.org/10.1007/s12686-011-9548-7

Evanno, G., Regnaut, S., & Goudet, J. (2005). Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: A simulation study. *Molecular Ecology*, *14*(1), 2611–2620. https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02553.x

Gálvez-Marroquín, L. A., Reyes-Reyes, A. L., Avendaño-Arrázate, C. H., Hernández-Gómez, E., Mendoza-López, A., & Díaz-Fuentes, V. H. (2016). Pataxte (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.): especie subutilizada en México. *Agro Productividad*, *9*(1), 41–47.

Gómez-Rivera, A., Lobato, C. E., & López-Rodríguez, R. (2024). *El Cacao tabasqueño: de los olmecas a nuestro tiempo* (C. Zequeira Larios & G. Beauregard Solís, Eds.; 1a ed., Vol. 1). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. https://doi.org/10.19136/ect120424a0

Gopaulchan, D., Motilal, L. A., Kalloo, R. K., Mahabir, A., Moses, M., Joseph, F., & Umaharan, P. (2020). Genetic diversity and ancestry of cacao (*Theobroma cacao* L.) in Dominica revealed by single nucleotide polymorphism markers. *Genome*, *63*(12), 583–595. https://doi.org/10.1139/gen-2019-0214

Kim, J., Lee, K. W., & Lee, H. J. (2011). Cocoa (Theobroma cacao) seeds and phytochemicals in human health. *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention*, 351–360. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10042-8

Lazar, I. Jr., Horvath-Lazar, E., & Lazar, I. Sr. (2010). *GelAnalyzer 19.1* (19.1). www.gelanalyzer.com

Lindo, A. A., Robinson, D. E., Tennant, P. F., Meinhardt, L. W., & Zhang, D. (2018). Molecular characterization of cacao (*Theobroma cacao*) germplasm from Jamaica using single nucleotide polymorphism (SNP) markers. *Tropical Plant Biology*, *11*(3–4), 93–106. https://doi.org/10.1007/s12042-018-9203-5

Londoño-Murillo, J., Gil-Villa, D. M., Aguilar-Marín, S. B., Rivera-Páez, F. A., & López-Gartner, G. A. (2011). Caracterización molecular de clones de *Theobroma cacao* L., por medio de marcadores moleculares microsatélites. *Revista Luna Azúl*, *32*(1), 32–50.

Loor Solorzano, R. G., Fouet, O., Lemainque, A., Pavek, S., Boccara, M., Argout, X., Amores, F., Courtois, B., Risterucci, A. M., & Lanaud, C. (2012). Insight into the Wild Origin, Migration and Domestication History of the Fine Flavour Nacional *Theobroma cacao* L. Variety from Ecuador. *PLoS ONE*, *7*(11), e48438. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048438

Martínez, N., Gallego, G., Zapata, P., Quintero, C., Duarte, D., Tohme, J., & Darío Ramírez, O. (2017). Caracterización morfoagronómica y molecular de la colección de cacao de la Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia. https://shorturl.at/lykyu

Moreno, Y., Melgarejo, L. M., Hernández, M. S., Quintero, L., & Vargas, G. (2004). Caracterización molecular de un banco de germoplasma del género *Theobroma* mediante la técnica RAPD. *Revista Colombiana de Biotecnología*, *6*(2), 15–24.

Motamayor, J. C., & Lanaud, C. (2002). Molecular analysis of the origin and domestication of *Theobroma cacao* L. En J. M. M. J.M.M. Engels, V. R. Rao, A. H. D. Brown, & M. T. Jackson (Eds.), *Managing Plant Genetic Diversity* 1(1), 77–87.

Motamayor, J. C., Risterucci, A. M., Heath, M., & Lanaud, C. (2003). Cacao domestication II: progenitor germplasm of the Trinitario cacao cultivar. *Heredity*, *91*(3), 322–330. https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800298

Nieves-Orduña, H. E., Müller, M., Krutovsky, K. V., & Gailing, O. (2021). Geographic patterns of genetic variation among cacao (*Theobroma cacao* l.) populations based on chloroplast markers. *Diversity*, *13*(6), 1–17. https://doi.org/10.3390/d13060249

Opoku, S. Y., Bhattacharjee, R., Kolesnikova-Allen, M., Motamayor, J. C., Schnell, R., Ingelbrecht, I., Enu-Kwesi, L., & Adu-Ampomah, Y. (2007). Genetic diversity in cocoa (*Theobroma cacao* L.) germplasm collection from Ghana. *Journal of Crop Improvement*, *20*(1–2), 73–87. https://doi.org/10.1300/J411v20n01_04

Osorio-Guarín, J. A., Berdugo-Cely, J., Coronado, R. A., Zapata, Y. P., Quintero, C., Gallego-Sánchez, G., & Yockteng, R. (2017). Colombia a source of cacao genetic diversity as revealed by the population structure analysis of germplasm bank of *Theobroma cacao* L. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 1–13. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01994

Peakall, R., & Smouse, P. E. (2012). GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research—an update. *Bioinformatics*, *28*(19), 2537–2539. https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460

Pérez-Obrador, C. A., Córdova Ávalos, V., Solana-Villanueva, N., Zaldívar-Cruz, J. M., & García-Alamilla, P. (2025). Bromatological characterization of three types of semi-industrial chocolates. *Agro Productividad*, *18*(3), 211–216. https://doi.org/10.32854/fnz7h270

Pérez-Obrador, C. A., Solana-Villanueva, N., Córdova-Avalos, V., & Saldívar-Cruz, J. M. (2025). Preferencias de los consumidores de la Chontalpa tabasqueña de chocolate semiindustrial. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, *35*(65), 1–25. https://doi.org/10-24.836/es.v35i65.1577

Pérez-Pérez, M. A., Sánchez-Chino, X. M., García-Bautista, M., Ángel González-Díaz, A., Ruíz-Montoya, L., & Castellanos-Morales, G. (2025). Phenotypic and genetic variation in pataxte (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) from cacao growing regions from southeastern Mexico. *Botanical Sciences*, *103*(4), 858–875. https://doi.org/10.17129/botsci.3693

Perrier, X., Flori, A., & Bonnot, F. (2003). Data analysis methods. En P. Hamon, M. Seguin, X. Perrier, & J. C. Glaszmann (Eds.), *Genetic diversity of cultivated tropical plants* (First, Vol. 1, pp. 43–76). Enfield, Science Publishers.

Rendón-Aguilar, B., González Soto, G., Oble-Delgadillo, M. I., Ojeda-Cornejo, V., Parra-Padilla, R. E., Pérez-González, E., & Ramírez-Hernández, L. (1998). *Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl. (Sterculiaceae, "Cuapataxtle") en el Municipio de Ayutla de los Libres, Guerrero. Composición Florística de los huertos y aspectos etnobotánicos. *Botanical Sciences*, *1*(63), 75–84. https://doi.org/10.17129/botsci.1569

Ricaño-Rodríguez, J., Hipólito-Romero, E., Ramos-Prado, J. M., & Cocoletzi-Vásquez, E. (2019). Genotipado por secuenciación de variedades tradicionales de *Theobroma cacao* (Malvaceae) del Estado de Tabasco, México. *Botanical Sciences*, *97*(3), 381–397. https://doi.org/10.17129/botsci.2258

Ruiz, J., Roa, O., & Marin, I. (2011). Molecular ecology of genetic diversity of cacao cultivated in the south-east region of Nicaragua. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, *1*(1), 6–13.

Ruíz-Erazo, X., Almanza-Pinzón, M., Morillo-Coronado, A. C., Morillo-Coronado, Y., González, A., Caicedo-Arana, A., & Muñoz-Flores, J. E. (2015). Comparación genética de tres fuentes de cacao *Theobroma cacao* L., mediante el uso de marcadores microsatélites. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *13*(1), 10–18.

Saunders, J. A., Mischke, S., Leamy, E. A., & Hemeida, A. A. (2004). Selection of international molecular standards for DNA fingerprinting of *Theobroma cacao*. *Theoretical and Applied Genetics*, *110*(1), 41–47. https://doi.org/10.1007/s00122-004-1762-1

Sereno, M. L., Albuquerque, P. S. B., Vencovsky, R., & Figueira, A. (2006). Genetic diversity and natural population structure of cacao (*Theobroma cacao* L.) from the Brazilian Amazon evaluated by microsatellite markers. *Conservation Genetics*, *7*(1), 13–24. https://doi.org/10.1007/s10592-005-7568-0

Recibido:
5/agosto/2025

Aceptado:
5/diciembre/2025

Smulders, M. J. M., Esselink, D., Amores, F., Ramos, G., Sukha, D. A., Butler, D. R., Vosman, B., & van Loo, E. N. (2010). Identification of cocoa (*Theobroma cacao* L.) varieties with different quality attributes and parentage analysis of their beans. *Ingenics Newsletters*, *1*(12), 1–13.

Southgate, D. (2000). Chocolate and Cocoa: Health and Nutrition. *European Journal of Clinical Nutrition*, *54*(4), 364–365. https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1600955

Tinajero-Carrizales, C., González-Pérez, A. L., Rodríguez-Castillejos, G. C., Castañón-Nájera, G., & Ruíz-Salazar, R. (2021). Comparación proximal en cacao (*Theobroma cacao*) y pataxte (*T. bicolor*) de Tabasco y Chiapas, México. *Polibotánica*, *1*(52), 135–149. https://doi.org/10.18387/polibotanica.52.10

Vázquez-Ovando, J. A., Molina-Freaner, F., Nuñez-Farfán, J., Ovando-Medina, I., & Salvador-Figueroa, M. (2014). Genetic identification of *Theobroma cacao*. *Genetics and Molecular Research*, *13*(4), 10404–10414. https://doi.org/10.4238/2014.December.12.2

Velayutham, T., Rajamani, K., Senthil, N., Shoba, N., & Joel, A. J. (2013). Genetic diversity in cocoa (*Theobroma cacao* L.) plus trees in Tamil Nadu by simple sequence repeat (SSR) markers. *African Journal of Biotechnology*, *12*(30), 4747–4753. https://doi.org/10.5897/AJB2013.12423

Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., Lesur, I., Fouet, O., Argout, X., Guichoux, E., Salin, F., Solorzano, R. L., Bouchez, O., Vignes, H., Severts, P., Hurtado, J., Yepez, A., Grivetti, L., Blake, M., & Valdez, F. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature Ecology & Evolution*, *2*(12), 1879–1888. https://doi.org/10.1038/s41559-018-0697-x

Zequeira, C., & Beauregard, G. (2024). *El cacao tabasqueño: de los Olmecas a nuestro tiempo* (C. Zequeira & G. Beauregard, Eds.; Primera edición, Vol. 1). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. https://shorturl.at/yfOY

Zhang, D., Arevalo-Gardini, E., Mishke, S., Zúñiga-Cernades, L., Barreto-Chavez, A., & Adriazola-Del Aguila, J. (2006). Genetic diversity and structure of managed and semi-natural populations of cocoa (*Theobroma cacao*) in the Huallaga and Ucayali valleys of Peru. *Annals of Botany*, *98*(3), 647–655. https://doi.org/10.1093/aob/mcl146

POLIBOTÁNICA

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

RESPUESTA MORFOGENÉTICA DE *Agave angustifolia* AL GRADIENTE AUXINA-CITOCININA DURANTE EL DESARROLLO DE EMBRIONES SOMÁTICOS INDIRECTOS

MORPHOGENETIC RESPONSE OF *Agave angustifolia* TO THE AUXIN-CYTOKININ GRADIENT DURING THE DEVELOPMENT OF INDIRECT SOMATIC EMBRYOS

Reyes-Díaz, J.I., R.M. Nava-Becerril, A.M. Arzate-Fernández

RESPUESTA MORFOGENÉTICA DE *Agave angustifolia* AL GRADIENTE AUXINA-CITOCININA DURANTE EL DESARROLLO DE EMBRIONES SOMÁTICOS INDIRECTOS
MORPHOGENETIC RESPONSE OF *Agave angustifolia* TO THE AUXIN-CYTOKININ GRADIENT DURING THE DEVELOPMENT OF INDIRECT SOMATIC EMBRYOS

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 311-327 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.18

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

POLIBOTÁNICA

Núm. 61: 311-327 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Respuesta morfogenética de *Agave angustifolia* al gradiente auxina-citocinina durante el desarrollo de embriones somáticos indirectos

Morphogenetic response of *Agave angustifolia* to the auxin-cytokinin gradient during the development of indirect somatic embryos

Jesús Ignacio Reyes-Díaz
https://orcid.org/0000-0001-9234-6575
Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. Unidad Académica de Capulhuac, Universidad Tecnológica del Valle de Toluca, Capulhuac de Mirafuentes, México

Rosa María Nava-Becerril
Amaury Martín Arzate-Fernández / amaury1963@yahoo.com.mx
https://orcid.org/0000-0001-8603-0099
Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento Facultad de Ciencias AgrÌcolas. Universidad Autónoma del Estado México (UAEMéx), Carretera Toluca-Ixtlahuaca Km 11.5, 50200, Toluca, México

RESUMEN: *Agave angustifolia* Haw. es una especie de alto valor para la agroindustria mezcalera mexicana. Sin embargo, la creciente demanda contrasta con la escasez de germoplasma de calidad y la baja eficiencia de los métodos de propagación convencionales. En este contexto, la embriogénesis somática se presenta como una estrategia biotecnológica prometedora para la regeneración masiva de plantas élite en condiciones controladas. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de tres auxinas (2,4-diclorofenoxiacético [2,4-D], ácido indolacético [AIA] y ácido naftalenacético [ANA]) combinadas con N^6-benciladenina (BA) sobre la inducción de embriogénesis somática en *A. angustifolia*, a partir de ejes embrionarios cigóticos. Se aplicó un diseño experimental completamente al azar para evaluar 27 combinaciones hormonales, derivadas de la interacción factorial de tres concentraciones de auxinas (13.57, 18.10 y 22.62 µM de 2,4-D; 17.13, 22.83 y 28.54 µM de AIA; 16.11, 21.48 y 26.85 µM de ANA) y tres de BA (4.44, 8.88 y 13.32 µM). Se utilizó como medio basal para inducir las masas proembriogénicas el MS al 25 % con 60 g L^{-1} de sacarosa y vitaminas L2, cada eje embrionario cigótico se consideró como una unidad experimental. A los 60 días de cultivo, los callos obtenidos fueron transferidos a un medio MS de histodiferenciación con 0.45 µM de 2,4-D, 0.57 µM de AIA o 0.54 µM de ANA, según correspondiera, y sin BA. Todos los cultivos se mantuvieron en oscuridad por 30-60 días adicionales para favorecer la diferenciación embrionaria. Las combinaciones con 2,4-D + BA indujeron formación de callo en un 71% de los explantes, con prevalencia de estructuras embriogénicas. La combinación más efectiva fue 22.62 µM de 2,4-D + 13.32 µM de BA, con un rango de 1 a 36 embriones somáticos por explante y una eficiencia embriogénica de 17.6 ± 7.1. Las combinaciones de ANA + BA promovieron principalmente la rizogénesis (87%), sin formación de embriones, mientras que las de AIA + BA fueron ineficaces (≤ 10%), con tejidos oxidados y sin desarrollo morfogénico. Las plántulas regeneradas a partir de embriones somáticos germinaron adecuadamente y mostraron una tasa de supervivencia del 100% al ser aclimatadas en condiciones *ex vitro*. La combinación de 22.62 µM de 2,4-D y 13.32 µM de BA resultó ser la más eficiente para inducir embriogénesis somática en *A. angustifolia*. El 2,4-D demostró un efecto superior frente al ANA y AIA, consolidándose como el regulador clave para inducir la totipotencia celular. La alta tasa de aclimatación *ex vitro* valida la viabilidad práctica del protocolo propuesto, con amplias posibilidades de aplicación en conservación, mejoramiento genético y producción sustentable de agaves.

Jesús-Ignacio Reyes-Díaz, Rosa María Nava-Becerril, Amaury-Martín Arzate-Fernández

RESPUESTA MORFOGENÉTICA DE *Agave angustifolia* AL GRADIENTE AUXINA-CITOCININA DURANTE EL DESARROLLO DE EMBRIONES SOMÁTICOS INDIRECTOS

MORPHOGENETIC RESPONSE OF *Agave angustifolia* TO THE AUXIN-CYTOKININ GRADIENT DURING THE DEVELOPMENT OF INDIRECT SOMATIC EMBRYOS

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 311-327. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.18

Palabras clave: Agave mezcalero, callogénesis, embrión somático, reguladores del crecimiento vegetal.

ABSTRACT: *Agave angustifolia* Haw. is a highly valuable species for the Mexican mezcal agroindustry. However, the increasing demand contrasts with the scarcity of high-quality germplasm and the low efficiency of conventional propagation methods. In this context, somatic embryogenesis emerges as a promising biotechnological strategy for the mass regeneration of elite plants under controlled conditions. The objective of this study was to evaluate the effect of three auxins (2,4-dichlorophenoxyacetic acid [2,4-D], indole-3-acetic acid [IAA], and naphthaleneacetic acid [NAA]) combined with N^6-benzyladenine (BA) on the induction of somatic embryogenesis in *A. angustifolia*, using zygotic embryo axes as explants. A completely randomized experimental design was applied to assess 27 hormonal combinations, derived from the factorial interaction of three concentrations of auxins (13.57, 18.10 and 22.62 µM of 2,4-D; 17.13, 22.83 and 28.54 µM of IAA; 16.11, 21.48 and 26.85 µM of NAA) and three of BA (4.44, 8.88 and 13.32 µM). The induction medium for proembryogenic masses consisted of 25 % MS supplemented with 60 g L^{-1} sucrose and L2 vitamins. Each zygotic embryo axis was considered an experimental unit. After 60 days of start of cultivation, the resulting calli were transferred to a histodifferentiation MS medium containing 0.45 µM of 2,4-D, 0.57 µM of IAA, or 0.54 µM of NAA, as appropriate, and without BA. All cultures were kept in darkness for an additional 30–60 days to promote embryonic differentiation. Combinations of 2,4-D + BA induced callus formation in 71% of the explants, with a predominance of embryogenic structures. The most effective combination was 22.62 µM of 2,4-D + 13.32 µM of BA, yielding between 1 and 36 somatic embryos per explant and an embryogenic efficiency of 17.6 ± 7.1. Combinations of NAA + BA mainly promoted rhizogenesis (87%) with no embryo formation, while IAA + BA combinations were ineffective (≤ 10%), resulting in oxidized tissues with no morphogenic development. Plantlets regenerated from somatic embryos germinated properly and exhibited a 100 % survival rate when acclimated under *ex vitro* conditions. The combination of 22.62 µM of 2,4-D and 13.32 µM of BA proved to be the most efficient for inducing somatic embryogenesis in *A. angustifolia*. Among the tested auxins, 2,4-D showed a superior effect compared to NAA and IAA, establishing itself as the key regulator for inducing cellular totipotency. The high *ex vitro* acclimatization rate confirms the practical viability of the proposed protocol, with broad potential applications in conservation, genetic improvement, and sustainable agave production.

Key words: Agave mezcalero, callogenesis, somatic embryo, plant growth regulators.

INTRODUCCIÓN

La familia Asparagaceae (anteriormente Agavaceae), subfamilia Agavoideae, perteneciente al orden Asparagales, constituye un linaje monofilético de plantas monocotiledóneas ampliamente adaptadas a entornos xerofíticos a través de sofisticadas adaptaciones morfofisiológicas (García-Mendoza, 2002). Este clado agrupa sistemáticamente a nueve géneros neotropicales, entre los que destacan *Agave*, *Furcraea* y *Yucca*, con aproximadamente 300 especies, de las cuales un notable 90.6% (272 taxones) presentan distribución endémica en el territorio mexicano, lo que posiciona al país como un punto crítico de diversidad genética y centro de diversificación evolutiva para este grupo (Álvarez-Ríos *et al*., 2020; Trejo *et al*., 2024). Esta riqueza específica está estrechamente correlacionada con procesos de radiación adaptativa impulsados por condiciones edafoclimáticas extremas, particularmente en el Eje Neovolcánico Transversal y en zonas de transición árido-tropical, donde estas especies han desarrollado estrategias fisiológicas altamente especializadas para maximizar la eficiencia en el uso del agua y la captación de nutrientes (Dávila *et al*., 2002).

El género *Agave* destaca por su relevancia ecológica, económica y biotecnológica. Su metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM, *Crassulacean Acid Metabolism*) y su capacidad de sintetizar y almacenar fructanos de alta masa molecular le confieren una notable resiliencia ambiental y lo hacen apto para múltiples aplicaciones industriales (Pérez-Zavala *et al*., 2020).

Estas aplicaciones incluyen la producción de bebidas destiladas mediante hidrólisis termoenzimática de fructooligosacáridos (como el tequila y el mezcal), el desarrollo de ingredientes funcionales como prebióticos y edulcorantes, la síntesis de bioetanol de segunda generación, y la extracción de compuestos bioactivos como saponinas esteroidales con propiedades farmacológicas (Gutiérrez-Mora *et al*., 2014; Zizumbo-Villarreal *et al*., 2009). Sin embargo, la biología reproductiva del género, caracterizada por su monocarpismo, largos ciclos ontogénicos, baja viabilidad seminal y limitada propagación vegetativa espontánea, representa una barrera crítica para su conservación y explotación sostenible (Aguirre-Dugua & Eguiarte, 2013).

Particularmente, *Agave angustifolia* Haw., una especie diploide ($2n = 2x = 60$), muestra una marcada vulnerabilidad ecológica y genética, atribuible a su escaso flujo génico, alta especialización ecológica y grado elevado de domesticación (Flores-Maya *et al*., 2015). Proyecciones recientes advierten una reducción de hasta el 68 % en sus poblaciones silvestres para el año 2040, como consecuencia de la ausencia de intervenciones de conservación efectivas y la creciente presión extractiva de la industria mezcalera. Ante esta problemática, la implementación de estrategias biotecnológicas orientadas a su propagación masiva, conservación *ex situ* y mejora genética resulta imperativa (Gutiérrez-Mora *et al*., 2014).

La embriogénesis somática (ES) se erige como una herramienta fundamental, capaz de generar sistemas de propagación clonal eficientes, establecer bancos de germoplasma *in vitro*, facilitar la crioconservación de recursos fitogenéticos y constituirse una plataforma para la transformación genética (Aronen *et al*., 2025; Desai *et al*., 2022). El proceso embriogénico en *Agave* implica una compleja reprogramación celular, mediada por mecanismos epigenéticos y moleculares como la remodelación de la cromatina (vía modificaciones postraduccionales de histonas), patrones de metilación diferencial del ADN, reorganización del citoesqueleto y la generación de gradientes auxínicos mediados por reguladores del crecimiento vegetal (RCV) exógenos (Alvarez-Aragón *et al*., 2020; Gulzar *et al*., 2020; Reyes-Díaz *et al*., 2017, 2018).

En continuidad con investigaciones previas sobre *A. angustifolia*, se reconoce que los sistemas desarrollados hasta ahora han contribuido significativamente al entendimiento de la embriogénesis somática en esta especie (Reyes-Díaz *et al*., 2017, 2018). No obstante, es necesario seguir optimizando aspectos clave del proceso, como la frecuencia de inducción embrionaria, la sincronía en el desarrollo de los embriones, la estabilidad morfogénica y la conservación de la competencia embriogénica en cultivos prolongados (Aronen *et al*., 2025). En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de tres auxinas (2,4-diclorofenoxiacético [2,4-D], ácido indolacético [AIA] y ácido naftalenacético [ANA]) combinadas con N^6-benciladenina (BA) sobre la inducción de embriogénesis somática en *A. angustifolia*, a partir de ejes embrionarios cigóticos. La comparación del efecto de auxinas naturales y sintéticas combinadas con BA es esencial para optimizar la embriogénesis somática en *A. angustifolia*, especie clave para la producción y conservación de germoplasma. Aunque el 2,4-D es el regulador más utilizado para inducir callo proembriogénico, su respuesta depende del genotipo y puede inducir variaciones somaclonales. Alternativamente, el AIA y el ANA, con diferentes propiedades fisiológicas y estabilidad metabólica, pueden modular rutas específicas de desdiferenciación y reprogramación embriogénica. La inclusión de BA permite evaluar sinergias auxina–citocinina críticas para la adquisición de competencia embrionaria. Este enfoque permite definir condiciones hormonales óptimas para lograr altos niveles de regeneración, estabilidad genética y escalabilidad, fortaleciendo plataformas biotecnológicas para la propagación y conservación sostenible de agaves.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área experimental

El presente estudio fue desarrollado en el Laboratorio de Biología Molecular Vegetal, perteneciente al Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento (CIEAF),

adscrito a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx).

Material biológico

Se recolectaron semillas maduras de *A. angustifolia* (Figura 1A) en poblaciones silvestres del municipio de Zumpahuacán, Estado de México (18°48'N, 99°35'W). Las semillas fueron desinfectadas mediante un lavado inicial con detergente líquido neutro complementado con Tween® 20 al 0.1% (v/v) durante 15 minutos, seguido de un enjuague con agua destilada estéril. Posteriormente, se realizó una inmersión en etanol absoluto (96% v/v) durante un minuto y, enseguida, una desinfección con hipoclorito de sodio al 2% (p/v), bajo agitación orbital constante a 100 rpm durante 15 minutos. Finalmente, las semillas fueron enjuagadas tres veces con agua destilada estéril bajo condiciones asépticas en campana de flujo laminar. Una vez desinfectadas, se colocaron en agua estéril y refrigeración a 4-6º C en oscuridad absoluta durante 48 horas, como tratamiento de hidratación y estratificación previa. Al término de este periodo, se procedió a la disección manual de las semillas bajo microscopio estereoscópico (40×) para extraer asépticamente un total de 1620 ejes embrionarios cigóticos (EEC) maduros (Figura 1B), los cuales fueron utilizados como explantes para los experimentos de embriogénesis somática.

Inducción de callo proembriogénico (CPE)

Los EEC de *A. angustifolia* fueron establecidos en un medio de cultivo diseñado específicamente para la inducción de CPE y subsecuente histodiferenciación para la formación de embriones somáticos (ESS). El medio basal consistió en sales minerales MS (Murashige y Skoog, 1962) al 25% de su concentración estándar, suplementado con 60.0 g L^{-1} de sacarosa, el complejo vitamínico L2 (250.0 mg L^{-1} de inositol, 0.5 mg L^{-1} de piridoxina y 2.0 mg L^{-1} de tiamina), y combinaciones específicas de RCV. El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo factorial 3×3×3, en el cual se evaluó un gradiente de concentraciones auxina-citocinina compuesto por tres auxinas, cada una en tres concentraciones: 2,4-D (13.57, 18.10 y 22.62 µM), ANA (16.11, 21.48 y 26.85 µM) y AIA (17.13, 22.83 y 28.54 µM), combinadas con tres concentraciones de BA (4.44, 8.88 y 13.32 µM), generando un total de 27 tratamientos. Cada tratamiento fue replicado tres veces, utilizando una caja Petri como repetición, en cada repetición se establecieron 20 EEC; donde cada EEC se consideró como una unidad experimental individual. El pH de los medios fue ajustado a 5.7 antes de la adición de 8.0 g L^{-1} de agar como agente gelificante. La esterilización se realizó mediante autoclave a 121 °C y 1.1 kg·cm^{-2} de presión durante 20 minutos. Las cajas fueron incubadas en oscuridad continua a 25 ± 2 °C durante un periodo de 60 días. Al finalizar este periodo (60 días después de iniciado el cultivo), se cuantificó el porcentaje de callogénesis y se clasificó el callo inducido en dos categorías morfológicas: CPE, distinguido por su textura compacta, color blanquecino brilloso a amarillento translúcido, apariencia nodular y organización celular densa; y callo no proembriogénico (CNPE), caracterizado por su consistencia friable, color blanco opaco a marrón, estructura desorganizada y tendencia a la oxidación.

Histodiferenciación de ESS

Los CPE, con una incipiente formación de ESS en estadio globular, fueron subsecuentemente transferidos a un medio de histodiferenciación, diseñado para promover la progresión a los estadios escutelar y coleoptilar. Este medio consistió en sales MS al 50% de su concentración original, vitaminas MS, 30.0 g L^{-1} de sacarosa y suplementado con 0.45 µM de 2,4-D, 0.54 µM de ANA o 0.57 µM de AIA, según correspondiera, en todos los casos sin la adición de BA. Las condiciones de incubación se mantuvieron en oscuridad absoluta a 25 ± 2 °C durante un periodo adicional de 60 días, alcanzando un total de 120 días. La completa histodiferenciación fue evaluada cuantificando el número de ES coleoptilares generados por callo al término del periodo.

Germinación de ESS, conversión a plántulas y adaptación de plántulas a condiciones *ex vitro*

Para evaluar la conversión embrionaria a plántula, por tratamiento, se seleccionaron aleatoriamente diez ESS en el estadio coleoptilar. La selección aleatoria se realizó con el

propósito de evitar sesgos asociados a la elección subjetiva de estructuras con diferente grado de desarrollo o vigor, garantizando así la representatividad biológica de la muestra dentro de cada tratamiento. Este procedimiento asegura que las variaciones observadas en la tasa de conversión reflejen de manera más objetiva el efecto de los RCV y las condiciones de cultivo, en lugar de diferencias atribuibles a la selección de los explantes.
Estos embriones en estado coleoptilar fueron transferidos a un medio de germinación, MS al 50% sin adición de RCV, bajo un fotoperiodo de 16 h luz/8 h oscuridad y a 25 ± 2 °C, hasta que la plántula alcanzara una altura promedio de 5 cm. Las plántulas regeneradas se extrajeron cuidadosamente de los frascos de cultivo *in vitro*, eliminando los restos de medio de cultivo mediante enjuagues suaves con agua destilada estéril para evitar contaminación. Posteriormente, se seleccionaron aquellas con raíces bien desarrolladas, turgentes y sin signos de necrosis. Cada plántula se trasplantó en una maceta individual previamente esterilizada, que contenía una mezcla homogénea de perlita, composta y suelo agrícola en proporciones 1:1:1, previamente autoclavada para garantizar la asepsia del sustrato. Las macetas se colocaron en un invernadero con temperatura y humedad controladas, bajo luz difusa, y se mantuvieron cubiertas con plástico transparente durante la primera semana para conservar una alta humedad relativa y reducir el choque hídrico. Durante las tres semanas de aclimatación, las cubiertas se retiraron gradualmente para favorecer la adaptación de las plántulas a condiciones *ex vitro*, hasta alcanzar su total exposición al ambiente del invernadero.

Variables evaluadas
Las variables morfogenéticas cuantificadas incluyeron:
a) Porcentaje de callos proembriogénicos (%): proporción de explantes que desarrollaron estructuras callogénicas respecto al total de explantes cultivados a los 60 días después de iniciado el cultivo (ddic), expresada como porcentaje.
b) Densidad embriogénica: número de embriones somáticos coleoptilares por callo, cuantificados a los 120 ddic mediante conteo directo bajo microscopio óptico en cámara de Neubauer.
c) Eficiencia embriogénica: promedio de embriones somáticos coleoptilares generados por tratamiento a los 120 ddic, expresado como el número total de embriones somáticos coleoptilares dividido entre el número total de explantes (eje embrionario cigótico) por tratamiento.
d) Tasa de aclimatación (%): proporción de plántulas viables y completamente adaptadas a condiciones ambientales *ex vitro* a los 202 ddic, respecto al total de plantas transferidas desde condiciones *in vitro*.

Análisis estadístico
Los datos cuantitativos obtenidos para las variables morfogenéticas, porcentaje de CPE, densidad embriogénica, eficiencia embriogénica y tasa de aclimatación, fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), empleando el software MENU versión 2.5, con el objetivo de identificar diferencias significativas entre los tratamientos. En los casos en que se detectaron diferencias estadísticas significativas (F test, $P < 0.05$), se procedió a realizar una comparación de medias mediante la prueba de rango múltiple de Tukey con un nivel de confianza del 95%. Los resultados fueron expresados como medias ± error estándar.

RESULTADOS

Inducción de CPE
La formación de CPE en EEC de *A. angustifolia* dependió de la interacción entre auxinas y citocininas, con una respuesta claramente modulada por el tipo de auxina aplicada. La desdiferenciación celular fue un evento temprano y evidente desde los 5 ddic (Figura 1C). A partir de los 20 ddic (Figura 1D) y hasta los 60 ddic, las masas callosas alcanzaron un desarrollo significativo, permitiendo distinguir visualmente diferencias morfológicas entre CPE y CNPE.

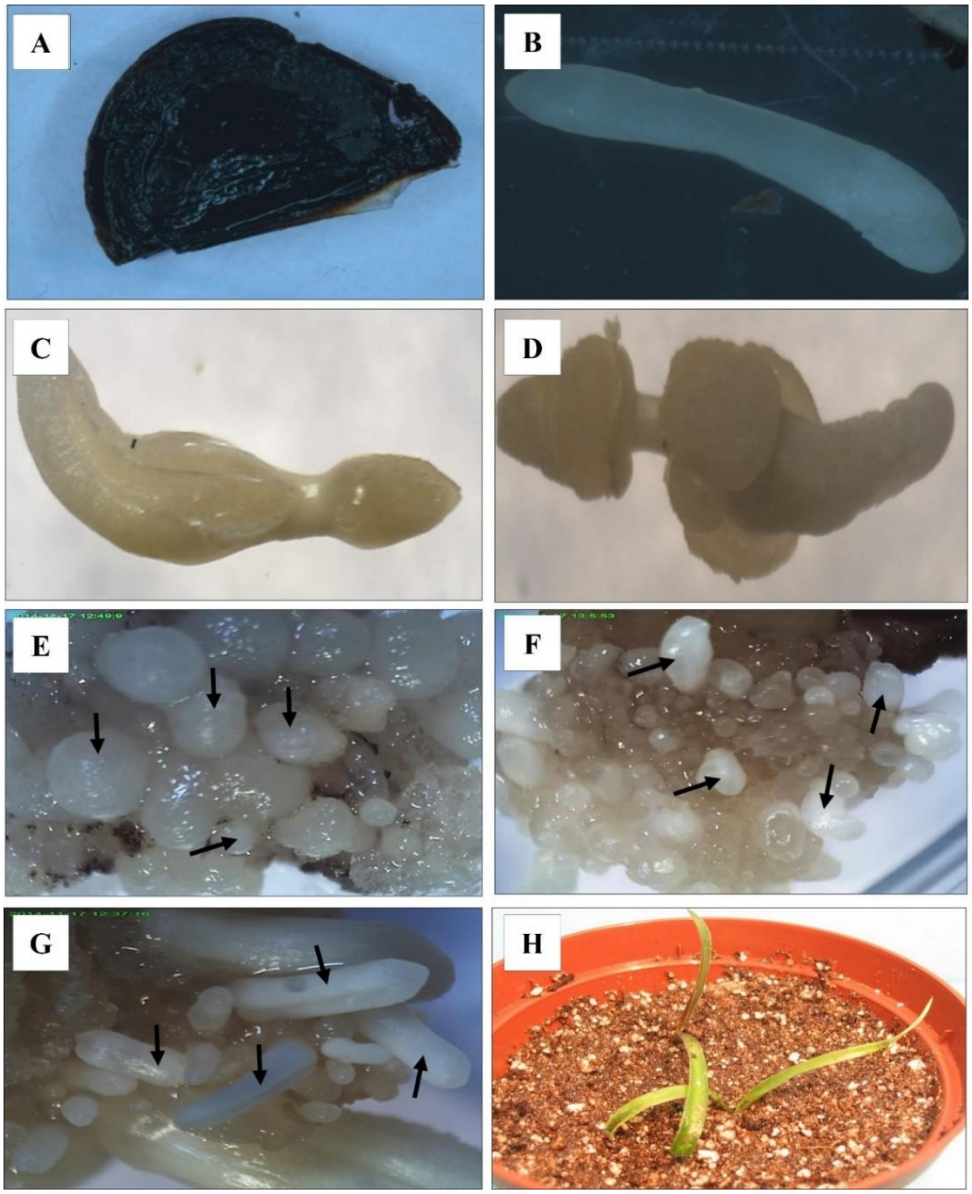


Figura 1. Proceso de embriogénesis somática en *A. angustifolia* a partir de ejes embrionarios cigóticos: A. Semilla madura de *A. angustifolia*. B. Eje embrionario cigótico aislado como explante inicial. C. Inicio de la desdiferenciación celular a los 5 ddic. D. Formación de callo proembriogénico compacto de color amarillo perlado a los 40 ddic. E. Desarrollo de estructuras globulares indicativas de embriones somáticos globulares tempranos (flechas). F. Embriones somáticos en transición de estadios globular a escutelar (flechas), con morfología definida. G. Producción de embriones somáticos en estadio coleoptilar a los 100 ddic, en el tratamiento que contenía 22.62 µM de 2,4-D y 13.32 µM de BA. H. Plántulas completamente desarrolladas y exitosamente aclimatadas a condiciones *ex vitro* en invernadero, a los 202 ddic.

Figure 1. Somatic embryogenesis process in *A. angustifolia* from zygotic embryo axes: A. Mature seed of *A. angustifolia*. B. Isolated zygotic embryo axis used as the initial explant. C. Onset of cellular dedifferentiation at 5 days after culture initiation (daci). D. Formation of compact, pearl-yellow proembryogenic callus at 40 daci. E. Development of globular structures indicative of early globular somatic embryos (arrows). F. Somatic embryos transitioning from globular to scutellar stages (arrows), showing defined morphology. G. Production of coleoptile-stage somatic embryos at 100 daci, in the most efficient treatment (25% MS with 60 g L^{-1} sucrose, 22.62 µM of 2,4-D, and 13.32 µM of BA). H. Fully developed plantlets successfully acclimatized to *ex vitro* conditions in the greenhouse at 202 daci.

Entre las combinaciones evaluadas, los tratamientos que incluyeron 2,4-D junto con BA fueron los únicos eficientes para la formación de CPE (Tabla 1). Destacó particularmente la combinación de 18.10 µM de 2,4-D y 4.44 µM de BA, la cual alcanzó una callogénesis del 97.8 ± 1.6%, significativamente superior al resto de los tratamientos de acuerdo con el análisis estadístico. Este tratamiento promovió la formación de callos con rasgos característicos de competencia embriogénica (CPE), incluyendo textura friable, color amarillo perlado, superficie homogénea y la presencia de estructuras globulares compatibles con embriones somáticos en estadios tempranos, en concordancia con lo señalado por Reyes-Díaz *et al*., (2017, 2018). En contraste, los CNPE, mostraron una morfología irregular, con tejidos gelatinosos, oxidación evidente y estructura heterogénea.

Tabla 1. Porcentaje de callogénesis y tipo de callo generado a partir de ejes embrionarios cigóticos de *A. angustifolia* cultivados en medio suplementado con distintas combinaciones de auxinas (2,4-D, ANA o AIA) y N^6-benciladenina (BA), a los 60 ddic.

Table 1. Percentage of callogenesis and type of callus generated from zygotic embryo axes of *A. angustifolia* cultured on medium supplemented with different combinations of auxins (2,4-D, NAA, or IAA) and N^6-benzyladenine (BA), at 60 daci.

Tratamiento (µM)		Callogénesis (%) (media ± EE)		Tipo de Callo
Auxina	**Citocinina**			
2,4-D	BA			
13.57	4.44	58.7 ± 4.5	b	CPE - CNPE
	8.88	52.3 ± 3.9	bc	CPE - CNPE
	13.32	62.1 ± 5.1	b	CNPE
18.10	4.44	97.8 ± 1.6	a	CPE - CNPE
	8.88	63.4 ± 4.8	b	CPE - CNPE
	13.32	78.9 ± 3.7	ab	CPE - CNPE
22.62	4.44	94.3 ± 2.2	a	CNPE
	8.88	81.5 ± 3.1	ab	CPE - CNPE
	13.32	59.7 ± 5.5	b	CPE - CNPE
ANA	BA			
16.11	4.44	91.4 ± 3.2	a	CNPE
	8.88	98.6 ± 1.0	a	CNPE
	13.32	89.3 ± 4.1	a	CNPE
21.48	4.44	79.8 ± 3.9	ab	CNPE
	8.88	82.6 ± 3.5	ab	CNPE
	13.32	97.1 ± 1.7	a	CNPE
26.85	4.44	68.9 ± 5.2	bc	CNPE
	8.88	83.7 ± 3.3	ab	CNPE
	13.32	99.2 ± 0.5	a	CNPE
AIA	BA			
17.13	4.44	8.4 ± 1.7	d	CNPE
	8.88	9.2 ± 2.0	d	CNPE
	13.32	6.8 ± 1.2	e	CNPE
22.83	4.44	10.0 ± 2.5	d	CNPE
	8.88	7.5 ± 1.8	de	CNPE
	13.32	6.2 ± 1.0	e	CNPE

Tratamiento (µM)		Callogénesis (%) (media ± EE)		Tipo de Callo
Auxina	Citocinina			
	4.44	9.7 ± 2.3	d	CNPE
28.54	8.88	5.9 ± 1.1	e	CNPE
	13.32	8.1 ± 1.5	d	CNPE

CPE: Callo proembriogénico, CNPE: Callo no proembriogénico. Letras distintas (a, b, c, d, e) indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Los valores corresponden a la media de tres repeticiones ± error estándar (EE).

Particularmente, los tratamientos con ANA también indujeron altos porcentajes de formación de callo (frecuentemente superiores al 80%); sin embargo, la morfología resultante difirió notablemente. Los callos presentaron textura compacta a semisólida, tonalidades verde-crema y apariencia heterogénea, sin estructuras nodulares ni masas proembriogénicas bien definidas. En estos cultivos se registró una elevada frecuencia de organogénesis indirecta, reflejada en la aparición de raíces adventicias y brotes emergentes desde el tejido calloso (Figura 2A). No se observaron estructuras compatibles con embriones somáticos en ninguno de los tratamientos basados en ANA, clasificándose como callos no proembriogénicos (CNPE).

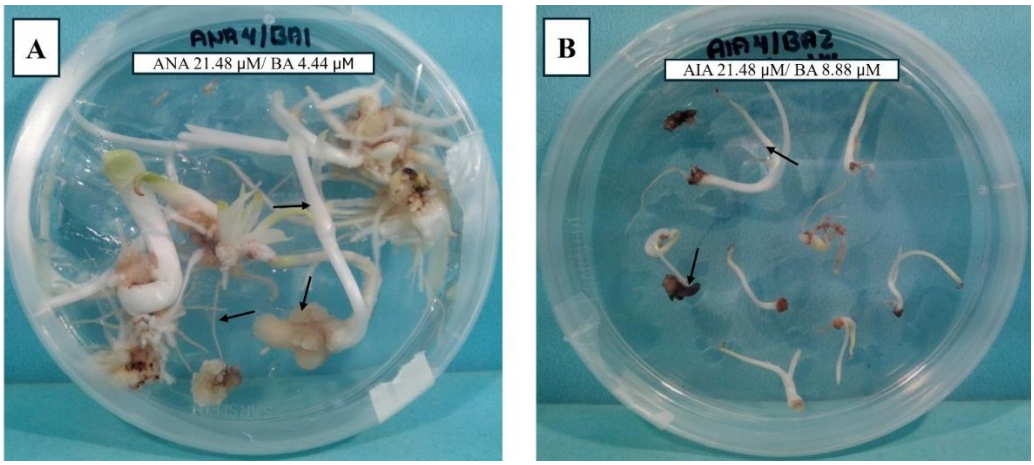


Figura 2. Respuesta morfogénica no embriogénica en explantes de *A. angustifolia* cultivados con ANA o AIA en combinación con BA: A. Formación de callo no proembriogénico con desarrollo de raíces (1.5 cm) y brotes adventicios (3.0 cm) a los 20 ddic, en tratamientos con ácido naftalenacético (ANA) más BA. Las flechas indican estructuras diferenciadas. B. Callo parcialmente oxidado observado entre los 20 y 60 ddic, con brotes de hasta 3.0 cm de longitud formados a los 50 ddic (flechas), en tratamientos suplementados con ácido indolacético (AIA) más BA. Esta respuesta sugiere una vía rizogénica o adventicia alternativa, sin evidencia de embriogénesis somática.
Figure 2. Non-embryogenic morphogenic response in *A. angustifolia* explants cultured with NAA or IAA in combination with BA: A. Formation of non-embryogenic callus with root development (1.5 cm) and adventitious shoots (3.0 cm) at 20 days after culture initiation (daci), in treatments with naphthaleneacetic acid (NAA) plus BA. Arrows indicate differentiated structures. B. Partially oxidized callus observed between 20 and 60 daci, with shoots up to 3.0 cm in length formed at 50 daci (arrows), in treatments supplemented with indoleacetic acid (IAA) plus BA. This response suggests an alternative rhizogenic or adventitious pathway, with no evidence of somatic embryogenesis.

Aún más limitada fue la respuesta obtenida con AIA, donde la callogénesis fue escasa (8.0 ± 1.7% en promedio), sin evidencia de formación de CPE (Tabla 1). No obstante, en algunos explantes tratados con AIA se observó la aparición espontánea de brotes, aunque sin desarrollo embriogénico claro (Figura 2B).

Núm. 61: 311-327 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Histodiferenciación de ESS

La histodiferenciación de ESS en *A. angustifolia* se presentó exclusivamente en los tratamientos que incluyeron la combinación de 2,4-D con BA, lo que evidencia una alta especificidad hormonal para inducir embriogénesis somática en esta especie.

De los nueve tratamientos empleados con 2,4-D (Tabla 2), siete lograron inducir la formación de ESS (Figuras 1E y 1F), aunque con eficiencias variables tanto en número como en frecuencia de aparición. El tratamiento más eficiente fue 22.62 µM de 2,4-D combinado con 13.32 µM de BA siendo significativamente superior al resto de los tratamientos, con una eficiencia embriogénica promedio de 17.6 ± 7.1 ES por explante (Figura 1G), alcanzando hasta 36 embriones en estadio coleoptilar por explante (Tabla 2). Estos embriones emergieron directamente a partir de los CPE.

Tabla 2. Densidad y eficiencia embriogénica en ejes embrionarios cigóticos de *Agave angustifolia* cultivados inicialmente en medio suplementado con distintas combinaciones de 2,4-D y BA, a los 120 ddic.
Table 2. Embryogenic density and efficiency in zygotic embryo axes of *Agave angustifolia* initially cultured on medium supplemented with different combinations of 2,4-D and BA, at 120 daci.

Tratamiento (µM)		Densidad embriogénica	Eficiencia embriogénica (media ± EE)	
Auxina	Citocinina			
2,4-D	BA			
	4.44	8 - 11	9.5 ± 0.4	b
13.57	8.88	4	4.0 ± 0.0	c
	13.32	-	-	-
	4.44	9 - 11	10.0 ± 0.6	b
18.10	8.88	2 - 6	4.0 ± 0.7	c
	13.32	2 - 25	13.5 ± 3.5	ab
	4.44	-	-	-
22.62	8.88	6	6.0 ± 0.0	bc
	13.32	1 - 36	17.6 ± 7.1	a

La densidad embriogénica representa el rango mínimo y máximo de embriones somáticos coleoptilares observados por explante. La eficiencia embriogénica corresponde al número promedio de embriones somáticos coleoptilares por explante ± error estándar (EE). Letras distintas (a, b, c) indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$). El guion (–) indica ausencia de respuesta embriogénica en ese tratamiento.

La identificación de los ESS se realizó mediante observación morfológica a los 60 ddic, destacando su forma globular o escutelar, así como su tonalidad más brillante y definida respecto al callo circundante. Esta distinción permitió su aislamiento y posterior transferencia a medio de histodiferenciación para favorecer su maduración hacia estadios más avanzados, principalmente el cotiledonar o coleoptilar, hacia los 120 ddic.

Otros tratamientos con respuesta embriogénica considerable fueron 18.10 µM de 2,4-D + 13.32 µM de BA y 18.10 µM de 2,4-D + 4.44 µM de BA, con eficiencias de 13.5 ± 3.5 y 10.0 ± 0.6 ES por explante, respectivamente. En contraste, la combinación 13.57 µM de 2,4-D + 8.88 µM de BA produjo escasa cantidad de ESS (4.0).

En cambio, ninguno de los tratamientos que emplearon ANA o AIA fue capaz de inducir embriones somáticos, a pesar de que ambos RCV promovieron una callogénesis abundante (Tabla 1). Los tejidos generados bajo estas condiciones correspondieron exclusivamente a CNPE, sin evidencia de histodiferenciación embrionaria.

Núm. 61: 311-327 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Germinación de ESS, conversión a plántulas y adaptación de plántulas a condiciones *ex vitro*
Los ESS obtenidos a partir de CPE fueron transferidos a un medio de germinación libre de RCV para inducir su conversión en plántulas completas. Este paso resultó fundamental para evaluar la funcionalidad de las estructuras embrionarias generadas. La mayoría de los ESS avanzó hacia la diferenciación de ejes radiculares y meristemos caulinares, presentando características morfológicas típicas de embriones cigóticos en desarrollo, como simetría bilateral, formación de hipocótilo y apertura del coleóptilo. La tasa de conversión fue elevada (96%), especialmente en aquellos tratamientos hormonales donde se observaron densidades embriogénicas más altas y estructuras más organizadas (como en la combinación de 22.62 µM de 2,4-D con 13.32 µM de BA), lo que indica un proceso de embriogénesis somática funcional y eficiente.
Posteriormente, las plántulas regeneradas fueron exitosamente transferidas y aclimatadas a condiciones *ex vitro*, utilizando un sustrato compuesto en proporciones iguales de perlita, composta, y suelo agrícola (1:1:1) (Figura 1H). Esta formulación ofreció una textura, aireación y retención hídrica adecuadas, permitiendo una transición gradual desde el ambiente *in vitro*, altamente controlado y estéril, hacia un entorno más complejo y variable. El proceso de aclimatación fue progresivo, iniciando con condiciones de humedad relativa elevada y sombra parcial, y reduciendo estos factores de forma escalonada a lo largo de 3 semanas. El resultado fue una tasa de supervivencia del 100%, lo que representa un indicador de la viabilidad fisiológica y estructural de las plántulas.

DISCUSIÓN

Inducción de CPE
La inducción de callo en *A. angustifolia* mostró una respuesta diferencial según la auxina utilizada, lo que indica que este proceso no depende únicamente del tipo de regulador exógeno, sino del equilibrio entre las concentraciones internas de auxinas y las condiciones fisiológicas del explante. Esta interacción sugiere que la competencia celular para responder a los estímulos hormonales está modulada por la sensibilidad tisular y el estado metabólico del tejido, más que por la naturaleza química de la auxina añadida al medio (Aronen *et al*., 2025). La interacción entre auxinas y citocininas, particularmente la combinación de 2,4-D con BA, resultó ser determinante para la inducción de CPE, como también ha sido reportado en otros sistemas embriogénicos en *A. angustifolia* (Reyes-Díaz *et al*., 2017, 2018). La eficacia de este tratamiento no solo se reflejó en tasas elevadas de inducción, sino también en la calidad morfológica del callo generado, caracterizado por una organización celular compatible con estados embrionarios tempranos reportados previamente por (Reyes-Díaz *et al*., 2017, 2018). Estos rasgos, se correlacionan con una arquitectura celular organizada y meristemática, con núcleos prominentes, abundante citoplasma y baja vacuolización, condiciones necesarias para la totipotencia celular (Desai *et al*., 2022).
Desde una perspectiva fisiológica, el 2,4-D se comporta como un potente inductor debido a su estabilidad metabólica y su afinidad con receptores clave de la señalización auxínica, modulando la expresión de genes relacionados con la desdiferenciación celular y la transición al estado embrionario (Gulzar *et al*., 2020), lo cual podría explicar la mayor proporción de CPE observados en los tratamientos con esta auxina. A su vez, la citocinina BA complementa este efecto al promover divisiones celulares controladas, favoreciendo la formación de estructuras meristemáticas organizadas necesarias para el establecimiento de estructuras embriogénicas (Schaller *et al*., 2015).
En cambio, los CNPE observados en tratamientos con menor eficacia o con auxinas distintas, presentaron una morfología desorganizada y características como textura gelatinosa y oxidación, lo que sugiere un crecimiento caótico y una insuficiente reprogramación génica para iniciar la embriogénesis. Esta distinción entre CPE y CNPE no solo es morfológica, sino funcional, ya que la presencia de CNPE en un cultivo puede interferir con la maduración de embriones somáticos verdaderos, al competir por recursos y espacio. Adicionalmente, la coexistencia de CPE y CNPE dentro de un mismo sistema de cultivo constituye un fenómeno fisiológico relevante, asociado a

la plasticidad de los tejidos bajo condiciones hormonales inductivas. Esta coexistencia se interpreta como la expresión simultánea de rutas morfogenéticas competitivas, donde la porción de tejido con reorganización meristemática adquiere potencial embriogénico, mientras que el tejido no competente expresa vías organogénicas o proliferativas desorganizadas. Esta dinámica ha sido señalada como característica en sistemas con alta presión auxínica, particularmente con 2,4-D, y se reconoce su implicación funcional al influir en la disponibilidad de recursos y en la eficiencia global de la embriogénesis. (Radoeva *et al*., 2019; Wang *et al*., 2022).

En contraste con el 2,4-D, el ANA mostró una elevada capacidad de callogénesis (superior al 90%), pero los tejidos inducidos carecieron de potencial embriogénico. Su tendencia a promover rizogénesis y brotación adventicia sugiere que el ANA favorece rutas de desarrollo unipolar, inhibiendo la formación de estructuras embrionarias bipolares (Teale y Palme, 2018). Esta respuesta puede atribuirse a la mayor estabilidad química del ANA, que evita su degradación rápida pero también impide el establecimiento de gradientes hormonales dinámicos, los cuales son necesarios para activar rutas embriogénicas (Ascough y Fennell, 2004; Schaller *et al*., 2015).

Aún más limitada fue la respuesta observada con el uso de AIA, lo que puede atribuirse a su baja estabilidad fisiológica y, por ende, a una disponibilidad reducida de auxina activa en el medio de cultivo (Azizi *et al*., 2015). A diferencia de otras auxinas sintéticas como el 2,4-D o el ANA, el AIA, de naturaleza endógena, es susceptible a una rápida degradación por procesos de oxidación fotoinducida o por conjugación enzimática con azúcares y aminoácidos, lo que reduce su vida media incluso bajo condiciones controladas de cultivo; en consecuencia, la limitada estabilidad del AIA podría explicar su escasa eficacia en la inducción de desdiferenciación celular. La aparición esporádica de brotes adventicios en algunos explantes tratados con esta auxina sugiere, más bien, la activación de vías morfogenéticas preexistentes de tipo organogénico, en ausencia de una señal embriogénica específica (Jing y Strader, 2019; Węgrzynowicz-Lesiak *et al*., 2013).

Un elemento adicional para considerar es el papel del estrés oxidativo moderado como señal inductora de embriogénesis. Se ha propuesto que el 2,4-D genera niveles controlados de especies reactivas de oxígeno (ROS), los cuales pueden actuar como señales para activar vías de desarrollo alternativas (Fehér, 2015). En este contexto, se ha reportado que la incapacidad del ANA y el AIA para inducir una señal ROS adecuada o en el momento preciso podría explicar su limitada eficacia embriogénica y su tendencia a dirigir el desarrollo hacia rutas organogénicas (Desai *et al*., 2022; Schaller *et al*., 2015).

En conjunto, estos resultados subrayan la importancia del tipo y concentración de RCV, así como de sus propiedades fisicoquímicas, para la inducción exitosa de CPE. Además, refuerzan la necesidad de establecer condiciones hormonales óptimas que promuevan no solo la proliferación celular, sino también su organización funcional hacia una ruta embrionaria específica.

Histodiferenciación de ESS

La histodiferenciación de ESS en *A. angustifolia* demuestra una marcada especificidad hormonal que evidencia la selectividad funcional de los RCV en la inducción y desarrollo de estructuras embrionarias completas. La exclusividad de la combinación de 2,4-D y BA para promover la formación de ES destaca la importancia crítica de la interacción sinérgica entre auxinas sintéticas y citocininas en la modulación de rutas señalizadoras y epigenéticas que reprograman células somáticas hacia estados de totipotencia (Radoeva *et al*., 2019; Zeng *et al*., 2007).

El análisis diferencial de las respuestas embriogénicas a distintas concentraciones de 2,4-D refleja un patrón clásico de dosis-respuesta no lineal, donde un rango óptimo de concentración es determinante para el equilibrio entre proliferación celular desorganizada y la inducción de programas genéticos específicos para la embriogénesis (Su *et al*., 2011). Este equilibrio se ve comprometido cuando las concentraciones de auxinas o citocininas están fuera de este rango, lo que puede generar inhibición por supraestimulación o insuficiente activación de vías críticas (Schaller *et al*., 2015; Su *et al*., 2011).

El papel del 2,4-D como un regulador clave en la embriogénesis somática está respaldado por su capacidad para inducir modificaciones epigenéticas dinámicas, incluyendo la metilación del ADN y modificaciones de histonas que resultan en la activación de genes maestros de identidad embrionaria (Zhang *et al*., 2025), tales como LEC1 (*LEAFY COTYLEDON 1*), BBM (*BABY*

BOOM), WUS (*WUSCHEL*) y SERK (*SOMATIC EMBRYOGENESIS RECEPTORS LIKE KINASE*) (Gulzar *et al*., 2020; Wang *et al*., 2022; Zeng *et al*., 2007). Estos genes forman parte de redes transcripcionales que coordinan la desdiferenciación, proliferación y la posterior organización espacial y funcional de células meristemáticas (Gulzar *et al*., 2020; Tian *et al*., 2020). En este contexto, la BA potencia la señalización celular mediante la promoción de divisiones celulares ordenadas y la polarización tisular, fundamentales para la formación de estructuras bipolares características de embriones somáticos coleoptilares maduros (Cárdenas-Aquino *et al*., 2023; Domínguez-Rosales *et al*., 2008). Esta morfología coincide con modelos anatómicos y ultraestructurales reportados en otras monocotiledóneas donde la diferenciación embrionaria somática refleja la organización histológica de embriones cigótico (Bai *et al*., 2000). Por otro lado, la incapacidad de los tratamientos con ANA y AIA para inducir ESS, a pesar de su capacidad para estimular callogénesis, evidencia la complejidad del metabolismo hormonal y la señalización celular. El ANA, por su alta estabilidad y menor degradación oxidativa, tiende a mantener concentraciones supraóptimas que promueven rutas unipolares como la rizogénesis y la formación de brotes adventicios, probablemente por mantener gradientes hormonales poco dinámicos, esenciales para la embriogénesis (Abas *et al*., 2021; Teale y Palme, 2018). En cuanto al AIA, su rápida degradación vía AIA-oxidasa y conjugación limita la persistencia del estímulo auxínico necesario para la reprogramación celular, provocando en su lugar la activación de rutas vegetativas preformadas (Batista-Silva *et al*., 2024).

La dinámica de la señalización hormonal se ve complementada por la reducción progresiva de 2,4-D durante la fase de histodiferenciación (0.45 µM), que actúa como un desencadenante epigenético para la maduración de ESS. Este proceso de "reversión hormonal" facilita la transición de un estado proliferativo a uno de diferenciación morfogénica ordenada, promoviendo la polarización celular y la formación de tejidos organizados, un mecanismo fundamental para la obtención de ESS fisiológicamente competentes (Batista-Silva *et al*., 2024; Bouchez *et al*., 2024). En suma, la embriogénesis somática en *A. angustifolia* es un proceso multifactorial que requiere la coordinación precisa de señales hormonales, modificaciones epigenéticas y dinámicas celulares. La combinación de 2,4-D y BA no solo promueve la desdiferenciación, proliferación e histodiferenciación, sino que también induce la expresión de redes génicas embrionarias necesaria para la formación y maduración de embriones somáticos funcionales. Los resultados obtenidos aportan evidencia sobre los mecanismos fisiológicos y morfogenéticos asociados al proceso de embriogénesis somática en *Agave angustifolia.* En particular, destacan la respuesta diferencial de los explantes frente a distintas auxinas y citocininas, así como su influencia en la inducción de callo y la formación de estructuras embriogénicas. Estos hallazgos permiten comprender con mayor precisión las condiciones que favorecen la regeneración somática en esta especie, contribuyendo al establecimiento de un sistema eficiente de propagación in vitro dentro del contexto experimental del presente estudio.

Germinación de ESS, conversión a plántulas y adaptación de plántulas a condiciones *ex vitro*

La transferencia de ESS obtenidos a partir de CPE a un medio libre de RCV representa un paso crítico para la evaluación funcional y fisiológica de las estructuras embriogénicas generadas. La alta tasa de conversión observada (96 %) evidencia que las condiciones hormonales y nutricionales previas favorecieron la formación de ESS plenamente competentes, capaces de completar la diferenciación de ejes radiculares y meristemos caulinares, emulando con precisión el desarrollo morfológico de embriones cigóticos. Esta simetría bilateral, junto con la formación de hipocótilo y la apertura del coleóptilo, indica una correcta polarización y organización tisular, elementos fundamentales para la viabilidad y funcionalidad post-germinativa (Azizi *et al*., 2015). El éxito en la aclimatación *ex vitro*, con una tasa de supervivencia del 100 %, confirma la calidad morfofisiológica y la integridad estructural de las plántulas regeneradas. La formulación del sustrato, con proporciones balanceadas de perlita, composta y suelo agrícola, proporcionó las condiciones físicas óptimas para asegurar una transición gradual y eficaz desde el ambiente *in vitro*, altamente regulado y estéril, hacia un entorno *ex vitro* caracterizado por una mayor variabilidad ambiental. La aplicación de un protocolo progresivo de aclimatación, que inicia con

alta humedad relativa y sombra parcial, es congruente con estrategias recomendadas para minimizar el estrés hídrico y fotooxidativo durante la adaptación inicial (Li y Pritchard, 2009).
Estos resultados resaltan que la embriogénesis somática, cuando es inducida bajo un régimen hormonal adecuado, no solo asegura la formación de embriones viables, sino que también contribuye significativamente a la correcta diferenciación de sistemas vasculares funcionales y tejidos especializados, elementos clave para la resiliencia fisiológica en condiciones *ex vitro*. La conservación de órganos como raíces funcionales y meristemos apicales activos durante la fase de aclimatación indica que la calidad del desarrollo embriogénico impacta positivamente en la capacidad de establecimiento autónomo, eliminando la necesidad de tratamientos adicionales para la adaptación.
Asimismo, se puede inferir que la configuración hormonal empleada, particularmente la combinación de 2,4-D y BA durante las etapas iniciales, influye más allá de la inducción embrionaria, modulando la calidad estructural y fisiológica final de las plantas regeneradas. Este efecto refleja la importancia no solo de la presencia de RCV, sino también de su estabilidad metabólica, interacción sinérgica y efectos epigenéticos acumulativos, factores que deben ser considerados para el diseño y optimización de protocolos eficientes de propagación *in vitro* (Aronen *et al*., 2025).
En suma, el protocolo basado en 2,4-D y BA no solo constituye un método eficiente para la inducción de estructuras embriogénicas, sino que establece un modelo hormonal integralmente competente que guía con éxito el proceso regenerativo completo, desde la inducción, maduración y germinación, hasta la aclimatación *ex vitro* de plántulas viables y fisiológicamente funcionales.

CONCLUSIONES

La embriogénesis somática en *A. angustifolia* fue inducida exitosamente a partir de ejes embrionarios cigóticos, utilizando medios enriquecidos con RCV específicos. De los tratamientos evaluados, la combinación más eficiente consistió en el medio suplementado con 22.62 µM de 2,4-D y 13.32 µM de BA, la cual promovió la formación de callo embriogénico y la posterior diferenciación de embriones somáticos bien estructurados (17.6 ± 7.1).
Los resultados evidencian una fuerte especificidad hormonal en el proceso embriogénico, con el 2,4-D como el inductor más efectivo de totipotencia celular y la BA como modulador esencial en la organización meristemática. A diferencia del 2,4-D, las auxinas AIA y ANA no promovieron embriogénesis, confirmando su baja eficacia en este sistema. La eficiencia embriogénica mostró una clara dependencia de la concentración y combinación hormonal, con una correlación positiva entre las dosis de 2,4-D/BA y el número de embriones por explante.
Tras la germinación *in vitro* de los embriones somáticos en medio libre de RCV, las plántulas desarrolladas presentaron morfología y funcionalidad completas. Su transferencia a condiciones *ex vitro*, empleando un sustrato equilibrado, resultó en una tasa de supervivencia del 100 %, lo que valida la robustez del protocolo y el alto potencial regenerativo de los embriones inducidos.
En conjunto, estos hallazgos posicionan al sistema 2,4-D/BA como una herramienta biotecnológica eficiente para la propagación masiva, conservación y mejoramiento genético de *A. angustifolia*, con aplicaciones concretas en agricultura sustentable y restauración ecológica.

LITERATURA CITADA

Abas, L., Kolb, M., Stadlmann, J., Janacek, D. P., Lukic, K., Schwechheimer, C., Sazanov, L. A., Mach, L., Friml, J., & Hammes, U. Z. (2021). Naphthylphthalamic acid associates with and inhibits PIN auxin transporters. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *118*(1), e2020857118. https://doi.org/10.1073/pnas.2020857118

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

Alvarez-Aragón, C., Arzate-Fernandez, A.-M., Martínez-Martínez, S.-Y., & Martínez-Velasco, I. (2020). Regeneración de plantas de *Agave marmorata* Roezl, vía embriogénesis somática. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *23*(2). https://doi.org/10.56369/tsaes.3117

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), 3. https://doi.org/10.1186/s13002-020-0353-9

Aronen, T., Varis, S., & Tikkinen, M. (2025). Somatic embryogenesis: concept, principles, and applications. En *Forest Microbiology* (pp. 373–388). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-21903-0.00022-9

Ascough, G. D., & Fennell, C. W. (2004). The regulation of plant growth and development in liquid culture. *South African Journal of Botany*, *70*(2), 181–190. https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30234-9

Azizi, P., Rafii, M. Y., Maziah, M., Abdullah, S. N. A., Hanafi, M. M., Latif, M. A., Rashid, A. A., & Sahebi, M. (2015). Understanding the shoot apical meristem regulation: A study of the phytohormones, auxin and cytokinin, in rice. *Mechanisms of Development*, *135*, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.mod.2014.11.001

Bai, S., Chen, L., Yund, M. A., & Sung, Z. R. (2000). Mechanisms of plant embryo development. *Current Topics in Developmental Biology*, *50*, 61–88. https://doi.org/10.1016/S0070-2153(00)50004-0

Batista-Silva, W., de Paiva Gonçalves, J., Siqueira, J. A., Martins, A. O., Ribeiro, D. M., Nunes-Nesi, A., Zsögön, A., & Araújo, W. L. (2024). Auxin metabolism and the modulation of plant growth. *Environmental and Experimental Botany*, *226*, 105917. https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2024.105917

Bouchez, D., Uyttewaal, M., & Pastuglia, M. (2024). Spatiotemporal regulation of plant cell division. *Current Opinion in Plant Biology*, *79*, 102530. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2024.102530

Cárdenas-Aquino, M. D. R., Camas-Reyes, A., Valencia-Lozano, E., López-Sánchez, L., Martínez-Antonio, A., & Cabrera-Ponce, J. L. (2023). The Cytokinins BAP and 2-iP Modulate Different Molecular Mechanisms on Shoot Proliferation and Root Development in Lemongrass (*Cymbopogon citratus*). *Plants*, *12*(20), 3637. https://doi.org/10.3390/plants12203637

Dávila, P., Arizmendi, M. D. C., Valiente-Banuet, A., Villaseñor, J. L., Casas, A., & Lira, R. (2002). Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, *11*(3), 421–442. https://doi.org/10.1023/A:1014888822920

Desai, P., Desai, S., Rafaliya, R., & Patil, G. (2022). Plant tissue culture: Somatic embryogenesis and organogenesis. En *Advances in Plant Tissue Culture* (pp. 109–130). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90795-8.00006-0

Domínguez-Rosales, M. S., Alpuche-Solís, Á. G., Vasco-Méndez, N. L., & Pérez-Molphe-Balch, E. (2008). Efecto de citocininas en la propagación *in vitro* de agaves mexicanos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *31*(4), 317. https://doi.org/10.35196/rfm.2008.4.317

Fehér, A. (2015). Somatic embryogenesis — Stress-induced remodeling of plant cell fate. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Gene Regulatory Mechanisms*, *1849*(4), 385–402. https://doi.org/10.1016/j.bbagrm.2014.07.005

Flores-Maya, S., Vargas-Jurado, M. Á., Suárez-Mota, M. E., & Barrera-Escorcia, H. (2015). Análisis cariotípico de *Agave marmorata* y *A. peacockii* (Agavaceae) ubicados en las terrazas aluviales del río Zapotitlán, Puebla, México. *Polibotánica*, *0*(40). https://doi.org/10.18387/polibotanica.40.7

García-Mendoza, A. (2002). *Distribution of agave (Agavaceae) in México.* Cactus and Succulent Journal, 74(4), pp. 177-188.

Gulzar, B., Mujib, A., Malik, M. Q., Sayeed, R., Mamgain, J., & Ejaz, B. (2020). Genes, proteins and other networks regulating somatic embryogenesis in plants. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, *18*(1), 31. https://doi.org/10.1186/s43141-020-00047-5

Gutiérrez-Mora, A., Rodríguez-Garay, B., Contreras-Ramos, S. M., Kirchmayr, M. R., & González-Ávila, M. (2014). *Sustainable and integral exploitation of agave*. CIATEJ-CONACYT, México

Jing, H., & Strader, L. C. (2019). Interplay of auxin and cytokinin in lateral root development. *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(3), 486. https://doi.org/10.3390/ijms20030486

Li, D. Z., & Pritchard, H. W. (2009). The science and economics of *ex situ* plant conservation. *Trends in Plant Science*, *14*(11), 614–621. https://doi.org/10.1016/J.TPLANTS.2009.09.005

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/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

Pérez-Zavala, M. D. L., Hernández-Arzaba, J. C., Bideshi, D. K., & Barboza-Corona, J. E. (2020). Agave: a natural renewable resource with multiple applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *100*(15), 5324–5333. https://doi.org/10.1002/jsfa.10586

Radoeva, T., Vaddepalli, P., Zhang, Z., & Weijers, D. (2019). Evolution, initiation, and diversity in early plant embryogenesis. *Developmental Cell*, *50*(5), 533–543. https://doi.org/10.1016/j.devcel.2019.07.011

Reyes-Díaz, J. I., Arzate-Fernández, A. M., & Piña-Escutia, J. L. (2018). Fuentes de sacarosa y nitrógeno orgánico influyen en la embriogénesis somática de *Agave angustifolia*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *9*(7), 1508–1513. https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1676

Reyes-Díaz, J. I., Arzate-Fernández, A. M., Piña-Escutia, J. L., & Vázquez-García, L. M. (2017). Media culture factors affecting somatic embryogenesis in Agave angustifolia Haw. *Industrial Crops and Products*, *108*, 81–85. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.021

Schaller, G. E., Bishopp, A., & Kieber, J. J. (2015). The Yin-Yang of Hormones: Cytokinin and Auxin Interactions in Plant Development. *The Plant Cell*, *27*(1), 44–63. https://doi.org/10.1105/tpc.114.133595

Su, Y. H., Liu, Y. B., & Zhang, X. S. (2011). Auxin-cytokinin interaction regulates meristem development. En *Molecular Plant* (Vol. 4, Número 4, pp. 616–625). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/mp/ssr007

Teale, W., & Palme, K. (2018). Naphthylphthalamic acid and the mechanism of polar auxin transport. *Journal of Experimental Botany*, *69*(2), 303–312. https://doi.org/10.1093/jxb/erx323

Tian, R., Paul, P., Joshi, S., & Perry, S. E. (2020). Genetic activity during early plant embryogenesis. *Biochemical Journal*, *477*(19), 3743–3767. https://doi.org/10.1042/BCJ20190161

Trejo, L., Soriano, D., Romano-Grande, E., Sánchez-Carmona, B., & Dávila-Navarro, D. E. (2024). Diversity of reproductive characters, seed set, and viability of Agave seeds used for pulque production and their wild relatives in Tlaxcala, Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, *71*(6), 2877–2903. https://doi.org/10.1007/s10722-023-01803-5

Wang, F.-X., Shang, G.-D., & Wang, J.-W. (2022). Towards a hierarchical gene regulatory network underlying somatic embryogenesis. *Trends in Plant Science*, *27*(12), 1209–1217. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.06.002

Węgrzynowicz-Lesiak, E., Góraj, J., Miyamoto, K., Ueda, J., & Saniewski, M. (2013). Effects of auxin polar transport inhibitors on the growth of the excised fourth internode in tulips. *Journal of Horticultural Research*, *21*(2), 31–39. https://doi.org/10.2478/johr-2013-0019

Zeng, F., Zhang, X., Cheng, L., Hu, L., Zhu, L., Cao, J., & Guo, X. (2007). A draft gene regulatory network for cellular totipotency reprogramming during plant somatic

Recibido:
11/julio/2025

Aceptado:
5/diciembre/2025

embryogenesis. *Genomics*, *90*(5), 620–628. https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2007.07.007

Zhang, W., Zhang, L., Jiang, W., Yang, H., Yang, T., Zhao, Y., Zhang, Z., & Ma, Y. (2025). DNA methylation regulates somatic stress memory and mediates plasticity during acclimation to repeated sulfide stress in Urechis unicinctus. *Journal of Hazardous Materials*, *487*, 137264. https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2025.137264

Zizumbo-Villarreal, D., González-Zozaya, F., Olay-Barrientos, A., Platas-Ruíz, R., Cuevas-Sagardí, M., Almendros-López, L., & Colunga-GarcíaMarín, P. (2009). Archaeological Evidence of the Cultural Importance of *Agave* spp. in Pre-Hispanic Colima, Mexico. *Economic Botany*, *63*(3), 288–302. https://doi.org/10.1007/s12231-009-9092-5

POLIBOTÁNICA

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

EFECTO DEL ÁCIDO SALICÍLICO EN EL INCREMENTO DE BIOMASA Y AZÚCARES REDUCTORES EN *Agave cupreata* Y *Agave salmiana*

EFFECT OF SALICYLIC ACID ON INCREASE OF BIOMASS AND REDUCING SUGARS IN *Agave cupreata* AND *Agave salmiana*

García-Núñez, H.G., A.M. Arzate-Fernández, A.M. Roque-Otero, M. Rubí-Arriaga, A. Domínguez-López
EFECTO DEL ÁCIDO SALICÍLICO EN EL INCREMENTO DE BIOMASA Y AZÚCARES REDUCTORES EN *Agave cupreata* Y *Agave salmiana*
EFFECT OF SALICYLIC ACID ON INCREASE OF BIOMASS AND REDUCING SUGARS IN *Agave cupreata* AND *Agave salmiana*

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 329-342 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.19

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

POLIBOTÁNICA

Núm. 61: 329-342 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Efecto del ácido salicílico en el incremento de biomasa y azúcares reductores en *Agave cupreata* y *Agave salmiana*

Effect of salicylic acid on increase of biomass and reducing sugars in *Agave cupreata* and *Agave salmiana*

Hilda Guadalupe García-Núñez https://orcid.org/0000-0002-3758-8114
Amaury Martín Arzate-Fernández / amaury1963@yahoo.com.mx
https://orcid.org/0000-0001-8603-0099
Ana María Roque-Otero
Martín Rubí-Arriaga
Aurelio Domínguez-López
Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Km 11.5 Carretera Toluca- Ixtlahuaca, 50200, Toluca, Estado de México C.P. 50200 Toluca, México

Hilda Guadalupe García Núñez, Amaury Martín Arzate-Fernández, Ana María Roque-Otero, Martín Rubí-Arriaga, Aurelio Domínguez-López

EFECTO DEL ÁCIDO SALICÍLICO EN EL INCREMENTO DE BIOMASA Y AZÚCARES REDUCTORES EN *Agave cupreata* Y *Agave salmiana*

EFFECT OF SALICYLIC ACID ON INCREASE OF BIOMASS AND REDUCING SUGARS IN *Agave cupreata* AND *Agave salmiana*

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 329-342. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.19

RESUMEN**:** El agave es una planta suculenta rica en azúcares naturales lo que la hace ideal para la producción de bebidas espirituosas, entre las que destaca el tequila, mezcal, bacanora y pulque. La principal materia prima para producir estas bebidas son las piñas o tallos que contienen azúcares fermentables. La cantidad y tipo de azúcares contenidos en el tallo determina la calidad del alcohol producido en estas plantas. La producción del agave es limitada debido a que, su ciclo reproductivo es muy largo (7-35 años) y dependiendo de la especie, dichas piñas se cosechan cuando alcanzan la madurez óptima. Ante esta problemática, es importante buscar estrategias eficientes y ecológicas para acelerar el crecimiento y biomasa de estas plantas, en este sentido se ha reportado que el ácido salicílico (AS) es una hormona vegetal que juega un papel muy importante en la regulación del crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, participa en algunos mecanismos que influyen en el incremento de la biomasa. Por lo que, su aplicación podría potenciar el metabolismo del agave. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de AS en el crecimiento, incremento de biomasa y azúcares reductores en plantas de *Agave cupreata* y *A. salmiana,* cultivadas en un sistema semi-hidropónico bajo condiciones de invernadero, donde todas las plantas se evaluaron plantas en igualdad de condiciones de nutrición. Después de 8 meses de cultivo, se colectaron tanto las hojas, tallos como la raíz de las plantas para evaluar el efecto del AS en las características morfológicas, así como la cantidad de materia orgánica seca y cuantificación de azúcares reductores. El AS tuvo un efecto diferencial en las dos especies de agave evaluadas; en el tallo de *A. cupreata* se observó un incremento significativo en la materia orgánica seca cuando se aplicó 1 µM, mientras que en *A. salmiana* mostró una alta concentración de materia seca orgánica en la raíz cuando se aplicó 3.6 µM de AS. El incremento significativo de azucares reductores (72 g/100 g) se presentó en el tallo y hojas de *Agave salmiana* con 1 µM de AS, siendo la hoja la que mostró el mayor incremento de biomasa en ambas especies de agave. El crecimiento, la biomasa y la concentración de azúcares reductores disminuyeron como un efecto negativo con la concentración más alta de AS (7.2 µM). En este estudio, la aplicación de bajas concentraciones de ácido salicílico demostró influir positivamente en el incremento de la biomasa y en la cantidad de azúcares reductores de las plantas de agave, mientras que en concentraciones altas el AS produce un efecto inhibidor de estas variables. Por otra parte, la producción de plantas de agave bajo condiciones de invernadero en sistemas semi-hidropónicos, es una estrategia que puede ayudar a las plantas a potenciar su velocidad de crecimiento e incrementar su biomasa lo cual implica, la obtención de azucares reductores en menos tiempo, al hacer más eficiente la

fotosíntesis, además, optimiza el ahorro del agua en el riego, como una estrategia ecológica que ayuda a cuidar este recurso natural. Este estudio constituye el primer reporte de la aplicación de AS en plantas con metabolismo CAM.
Palabras clave: Agave, Biomasa, Ácido salicílico, Azúcares.
ABSTRACT: Agave is a succulent plant rich in natural sugars, making it ideal for the production of spirits, most notably tequila, mezcal, bacanora, and pulque. The main raw material for producing these beverages is the stem, or heart of the agave, which contain fermentable sugars. The quantity and type of sugars in thestem determine the quality of the alcohol produced. Agave production is limited because its reproductive cycle is very long (7-35 years), and depending on the species, the stems are harvested when they reach optimal maturity. Given this limitation, it is important to seek efficient and ecological strategies to accelerate the growth and biomass of these plants. In this regard, salicylic acid (SA) has been reported as a plant hormone that plays a crucial role in regulating plant growth and development. Furthermore, it participates in some mechanisms that influence biomass increase. Therefore, its application could enhance agave metabolism. The objective of this study was to evaluate the effect of different concentrations of salicylic acid (AS) on the growth, biomass increase, and reducing sugars in *Agave cupreata* and *A. salmiana* plants cultivated in a semi-hydroponic system under greenhouse conditions, where all plants were evaluated under identical nutritional conditions. After 8 months of cultivation, leaves, stems, and roots were collected to assess the effect of AS on morphological characteristics, as well as the amount of dry organic matter and reducing sugars. AS had a differential effect on the two agave species evaluated; in the stem of *A. cupreata*, a significant increase in dry organic matter was observed when 1 µM was applied, while in *A. salmiana*, a high concentration of dry organic matter was observed in the root when 3.6 µM of AS was applied. A significant increase in reducing sugars (72 g/100 g) was observed in the stem and leaves of *Agave salmiana* with 1 µM of salicylic acid (SA), with the leaves showing the greatest increase in biomass in both agave species. Growth, biomass, and reducing sugar concentration decreased negatively with the highest SA concentration (7.2 µM). In this study, the application of low concentrations of salicylic acid positively influenced the increase in biomass and reducing sugar content of agave plants, while at high concentrations, SA had an inhibitory effect on these variables. Furthermore, the production of agave plants under greenhouse conditions in semi-hydroponic systems is a strategy that can help plants accelerate their growth rate and increase their biomass. This translates to faster production of reducing sugars by making photosynthesis more efficient. Additionally, it optimizes water conservation during irrigation, serving as an environmentally friendly strategy to help protect this natural resource. This study constitutes the first report of the application of SA and semi-hydroponic systems in plants with CAM metabolism.
Key words: Agave, Biomass, Salicylic Acid, Sugars.

INTRODUCCIÓN

En México, los agaves tienen una amplia importancia económica, agroecológica y cultural debido a sus múltiples usos (Mendoza-García, 2007), dentro de los cuales destaca la variedad de bebidas alcohólicas hechas a partir de la fermentación del azúcar en el agave y su destilación. La demanda de la producción del agave se ha centrado en la fabricación y preparación de bebidas como el tequila, mezcal, bacanora y el pulque. La principal materia prima para producir estas bebidas es la piña o tallo que contiene azúcares fermentables. El tipo y la cantidad de azúcares contenidos en el tallo determinan el volumen y calidad del alcohol, así como los compuestos que confieren las características sensoriales del producto, lo cual puede medirse en °Brix. Los grados Brix son una unidad indicadora del grado de concentración de azúcar y se expresa como: gramos de azúcar en 100 gramos de solución. En la madurez óptima un agave alcanza de 24 a 28 °Brix aproximadamente, este parámetro varía dependiendo de la etapa de crecimiento y especie de agave. La producción de esta especie se limita a su ciclo productivo que es muy largo, algunas especies alcanzan su madurez hasta los 7 ó 35 años. Debido a esta situación, los productores

Núm. 61: 329-342 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

utilizan agaves de diferentes edades para complementar la demanda de mezcal y pulque. Esta práctica deriva en una diferencia de contenido de azúcares acumulados en el tallo acaule de las plantas, aunado al incremento de los costos de producción. Ante esta problemática es importante generar estrategias que permitan potenciar el crecimiento, desarrollo y biomasa del agave para incrementar el contenido de azúcares reductores en un ciclo productivo más corto. En este sentido, se ha reportado que el ácido salicílico (AS) es un regulador del crecimiento y su aplicación puede potenciar el incremento de la biomasa y azúcares reductores (Larqué-Saavedra & Martín-Mex, 2007). Así mismo, se ha reportado que, al aplicar AS, se observó un incremento radical en el tamaño de las plantas y en consecuencia un aumento en la productividad del cultivo (Martín-Mex *et al.*, 2013). En un estudio, Arrazola-Cárdenas *et al.* (2020), utilizaron diferentes frecuencias entre los riegos y varias concentraciones de solución nutritiva para mejorar la calidad del cultivo de trigo y obtuvieron resultados exitosos. En otro estudio reportado por Sánchez-Mendoza y Bautista-Cruz (2022) en donde aplicaron fertilizantes de liberación lenta y fitohormonas en el crecimiento de *Agave angustifolia* Haw, obtuvieron un incremento de la biomasa. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de AS en el crecimiento, en el incremento de biomasa y azúcares reductores en plantas de *Agave cupreata* y *A. salmiana,* cultivadas en un sistema semi-hidropónico bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento de los sistemas semi-hidropónicos

Se construyeron cuatro sistemas semi-hidropónicos, para cada uno se utilizaron tubos de PVC hidráulico (19 mm de diámetro) los cuales fueron cortados y unidos en forma de un cubo para sostener en la parte superior a seis tubos (75 mm), con un espacio de 8 cm entre cada uno de los tubos, cada tubo en la parte superior con cuatro perforaciones de un diámetro de 10 cm en los cuales se colocaron las plántulas de *Agave cupreata* y *A. salmiana*, cada sistema con capacidad para 40 plantas (Figura 1). En la parte superior se colocó un despachador con seis mangueras, por las cuales circuló la solución nutritiva (en ppm, mg/L: N=166.01, P=31.35, K=277.38, Ca=182.06, Mg=49.08, S=110.89, Fe=1.33, Cu=0.00065, Mn=0.201 y Zn= 0.03), pH 5.8-6.0, C.E. 1.5-2.5 dS/m según lo reportado por (Castañeda-Cervantes & Arzate-Fernández, 2025) en un contenedor de 40 L y dentro de éste una bomba sumergible de agua con una capacidad de 300 L/h y 65 w, para recircular el agua al sistema y una bomba de aire con una capacidad de 60 L. Se utilizó un DATA LOG GSP-8 para el monitoreo de temperatura y humedad en el invernadero, el cual registró una temperatura promedio de 15.3° C, una máxima de 43.8° C, y una mínima de -2.9° C, y una humedad promedio de 75.2%, en un período de 12 meses.



Figura 1. Sistema semi-hidropónico de PVC con capacidad para 40 plantas.
Figure 1. Semi-hydroponic PVC system with capacity for 40 plants.

Origen y germinación de la semilla

En el presente estudio se utilizaron semillas de *Agave cupreata* y *A. salmiana*, colectadas en el Estado de Guerrero en 2021 y almacenadas en el banco de semillas del Laboratorio de Biología Molecular Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Para la germinación de las semillas se preparó un sustrato a base de turba, agrolita y fibra de coco en una proporción 1:1:1, se homogenizó y esterilizó en una autoclave a 120 °C durante 20 min a una presión de 1.1 kg/cm^2. Posteriormente, se colocó una capa de 5 cm de altura del sustrato en una charola germinadora de 25x40 cm., y se colocaron las semillas previamente desinfectadas en hipoclorito de sodio al 5% v/v durante 3 min (Rodríguez-García *et al.* 2020), y encima del sustrato, sobre las semillas, se colocó una capa delgada de ocoxal de pino, y finalmente se regó con suficiente agua para que el sustrato estuviera húmedo.

Trasplante de las plántulas a los sistemas semi-hidropónicos

A partir de la cuarta semana de germinación, apareció la primera hoja o penca en las plántulas de agave, estas fueron desinfectadas durante 10 min en agua con ozono, posteriormente fueron transferidas a vasos de plástico biodegradable con una capacidad de 200 mL, los cuales fueron perforados 5 mm de diámetro en la base y se introdujo un hilo-estambre de 15 cm que ayudó a absorber el agua por capilaridad, cada vaso se llenó con sustrato a base de 100% tepojal con un

diámetro de partícula de 2 mm, enseguida fueron establecidos en un sistema semi-hidropónico para el crecimiento y endurecimiento de las plantas.

Riego de las plantas y tratamientos

En cada sistema semi-hidropónico se colocaron 24 plantas creciendo con las mismas características físicas (edad, vigor), además todas con el mismo sustrato, solución nutritiva y la misma frecuencia de riegos tres veces al día (por la mañana, en la tarde y por la noche, cada riego durante 15 min de lunes a sábado) durante 2 meses. Después de este período se establecieron los tratamientos con tres concentraciones de Ácido salicílico (1.0, 3.6 y 7.2 µM) y el testigo (0.0 µM), empleando sólo agua para el tratamiento control, según la técnica descrita por (Gutiérrez-Coronado *et al.*, 1998). Los tratamientos se aplicaron durante 6 meses consecutivos directamente en el contenedor del sistema semi-hidropónico.

Análisis de las variables físicas

Después de completarse un período de 15 meses las plantas fueron extraídas de los sistemas semi-hidropónicos y se registraron los siguientes datos: número hojas, longitud y ancho de la hoja. Se midió el diámetro del tallo con un Vernier digital (Truper, CALDI- 6MP). Posteriormente, las plantas fueron seccionadas en tres partes: hoja, tallo y raíz para los análisis de biomasa y determinación de azúcares reductores en laboratorio.

Análisis de biomasa

Se obtuvieron los pesos frescos de hoja, tallo y raíz de cada planta, con una balanza analítica (Sartorius, BP221S), después, cada una de estas muestras se colocaron en una incubadora (Felisa, Modelo FE133A) a una temperatura de 65 °C durante 72 h para eliminar la humedad. Posteriormente, las muestras se pesaron para determinar la cantidad de biomasa seca y finalmente fueron molidas hasta su pulverización con un molino eléctrico (General Electric, modelo 5XBG00G), con una criba de 20 micras. La materia orgánica seca de las hojas y tallo se depositó en un crisol de porcelana a peso constante, el cual previamente se colocó en una mufla a 550 °C durante una hora, posteriormente el crisol se puso en un desecador y se dejó enfriar a temperatura ambiente, se determinó el peso del crisol en balanza analítica y se registraron los datos como la variable A. Después se tomó una muestra representativa de 5 g previamente seca, se colocó en el crisol y se determinó el peso en la balanza analítica y se registró el dato, como la variable B. Enseguida se incineraron las muestras utilizando un mechero hasta que no emitiera humo y las paredes del crisol estuvieron blancas, entonces se introdujo el crisol, con la muestra calcinada, a la mufla a 550 °C durante 24 h; pasado el tiempo, se pasó el crisol al desecador y se dejó enfriar hasta temperatura ambiente, por último se determinó el peso del crisol con la muestra calcinada y se registró el valor como la variable C.

Ecuación:

$$\text{Cenizas } \% = \frac{C - A}{B - A} \text{X100}$$

Donde:
A= Peso del crisol vació en gramos
B= Peso del crisol y la muestra seca en gramos
C= Peso del crisol y la muestra calcinada en gramos

Cuantificación de azúcares reductores

Se cuantificó la concentración de azúcares reductores por el Método DNS de Miller con algunas modificaciones. Se seleccionaron al azar muestras de hoja y de tallo de las plantas de 15 meses de edad, establecidas en los sistemas semi-hidropónicos. Las muestras se lavaron con agua corriente. En un matraz de 500 mL se disolvieron 4.8 g de NaOH (hidróxido de sodio) y se agregaron 120 mL de agua destilada, posteriormente se colocó sobre un agitador orbital, y se adicionaron 90 g de Na-K.4H_2O (tartrato de sodio y potasio), finalmente se aforó hasta 240 mL con agua destilada y se homogenizó la solución. Enseguida se añadieron 3 g de DNS (ácido 3,5-

dinitrosalisílico), se agregaron 140 mL de agua destilada, se dejó en agitación 12 h, por último, se filtró la solución y se almacenó en un frasco ámbar a 4 °C. Para evaluar la concentración de azúcares reductores, se determinó una curva patrón de calibración de absorbancia en función de la concentración. Para esto, se prepararon soluciones de 0-5 mg/L, utilizando glucosa como estándar, se agregó 0.5 g de muestra y se aforó a 10 mL y se centrifugó a 10,000 rpm durante 10 minutos para obtener la muestra deseada. A cada una de las muestras se aplicó el método DNS, cuya reacción se llevó a cabo en tubos de cristal de 10 mL, a los cuales se adicionaron 0.5 mL de muestra y 0.5 mL del reactivo DNS, se colocaron a ebullición durante 5 min, se enfriaron con hielo y se les añadió 5 mL de agua destilada, se homogenizó la muestra. A cada una de las muestras se les tomó una lectura de las absorbancias a una longitud de onda 540 nm en el espectrofotómetro (Genesys 10 vis) y el mismo procedimiento se realizó para el blanco para lo cual se utilizó agua destilada.

Diseño experimental

El manejo estadístico de la información consistió en un análisis de regresión completamente al azar, para el cual se tomaron siete plantas por tratamiento incluyendo al control, de la cuales se realizaron tres repeticiones para ambas especies, la variable independiente fue la concentración del ácido salicílico (AS) y las variables dependientes fueron aquellas respuestas relacionadas con las características fenológicas (número de hojas, longitud, ancho de la hoja, diámetro del tallo y materia seca) y una variable química (azúcares reductores). Los datos obtenidos se analizaron por medio del programa estadístico Stathgraphics Plus Versión 5.0. En aquellas variables donde se presentó diferencia significativa, se realizó una prueba de comparación de medias (método DMS) con un nivel de significancia del 95%. No se realizaron pruebas adicionales con los datos que no presentaron diferencias significativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de las variables físicas

Número de hojas

Los resultados de la evaluación del efecto del Ácido salicílico, en el número, la longitud y ancho de hoja así como en el diámetro del tallo de las plantas de *A. cupreata* y *A. salmiana,* mostraron lo siguiente: en ambas especies de agave, se observó la formación completa de la primera hoja a partir de la cuarta semana, después de la germinación. En la figura 2A, se puede observar la gráfica de las medias respecto al número de hojas en *A. cupreata* donde, la primera barra corresponde al tratamiento control en el cual se registraron 10 hojas por planta, mientras que, en los tres tratamientos con 1.0, 3.6 y 7.2 µM de AS se registraron 11 hojas por planta, lo que indica que no hubo diferencias significativas entre las concentraciones aplicadas para promover la diferenciación celular en las hojas de esta especie. Sin embargo, en *A. salmiana* (Figura 2B), si hubo diferencias significativas, ya que el control mostró una media de 8.0 hojas por planta y para los tratamientos con 1.0, 3.6 y 7.2 µM de AS, registraron una media de 9.3, 9.5 y 7.8 hojas, respectivamente, donde con la concentración de 3.6 µM se observó el mayor número de hojas en comparación con el testigo, por lo que el AS mostró tener un efecto favorable para diferenciación celular en nuevas hojas en la planta que cuando se aplicó 1.0 y 3.6 µM, pero la concentración de 7.2 µM no favoreció el número de hojas en esta especie, incluso fue ligeramente menor al control el cual registró 8.2 hojas. Sin embargo, al comparar el efecto del AS en el número de hojas en ambas especies, *A. cupreata* registró una media de 11 hojas por planta y el testigo 10.2, mientras que *A. salmiana* registró 8.9 hojas por planta en promedio y su testigo 8.2, esto indica que el AS estimula de manera positiva en el desarrollo de hojas en la planta según la especie, teniendo una mejor respuesta en *A. salmiana*. Esto se debe a que el ácido salicílico es una hormona vegetal que regula el crecimiento, desarrollo, así como la respuesta al estrés oxidativo en las plantas, incluyendo el agave. Cuando el AS se encuentra dentro de la planta se encarga de bajar los niveles

de estrés, se activan los mecanismos fisiológicos y las rutas metabólicas relacionadas con la fotosíntesis (Ogunsiji *et al.*, 2023; Abdi *et al.*, 2023). Los azúcares son los productos más importantes de la fotosíntesis y la planta los distribuye de manera eficiente en toda su estructura para la formación de órganos, tales como la hoja. Es importante destacar que, si los azúcares se dirigen a las hojas jóvenes, estas crecen más rápido, es decir, entre mayor cantidad de azúcares mayor es el crecimiento de las hojas. De aquí la importancia de que el AS esté presente, pero en concentraciones adecuadas, para no inhibir su actividad. Por otra parte, a la planta le favorece tener hojas sanas y grandes, ya que de esta manera se mantiene activa la fotosíntesis y se reduce el estrés oxidativo en plantas como el agave.

Longitud y ancho de hoja

Por otra parte, en la figura 2C se puede observar el efecto del AS en la longitud (barras de color naranja) y el ancho de hoja (barras de color amarillo). En *A. cupreata* se encontró que la longitud de hoja fue mayor (11 cm) cuando se aplica una concentración de 1.0 µM de AS, comparada con el tratamiento control (8.69 cm), esto sugiere que el AS tiene un efecto positivo en la elongación de hojas. En esta especie, también se observó que el ancho de la hoja fue ligeramente mayor cuando se aplicó 1.0 µM y 3.6 µM (11.7 cm y 10.2 cm, respectivamente) con respecto al control (4.86 cm), por lo tanto, no hubo diferencias significativas para esta variable entre los tratamientos, pero si con respecto al control. Para el caso de *A. salmiana* (Figura 2D), al aplicar 1.0 y 3.6 µM de AS la longitud de las hojas fue ligeramente mayor con 7.77 cm y 7.78 cm, respectivamente, comparado con el control (3.80 cm), sin embargo, para el ancho de hoja tampoco hubo diferencias significativas en esta especie. Así mismo se observó que, cuando se aplica una concentración de 7.2 µM de AS hay un menor ancho de hoja, lo cual indica que, esta concentración no favorece la elongación celular en la especie, sin embargo, no existen reportes en la literatura que muestren el efecto reportado en el presente trabajo. Aunque, Anchondo-Aguilar *et al.*, (2011) demostraron que bajas concentraciones de AS favorecen la altura y el número de hojas en *Fragaria annassa*. Por otra parte, Martin-Mex *et al.* (2012) han señalado que el AS también influye positivamente en la producción de frutos en *Carica papaya* ya que, al aplicar concentraciones de 0.01 µM incrementaron significativamente la altura y el grosor de la planta, así como el número y peso de los frutos. Estos resultados coinciden con los estudios reportados por Khoshbakht & Asgharei (2015) donde bajas concentraciones de AS influyeron en el incremento de la tasa fotosintética y en el crecimiento foliar en cítricos.

Diámetro de tallo

El efecto del AS sobre el diámetro del tallo se puede observar en la figura 1E, en donde para *A. cupreata* se observó que al aplicar una concentración de 1.0 µM de AS el tallo fue mayor (43.2 mm) comparando con el tallo del testigo (40.9 mm), mientras que cuando se aplicó 7.2 µM de AS el diámetro fue menor (38.8 mm) comparando con el tallo del tratamiento testigo (40.9 mm). Por otra parte, en *A. salmiana*, cuando se aplicó 3.6 µM de AS el diámetro del tallo fue mayor (39 cm) comparado con el control, pero cuando se aplicó 7.2 µM el diámetro del tallo registró un valor menor comparado, sin embargo, no hubo una diferencia significativa entre estos tratamientos. Estos resultados son importantes, ya que se observó un incremento del tallo en poco tiempo, esto quiere decir que, el AS pudo promover la elongación del tallo. Esto se debe a que el AS induce la expresión de genes relacionados con la síntesis de celulosa y hemicelulosa, componentes clave de la pared celular, además, el AS aumenta la actividad enzimática de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL), lo que conduce a un aumento en la síntesis de lignina, un componente importante de la pared celular. Debido a esto, el AS puede promover o inhibir el crecimiento celular, dependiendo de la concentración. En concentraciones bajas el AS puede estimular el crecimiento celular y aumentar la biomasa. Tal como sucedió en este estudio con la aplicación de concentraciones bajas en las plantas de agave. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, el efecto del AS en el incremento de la biomasa puede variar dependiendo de la especie de la planta así como de las condiciones ambientales. En cambio, altas concentraciones pueden inhibir el crecimiento actuando como regulador negativo. Tal como se observó en los resultados del presente estudio. Esto tiene una gran influencia positiva, ya que se ha reportado

que el AS activa genes relacionados con la síntesis de la RuBisCO (Ribulosa 15, Bifosfato, Carboxilasa, Oxigenasa) y sus subunidades LSU y SSU. Esto significa que las plantas tratadas con AS pueden producir mayor cantidad de la enzima en los cloroplastos lo que favorece la apertura estomática y optimiza el intercambio gaseoso en el mesófilo de la hoja. Al aumentar la concentración interna de CO_2, la RuBisCO tiene mayor sustrato disponible para catalizar la carboxilasa, aumentando su eficiencia. Finalmente, como la RuBisCO es muy sensible al estrés oxidativo por calor, sequía o salinidad, el ácido salicílico activa enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), y peroxidasa (POD) que reducen especies reactivas de oxígeno (ROS). Esto protege la estructura y la función de la RuBisCO, evitando su degradación o su desactivación, esto implica que la producción de azúcares está segura para el tallo del agave, donde se acumulan los azúcares en forma de jugos, que servirán para la elaboración de bebidas como el mezcal y el pulque, favoreciendo la calidad y la cantidad de alcohol. Resultados similares han sido reportados por Tucuch *et al*. (2017) donde en plántulas de trigo los valores del diámetro del tallo estuvieron por encima del control al aplicar 1.0 µM de AS. Estos resultados también coinciden con los reportes de Hayat y Ahmad (2007) donde demostraron que la aplicación de AS en bajas concentraciones favorecieron el incremento de la bioproductividad, sobre todo en el tamaño del área foliar, así como la longitud y densidad de las raíces, bajo condiciones de invernadero. Estos resultados coinciden con los estudios realizados por Khodary (2004) quien reportó que aplicaciones de 10 mM de AS en *Zea mays* aceleraron la actividad de la enzima RuBisCO, aumentando la actividad fotosintética; permitiendo un incremento en el contenido de clorofila a y b, de carotenoides y de carbohidratos; provocando un aumento también en la longitud, peso fresco y seco de la raíz; altura, biomasa seca y fresca de la parte aérea de la planta. En este estudio al analizar y comparar los resultados del efecto del AS sobre estas variables se puede decir que, la especie de *A. salmiana* respondió favorablemente en el crecimiento, número, longitud y ancho de las hojas, así como el incremento del diámetro de tallo, por lo tanto, la concentración de 3.6 µM influye positivamente en las tres variables evaluadas.

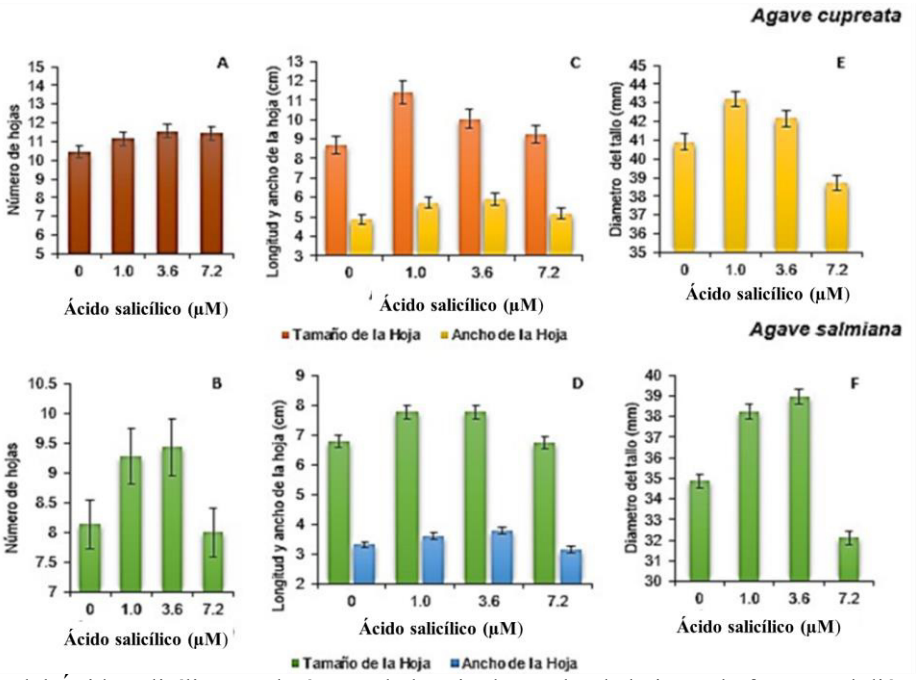


Figura 2. Efecto del Ácido salicílico en el número, la longitud y ancho de hoja, y el efecto en el diámetro del tallo de las plantas de *A. cupreata* y *A. salmiana*, de 15 meses de edad.
Figure 2. Effect of salicylic acid on the number, length and width of leave, and the effect on stem diameter of 15-month-old *A. cupreata* and *A. salmiana* plants.

Núm. 61: 329-342 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Efecto del ácido salicílico sobre el contenido de materia seca orgánica y azúcares reductores

Los resultados de la evaluación del efecto del AS sobre el contenido de materia seca orgánica y de azúcares reductores en *A. cupreata* mostraron diferencias significativas (Figura 3), indicando que con 1.0 µM de AS el contenido de materia orgánica se incrementó a (23 g/100 g) en el tallo, no así para la hoja y raíz, ya que se obtuvieron valores de 10 y 11 g/100 g, respectivamente, sin embargo, cuando se aplicó el AS a una concentración de 7.2 µM la materia orgánica seca disminuyó en el tallo y hoja, lo cual coincide con los resultados obtenidos de la formación de hojas y tamaño del tallo, donde el efecto fue negativo para la planta. Para el caso de la materia seca orgánica en *A. salmiana* (Figura 3B), en el tratamiento con 3.6 µM de AS, se obtuvo un valor de 23 g/100 g para la raíz, en cambio para el tallo y la hoja fue de 9 y 11 g/100 g, respectivamente, muy similar a los valores del tratamiento control de ambos órganos de la planta, sin embargo, se esperaba encontrar valores altos de materia seca orgánica cuando se aplicó 1.0 µM y coincidir con los valores registrados respecto al número de hoja y longitud de tallo. Esto se debe a que el AS favoreció la formación de las raíces laterales y el alargamiento de la raíz principal, lo que mejora la absorción del agua y nutrientes. Así como también, el AS promueve la traslocación de azúcares a las raíces aumentando el desarrollo celular. Esto también obedece a que el AS interactúa con otras fitohormonas como las auxinas y las citoquininas que coordinan la división celular, el crecimiento de raíces y brotes. Estos resultados coinciden con Gutiérrez-Coronado *et al.* (1998) quienes reportaron que, en soya la aplicación de bajas concentraciones de AS favoreció significativamente el crecimiento de la raíz.

También, se observó que los valores más bajos de materia seca para raíz, tallo y hoja se obtuvieron con 7.2 µM de AS, lo cual tiene una correspondencia a lo encontrado para el crecimiento de estos órganos en esta especie evaluada. En cuanto a los resultados de azúcares reductores en *A. cupreata* (Figura 3C), se pudo observar que la mayor concentración de azúcares fue superior en las hojas (56 g/100 g) que en el tallo y la raíz (8 y 2 g/100 g), respectivamente cuando se aplicó 1.0 µM de AS, y que estos disminuyeron con 7.2 µM de AS. En el caso de *A. salmiana* (Figura 3D), también la mayor concentración de azucares se obtuvo con 1.0 µM de AS, donde el tallo y la hoja registraron una concentración de 76 g/100 g, comparado con el tratamiento control el cual alcanzó 30 g/100 g. Mientras que, la raíz alcanzó una concentración de 18 g/100 g. Estos resultados coinciden con los estudios reportados por González-Díaz *et al.* (2020) quienes mencionan que los azúcares, tales como los fructanos representan más del 80% del peso seco de las plantas de agave, incluyendo inulinas, fructooligosacáridos y estos dependen de la especie del agave y la edad de la planta. Además, los fructanos pueden localizarse en órganos superficiales como las hojas. También en el presente estudio, se reveló claramente que la concentración de 7.2 µM de AS no tiene un efecto potencializador en el crecimiento de la planta, ni en el contenido de materia seca orgánica y tampoco en la concentración de los azúcares reductores.

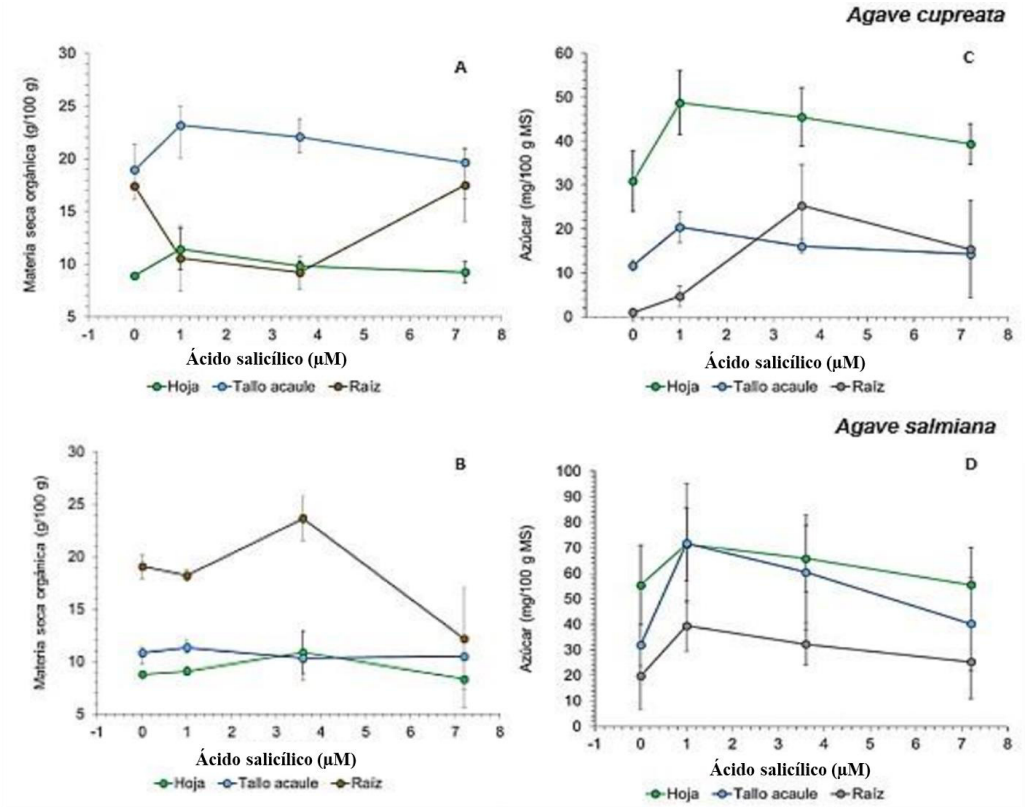


Figura 3. Efecto del ácido salicílico sobre el contenido de la materia seca orgánica y azúcar en plantas de *A. cupreata* (A y C) y *A. salmiana* (B y D) de 15 meses de edad. Las barras representan la DMS ($p \leq 0.05$).
Figure 3. Effect of salicylic acid on organic dry matter and sugar content in 15-month-old *A. cupreata* (A and C) and *A. salmiana* (B and D) plants. Bars represent DMD ($p \leq 0.05$).

Los resultados de la concentración de azucares en las plantas de *A. cupreata* y *A. salmiana,* con respecto a la edad de las plantas y la concentración de AS, se observan en la figura 4. Para el caso de *A. cupreata,* a los 145 días de edad de la planta, se observó el mayor porcentaje de azúcares reductores 85 mg/100 g a una concentración de 3.0 µM de AS. En *A. salmiana*, el máximo nivel de azúcar se observó a una edad de 135 días de las plantas y con 2 µM de AS, lo que refleja la capacidad de esta especie de almacenar carbohidratos a temprana edad, específicamente fructanos, ya que las plantas de *A. tequilana* almacenan frúctanos como principal carbohidrato de reserva según lo reportado por López *et al.* (2003); González-Díaz *et al.* (2020). Estos resultados coinciden con un estudio realizado por Medallo-Mojica y López-Pérez (2013) quienes reportaron que en plantas de *Agave tequilana* Weber var. azul extraídas a una edad de 2 a 7 años, las cuales mostraron que conforme aumenta la edad de la planta en campo, los fructanos almacenados se vuelven moléculas más complejas y muestran un incremento gradual. Esto sugiere que, en este estudio, si se hubiera continuado con las aplicaciones de AS podría haber aumentado el grado de polimerización de los fructanos. Por lo tanto, se podrán cosechar los tallos de agave en periodos relativamente más cortos. Además, el efecto del AS se comportó de forma diferenciada para cada uno de los tratamientos según la especie en estudio. Por otra parte, los resultados indican que este tipo de plantas con metabolismo CAM responden favorablemente a este regulador de crecimiento, incluso aplicado en bajas concentraciones, pero en niveles altos puede producir un efecto inhibitorio.

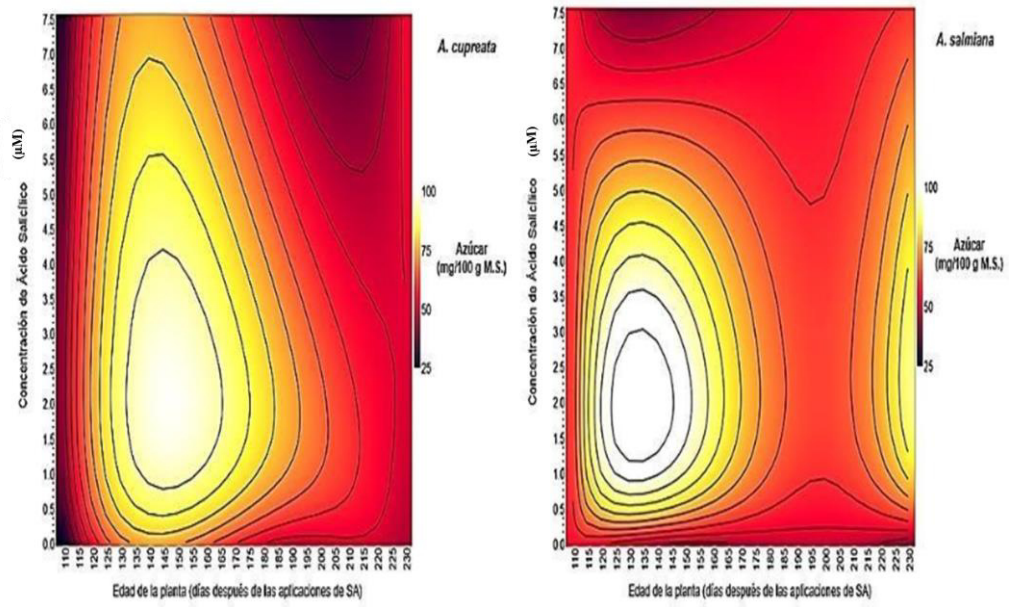


Figura 4. I*so*-concentración de azúcares según la dosis de ácido salicílico y la edad de las plantas de *A. cupreata* (imagen izquierda) y *A. salmiana* (imagen derecha) de 15 meses de edad.
Figure 4. Iso-concentration of sugars according to the dose of salicylic acid and the age of 15-month-old *A. cupreata* (left image) and *A. salmiana* (right image) plants.

La producción de plantas de agave en sistemas semi-hidropónicos bajo condiciones de invernadero con aplicación de AS, podría ser una estrategia eficiente para potenciar la velocidad de crecimiento en las plantas al incrementar su biomasa, lo que implica la obtención de azúcares reductores en menos tiempo y ahorro de agua en el riego, lo cual lo hace un sistema eficiente y ecológico que ayuda a capturar más luz solar y dióxido de carbono, y esto también podría contribuir a disminuir el impacto del calentamiento global.

CONCLUSIONES

El ácido salicílico (AS) aplicado en bajas concentraciones tiene un efecto favorable sobre la reducción del estrés oxidativo, lo que favorece el crecimiento de la hoja, tallo y raíz de las plantas de agave, según la especie en estudio.
Altas concentraciones de ácido salicílico tienen un efecto negativo y ralentizan el crecimiento de las plantas de *A. cupreata* y *A. salmiana.*
La aplicación de AS en una concentración moderada tiene una influencia positiva sobre la activación permanente de la RuBisCO, la cual favorece la acumulación de los azúcares reductores en *A. cupreata* y *A. salmiana*, mientras que la aplicación en altas concentraciones de AS impide la acumulación de azucares reductores en ambas especies estudiadas.
En este estudio, el AS favoreció la presencia de azúcares en el tallo del agave en un corto tiempo, lo cual indica que puede ser una opción para acelerar la obtención de alcoholes utilizados para la generación de bebidas fermentadas a partir de plantas de *A. salmiana* y *A. cupreata.*
Es posible el crecimiento de plantas de este género en sistemas semi-hidropónicos bajo condiciones de invernadero como una estrategia ecológica y sustentable de cultivo.
Este estudio puede aplicarse a otros casos de plantas de metabolismo CAM.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada con el número 781824

Financiamiento: Con recursos propios

Declaración de conflicto de intereses. Los autores declaran que no hay conflicto de intereses entre ellos

Cumplimiento de normas éticas. No aplica

Disponibilidad de los datos: Los datos están disponibles con el Dr. Amaury Martín Arzate Fernández (autor para correspondencia: amaury1963@yahoo.com.mx, con previa solicitud

Declaración de contribución del autor (CRediT). H.G. García-Núñez – Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Redacción, revisión y edición Investigación, A.M. Roque-Otero- Metodología, Validación, Redacción del borrador original, Análisis formal, Investigación, A.M. Arzate-Fernández- Conceptualización, Administración del proyecto, Redacción, revisión. A. Domínguez-López – Conceptualización, Investigación, Recursos, metodología, y revisión, Martín Rubí-Arriaga– Investigación y revisión.

LITERATURA CITADA

Abdi, N., Van Biljon, A., Steyn, C., & Labuschgne, M. T. (2022). Salicylic Acid Improves Growth and Physiological Attributes and Salt Tolerance Differentially in Two Bread Wheat Cultivars. Plants, 11(14). https://doi.org/10.3390/plants11141853

Anchondo-Aguilar, A., Núñez-Barrios, A., Ruiz Anchondo, T., Martíez-Tellez, J., Vergara Yoisura, S., & Larqué-Saavedra, A. (2011). Efect of salicylic acid in bioproductivity of strawberry (*Fragaria ananassa*) cv Aronosa. In Revista Mexicana de Ciencias Agricolas (2)2. 293-298. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263119711010

Castañeda Cervantes, C., & Arzate Fernández, A. M. (2025). Efecto de 6-bencilamino purina en dos especies de agave como estrategia de propagación en un sistema semi-hidropónico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *28*(2), 1–7. https://doi.org/10.56369/tsaes.5812

González-Díaz, R. L., Rodríguez-Gómez, F., & Cortés-Romero, C. (2020). Fructan exohydrolases y its importance in the metabolism of fructans in *Agave tequilana* Weber var. *azul*. *Revista Colombiana de Química*, *49*(3), 3–12. https://doi.org/10.15446/rcq.v49n3.84882

Gutiérrez-Coronado, M. A., Trejo-López, C., & Larqué-Saavedra, A. (1998). Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. *Plant Physiology and Biochemistry*, *36*(8), 563–565. https://doi.org/10.1016/S0981-9428(98)80003-X

Hayat, S., & Ahmad, A. (2007). *Salicylic acid a plant hormone*. Springer. India.www.springer.com. ISBN-13 978-1-4020-5184-0 (e-book)

Khodary, S. E. A. (2004). Effect of Salicylic Acid on the Growth, Photosynthesis and Carbohydrate Metabolism in Salt Stressed Maize Plants. *International Journal of & Biology*. http://www.ijab.org

Khoshbakht, D., & Asgharei, M. R. (2015). Influence of foliar-applied salicylic acid on growth, gas-exchange characteristics, and chlorophyll fluorescence in citrus under saline conditions. *Photosynthetica*, *53*(3), 410–418. https://doi.org/10.1007/s11099-015-0109-2

Larqué-Saavedra, A., & Martin-Mex, R. (2007). *Chapter 2 Effects of Salicytic Acid on the Bioproductivity of plants*.

Recibido:
18/julio/2025

Aceptado:
8/diciembre/2025

López, M. G., Mancilla-Margalli, N. A., & Mendoza-Diaz, G. (2003). Molecular Structures of Fructans from *Agave tequilana* Weber var. *azul*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(27), 7835–7840. https://doi.org/10.1021/jf030383v

Martin-Mex, R., Nexticapan-Garcéz, Á., Herrera-Tuz, R., Vergara-Yoisura, S., & Larqué-Saavedra, A. (2012). Positive effect of salicylic acid application on productivity of papaya (*Carica papaya*). In *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (Vol. 3).

Martín-Mex, R., Nexticapan-Garcez, A., & Larqué-Saavedra, A. (2013). Potential Benefits of Salicylic Acid in Food Production. In *Salicylic acid* (pp. 299–313). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6428-6_13

Medallo-Mojica, Erika., & López-Pérez, M. G. (2013). Análisis comparativo entre jarabe de agave azul (*Agave tequilana* Weber var. *azul*) y otros jarabes naturales. *Agrociencia*, *47* (Análisis comparativo entres jarabe de agave azul () *Agave tequilana* Weber var. *azul*) y otros jarabes naturales), 233–244. www.redalcyc.org/articulo.oa?id=30226978003

Mendoza-García, J. A. (2007). *Los agaves de México*. https://www.researchgate.net/publication/26549731

Ogunsiji, E., Umebese, C., Stabentheiner, E., Iwala, E., Odjegba, V., & Oluwajobi, A. (2023). Salicylic Acid Enhances Gwroth, Photosynthetic Performance and Antioxidant Defense Activity Under Salt Stress inTwo Mungbean [Vigna radiata (L.) R. Wilczek] Variety. Plant Signaling & Behavior, 18 (1). https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2217605

Rodríguez-García, M. F., Huerta-Espino, J., Villaseñor-Mir, H. E., Rivas-Valencia, P., González-González, M., Hortelano-Santa Rosa, R., Robles-Yerena, L., & Aranda-Ocampo, S. (2020). Chemical treatment to wheat seed to reduce the incidence of bacteria. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, *38*(2). https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2001-5

Tucuch-Hass, C., Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L.I., Volke-Haller, H., Salinas-Moreno, Y., & Larqué-Saavedra, A. (2017). Effect of Salicylic Acid on Gwoth, nutritional Status, and performance of Maize (Zea mays). Agrociencia, 51(7),771-781. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?scrip=sci_arttext&pid=S1405-31952017000700771&Ing=es&tlng=es.

POLIBOTÁNICA

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO TRADICIONAL SOBRE EL USO Y MANEJO DE LOS RECURSOS VEGETALES EN EL MUNICIPIO DE MALINALCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

CONTRIBUTION TO TRADITIONAL KNOWLEDGE OF PLANT RESOURCE USE AND MANAGEMENT IN MALINALCO, STATE OF MEXICO, MEXICO

Berdeja-Martínez, B.M., M.M. Ávila-Uribe, A.M. Mora-Rocha, Y. Cerón-Reyes, K.M. Hernández-Sánchez, M.E. Ordorica-Vargas, L. Cevallos-Villanueva

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO TRADICIONAL SOBRE EL USO Y MANEJO DE LOS RECURSOS VEGETALES EN EL MUNICIPIO DE MALINALCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO
CONTRIBUTION TO TRADITIONAL KNOWLEDGE OF PLANT RESOURCE USE AND MANAGEMENT IN MALINALCO, STATE OF MEXICO, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 343-364 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.20

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Contribución al conocimiento tradicional sobre el uso y manejo de los recursos vegetales en el municipio de Malinalco, Estado de México, México

Contribution to traditional knowledge of plant resource use and management in Malinalco, State of Mexico, Mexico

Blanca Margarita Berdeja-Martínez, Margarita Micaela Ávila-Uribe, Ana María Mora-Rocha, Yajaira Cerón-Reyes Karla Mariela Hernández-Sánchez, María Eugenia Ordorica-Vargas, Lidia Cevallos-Villanueva

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO TRADICIONAL SOBRE EL USO Y MANEJO DE LOS RECURSOS VEGETALES EN EL MUNICIPIO DE MALINALCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO.

CONTRIBUTION TO TRADITIONAL KNOWLEDGE OF PLANT RESOURCE USE AND MANAGEMENT IN MALINALCO, STATE OF MEXICO, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 343-364. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.20

Blanca Margarita Berdeja-Martínez / blancambm@yahoo.com.mx
https://orcid.org/0000-0002-6327-0644
Profesora e investigadora jubilada, Laboratorio de Fitoquímica, Departamento de Farmacia, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Av. Wilfrido Massieu, Esq. Manuel L. Stampa s/n, Gustavo A. Madero, Ciudad de México 07738, México

Margarita Micaela Ávila-Uribe / mavilau1981@yahoo.com.mx
https://orcid.org/0009-0004-2553-7434
Laboratorio de Biología Básica, Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Prol. de Carpio y Plan de Ayala, Miguel Hidalgo, Ciudad de México 11340, México

Ana María Mora-Rocha
Yajaira Cerón-Reyes
Bióloga egresada de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Prol. de Carpio y Plan de Ayala, Miguel Hidalgo, Ciudad de México 11340, México

Karla Mariela Hernández-Sánchez / kmhernandez@ipn.mx
https://orcid.org/0000-0002-4188-3044
Laboratorio de Biología Básica, Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Prol. de Carpio y Plan de Ayala, Miguel Hidalgo, Ciudad de México 11340, México.
Laboratorio de Química de Productos Naturales, Departamento de Química Orgánica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional

María Eugenia Ordorica-Vargas
Profesora e investigadora jubilada. Laboratorio de Etnobotánica, Departamento de Botánica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Prol. de Carpio y Plan de Ayala, Miguel Hidalgo, Ciudad de México 11340, México

Lidia Cevallos-Villanueva
Museo Dr. Luis Mario Schneider. Universidad Autónoma del Estado de México. Amajac s/n Barrio Santa Mónica, Malinalco 52440, Estado de México

RESUMEN: En comunidades indígenas y mestizas de zonas rurales de México, el conocimiento tradicional sobre los recursos vegetales constituye un patrimonio íntimamente ligado a prácticas culturales y de subsistencia. En Malinalco, Estado de México, este saber se ve amenazado por procesos inmigratorios que inciden en el deterioro de los recursos bióticos y en la pérdida de la sabiduría sobre su entorno.
Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo documentar el estado actual del conocimiento tradicional que poseen los habitantes sobre los recursos vegetales del municipio de Malinalco y el grado de dependencia de las especies más relevantes con respecto al ser humano. Se trabajó en tres localidades: San Simón el Alto, Santa Mónica

y la cabecera municipal. El procedimiento se desarrolló en tres etapas. En la primera se elaboró un cuestionario y una etiqueta de campo para registrar información botánica y etnobotánica. La segunda consistió en 15 visitas a las localidades, donde se entrevistó a 35 pobladores y a tres grupos de estudiantes de nivel medio, además de realizar diálogos informales y caminatas etnobotánicas. Finalmente, en la tercera etapa se efectuó la exploración etnobotánica con 11 colectas de ejemplares, los cuales fueron herborizados e identificados mediante claves taxonómicas y cotejados con ejemplares de referencia.
En las comunidades estudiadas se encuentran representados los principales tipos de vegetación del municipio. Se identificaron 161 especies pertenecientes a 57 familias botánicas. Las más representativas fueron Asteraceae, con 15 especies; Anacardiaceae, con 11; Fabaceae, con 8; Rosaceae, con 7; Rutaceae, con 6; Solanaceae, con 5; y Apiaceae, con 4. Las especies se agrupan en 20 categorías antropocéntricas; predominan las de uso medicinal (51.5 %), las alimenticias (36.0%) y las de uso artesanal y ornamental (12.4%). Del total, 59.6% tienen un solo uso, 24.8% dos y 15.5% tres o más. Respecto a su relación con el hombre, 50.9% son cultivadas, 23.6% silvestres, 8.1% arvenses y ruderales, y 17.3% combinan varias formas de dependencia.
A pesar de los cambios sociales y demográficos, los pobladores originarios de Malinalco continúan siendo custodios de la sabiduría etnobotánica, que mantiene vigentes prácticas de salud, alimentación y cultura local.
Palabras clave: recursos vegetales, sabiduría tradicional, identificación botánica, categorías antropocéntricas, Malinalco.
ABSTRACT: In indigenous and mestizo rural communities of Mexico, traditional knowledge of plant resources represents a heritage closely linked to cultural practices and subsistence. In Malinalco, State of Mexico, this knowledge is increasingly threatened by immigration processes that have contributed to the deterioration of biotic resources and the erosion of local ethnobotanical wisdom. This study aimed to document the current state of traditional knowledge among the inhabitants regarding the plant resources of the municipality and to assess the degree of dependence of the most relevant species on human use. Research was conducted in three localities: San Simón El Alto, Santa Mónica, and its municipal seat. The study was carried out in three stages. First, a questionnaire and a field data sheet were designed to record botanical and ethnobotanical information. Second, 15 visits were made to the communities, during which 35 residents and three groups of secondary school students were interviewed, complemented by informal dialogues and ethnobotanical walks. Finally, ethnobotanical exploration included 11 plant collections, which were pressed and preserved as herbarium specimens, and identified using specialized taxonomic keys and verified against reference collections.
A total of 161 species belonging to 57 botanical families were identified. The most representative families were Asteraceae (15 species), Anacardiaceae (11), Fabaceae (8), Rosaceae (7), Rutaceae (6), Solanaceae (5), and Apiaceae (4). These species were classified into 20 anthropocentric categories, with medicinal uses prevailing (51.5%), followed by food uses (36.0%) and artisanal-ornamental uses (12.4%). Of all species, 59.6% had a single use, 24.8% had two uses, and 15.5% had three or more. In terms of dependence on humans, 50.9% were cultivated, 23.6% wild, 8.1% weedy and ruderal, and 17.3 % combined multiple forms of dependence.
Despite social and demographic changes, the original inhabitants of Malinalco remain custodians of valuable ethnobotanical knowledge that sustains local practices of health, food, and culture.
Key words: plant resources, traditional knowledge, botanical identification, anthropocentric categories, Malinalco.

INTRODUCCIÓN

En las comunidades indígenas y mestizas de las zonas rurales de México, existe una gran tradición en el manejo de su ambiente, el uso de los recursos está íntimamente relacionado con las creencias y costumbres de los diferentes pueblos (Hernández, 2012; Rojas, 1990; Barrera, 2012). Los recursos naturales son los diversos medios de subsistencia de las personas, es decir, todos los elementos proporcionados por la naturaleza que el ser humano utiliza para satisfacer sus

necesidades materiales, estéticas, de salud y recreativas (Bassols, 1986). Sin embargo, las actividades de los grupos humanos provocan su pérdida (Juan-Pérez, 2014). Por ello, el manejo de los recursos debe ser integral, incluyendo su conservación, y tomando en cuenta tanto la capacidad de carga del ecosistema como su autoregeneración (López-Jiménez & Chan-Quijano, 2016).

En el área geográfica y cultural de Mesoamérica, los antiguos mexicanos, en su interacción con el entorno, desarrollaron diversas formas de manipulación intencional de poblaciones de plantas silvestres y arvenses con el fin de aumentar la disponibilidad de recursos vegetales. El manejo incluía la tolerancia, la inducción y la protección selectiva de individuos de especies útiles durante perturbaciones intencionales de la vegetación (Casas, 2001). De esta manera, se establecieron distintos tipos de dependencia entre los grupos sociales y las plantas, lo que dio lugar a una gran diversidad de formas de manejo (recolección, cultivos sin domesticación, cultivos de plantas domesticadas, tolerancia y erradicación), reflejada a su vez en distintas formas vegetales: silvestres, cultivadas, no domesticadas, cultivadas domesticadas y arvenses (Lema, 2009).

El uso tradicional de las plantas, realizado por los diferentes grupos étnicos desde tiempos remotos a lo largo de la República Mexicana, y la sistematización de ese conocimiento ha permitido el desarrollo de la etnobotánica en nuestro país. La preservación de esta sabiduría tradicional es clave para la conservación de la diversidad biológica (Gómez-Pompa, 1985; Martínez-Callejo, 2018).

Estos pueblos conservan valores culturales entre los que se encuentran sus propios idiomas, sentido artístico, tradiciones, sistemas de organización (León, 1979), percepción, clasificación, la utilización y el manejo de los recursos vegetales (Caballero, Casas, Cortés, & Mapes, 1998).

En el Estado de México se han llevado a cabo diversos estudios que describen su flora y cómo sus habitantes la utilizan (Ávila-Uribe, García-Zarate, Sepúlveda-Barrera, & Godínez-Rodríguez, 2016), tanto en áreas naturales protegidas (López-Patiño, 2021) como en agroecosistemas de huertos familiares (Gutiérrez-Cedillo,, White-Olascoaga, Juan-Pérez, & Chávez, 2015).

Particularmente en el municipio de Malinalco, perteneciente a este estado, se han realizado diversos estudios etnobotánicos, entre los que podemos mencionar uno sobre la flora medicinal utilizada para aliviar problemas digestivos y respiratorios (Flores, 2004); otro realizado en la comunidad de San Nicolás, donde se registraron 165 especies de uso medicinal (White-Olascoaga, Juan-Pérez, Chávez-Mejía, & Gutiérrez-Cedillo, 2013); en 98 huertos de San Andrés Nicolás Bravo, se identificaron 48 especies con siete usos, entre los que destacan el alimenticio, medicinal y el comercial (Guadarrama, Chávez, Arriaga, & White-Olascoaga, 2020); otro estudio etnobotánico de *Tajetes lucida* Cav. (White-Olascoaga, Zepeda, García, Gutiérrez-Cedillo, & Sabás Ch., 2018); de recursos forestales maderables utilizados en la elaboración de artesanías (White-Olascoaga, Chávez-Mejía, García-Mondragón, & Michua-Hernández, 2023). Así como, el análisis espacial de la distribución biogeográfica de árboles y arbustos medicinales (Gutiérrez-Cedillo, Juan-Pérez, Chávez, & Villarreal, 2019). También, se han realizado estudio de rutas ecoturísticas para el aprovechamiento de los recursos naturales, culturales y de la flora y vegetación ruderal en tres localidades de Malinalco (Martínez-De la Cruz, 2010; Pulido-Arias, 2016).

La vegetación de la República Mexicana es una de las más variadas del mundo, pues en su territorio están representados prácticamente todos los grandes biomas, lo cual permite que posea mayor riqueza de recursos vegetales (Rzedowski J. , 1978).

El municipio de Malinalco es un asentamiento que se remonta a la época prehispánica. Destaca la zona arqueológica, que alberga al Cerro de los Ídolos, en el que está construido un monumento monolítico, del periodo de dominación azteca posterior a 1476 (García-Payón, 1940). En este sitio se encuentra un tambor de una sola pieza de madera labrada, formado a partir de tronco de tepehuaje (*Lysiloma acapulcencis* Kunth) y cubierto en su parte superior con piel de borrego, y el "huéhuetl" (de madera del aguacate (*Persea americana* Mill.) o de mango (*Mangifera indica* L.) que se sigue utilizando como instrumento musical en las ceremonias religiosas (Romero, 1988) y, actualmente se reporta elaborado a partir de madera de tronco de aguacate o de mango (García-Payón, 1946). Malinalco, según los Anales de Cuauhtinchan, se refiere al Tonal pohualli

o calendario azteca y corresponde al duodécimo signo de los 20 del mes (malinalli) (López-Austin, 2006).
En el convento de la iglesia de Malinalco fundado en 1543, el claustro bajo, está decorado con el estilo denominado fitomorfo-epigráfico, y muestra la representación de un jardín denso, en el que dominan los murales en las bóvedas, en ellos hay un repertorio botánico y zoológico (White-Olascoaga & Zepeda, 2002) se reconocieron 31 especies de plantas medicinales en los frescos. Estas plantas pertenecen a 25 familias botánicas (Zepeda & White-Olascoaga, 2008).
En este municipio existen cerca de 28,155 habitantes (INEGI, 2021), de los cuales 13,833 son hombres y 14,322 son mujeres. Actualmente se realizan actividades económicas de agricultura, ganadería y comercio. En el comercio se incluye el sistema tradicional del "trueque", que se practica principalmente entre campesinos, y se lleva a cabo en un lugar llamado "El cambio" (Schneider, 2005).
En Malinalco, los campesinos orientan sus actividades tanto a la conservación de la agricultura tradicional con cultivos básicos para el autoconsumo, como a la generación de una agricultura comercial mediante la introducción de cultivos destinados a la venta. Tales estrategias permiten mantener la subsistencia y mejorar la economía de la unidad campesina (Flores, 2004; Juan-Pérez, 2014).
En este municipio, la inmigración desde otras regiones ha provocado un notable deterioro de los rasgos culturales locales, lo que a su vez ha intensificado la afectación de los recursos bióticos y acelerado la pérdida del conocimiento sobre el entorno. Entre las actividades asociadas se encuentran la agricultura, ganadería y floricultura, así como la creación de espacios habitacionales y turísticos, como casas de descanso, balnearios y campos deportivos (Monroy & Ayala, 2003), los cuales incrementan significativamente el consumo de recursos naturales y transforman el ambiente (Gómez-Barranco & Vargas, 2023).
En este municipio, la expansión de los agroecosistemas y de los ambientes antropogénicos se ha acelerado, provocando no solo la pérdida de ecosistemas naturales y de los recursos que albergan (Toledo, 1990; 2002), sino también la extinción gradual del conocimiento tradicional sobre su uso y manejo.
Este fenómeno pone en riesgo tanto los recursos vegetales locales como los saberes asociados a ellos. Por ello, se plantea documentar el estado actual de la sabiduría botánica tradicional que poseen los habitantes de Malinalco, Estado de México, en relación con los recursos vegetales presentes en el municipio, así como establecer el grado de dependencia de las especies vegetales más importantes respecto al ser humano en este municipio.

MATERIALES Y MÉTODO

El estudio se realizó en terrenos ubicados en la parte norte del municipio de Malinalco, que se encuentra al sur de la porción occidental del estado de México, este municipio cuenta con una extensión de 186.28 Km^2, con las siguientes coordenadas geográficas: 18^0 53'00.0¨ de latitud norte y el meridiano 99^0 29´41.0¨ de longitud oeste, entre los 850 y 1750 msnm (Figura 1) (INEGI, 2020).
Forma parte de la Sierra Madre del Sur y en su porción norte en Lagos y Volcanes del Anáhuac de la provincia del Eje Neovolcánico (INEGI, 2010). La litología es volcánica, al poniente en zona, y basáltica en el valle. Los suelos son del tipo Feozem háplico y Litosol en la parte norte, mientras que en la parte sur son tipo Rendzina asociado con Litosol y Feozem háplico.
La hidrografía está representada por los ríos Chalma, Ocuilan, Tlaxipehualco, Colapa (afluente de Chalma) y por una gran cantidad de manantiales. El clima predominante es semicálido-subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 20º C, la máxima es de 34.8º C y la mínima 4.07ºC en las partes más altas del municipio, la precipitación pluvial es de 1,177 mm.
Su riqueza forestal incluye al oyamel (*Abies religiosa*), encino (*Quercus rugosa*), ocote (*Pinus montezumae*), roble (*Quercus laurina*), madroño chico o colorado (*Arbutus xalapensis*), palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), zopilote (*Swietenia humilis*), fresno (*Fraxinus uhdei*),

aguacate, (*Persea americana*) guaje (*Leucaena leucocephala*) (López-Patiño & Serrano, 2013; CONABIO, 2025).

Los animales vertebrados con mayor abundancia son la ardilla vientre rojo (*Sciurus aureogaster*), armadillo de nueve bandas (*Dasypus novemcinctus*), conejo de monte (*Sylvilagus cunicularius*), coyote (*Canis latrans*), lince americano (*Lynx rufus*), tlacuache (*Didelphis marsupialis*), cacomixtle (*Bassariscus sumichrasti*), tejón (*Nasua narica*), zorrillo (*Mephitis macroura*), águila real (*Aquila chrysaetos*), zopilote *(Swietenia humilis*), cuervos (*Corvus corax*), cardenal (*Cardinalis cardinalis*), colibrí (*Saucerottia beryllina*), víbora de cascabel (*Crotalus transversus*); y entre los invertebrados podemos mencionar diversas especies como el alacrán de corteza del Balsas (*Centruroides limpidus*), abeja melífera europea (*Apis mellifera*), chapulines de la milpa (*Sphenarium purpurascens)*, araña de jardín bandeada (*Argiope trifasciata*), entre otros (Schneider, 2005; CONABIO, 2025).

La vegetación es variada, e incluye bosque tropical caducifolio, también conocido como selva baja caducifolia, matorrales secundarios y pastizal natural o inducido; en las partes más altas se presentan áreas de bosque de pino-encino. Estas comunidades enfrentan heladas, sequías e incendios frecuentes. El grado de perturbación que presenta la vegetación es alto y su distribución se restringe a manchones en las laderas de los cerros que rodean a la población (Rzedowski J. , 1978; 2006).

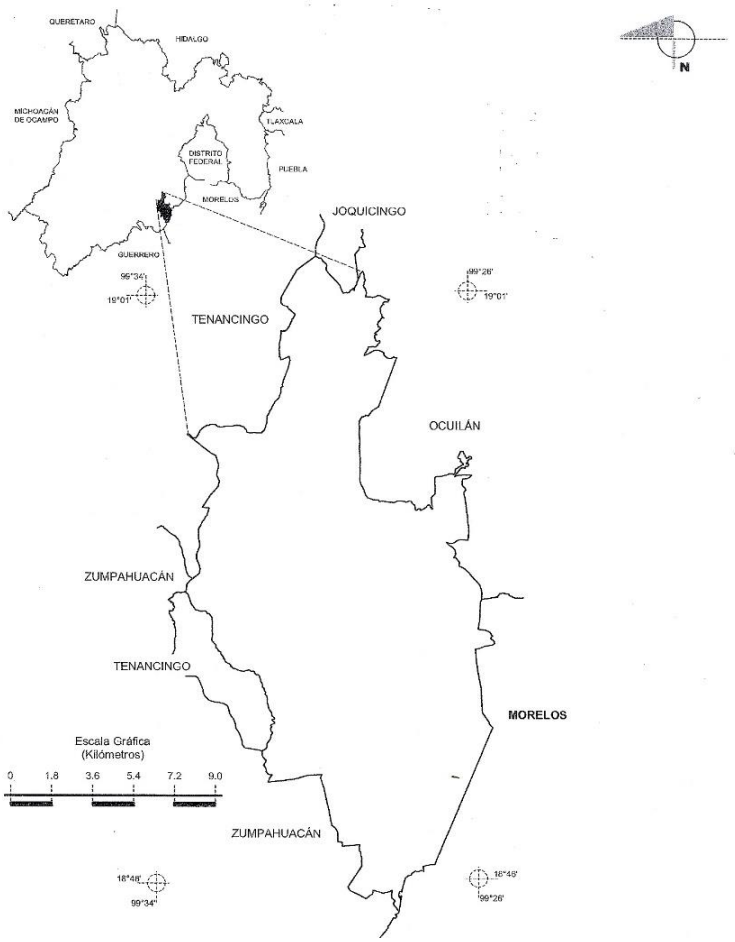


Figure 1. Location of the municipality of Malinalco, State of Mexico. Author's elaboration based on INEGI (2010).
Figura 1. Localización del municipio de Malinalco, Estado de México. Elaboración propia con base en INEGI (2010).

El procedimiento etnobotánico utilizado en esta investigación se basó en tres etapas, de acuerdo con lo descrito por (Ondorica-Vargas, 1990). La primera consistió en trabajo de gabinete, en el cual se elaboró un cuestionario y una etiqueta de colecta para registrar información como: nombre común de la especie, forma biológica, estado fenológico, usos, forma de preparación, forma de aplicación, dosis, nombre de los colectores, fecha de la colecta, grado de dependencia del hombre, valor cultural (plantas ceremoniales, plantas para enfermedades de filiación cultural y otras tradiciones en relación con las plantas), así como el nombre de la persona que proporcionó la información, su edad y ocupación.

La segunda etapa se desarrolló mediante el trabajo de campo, durante el cual se realizaron 15 visitas a las tres comunidades: San Simón el Alto, Santa Mónica y Santa María Malinalco (cabecera municipal), ubicadas al norte de la localidad. En estas actividades colaboraron 35 miembros de las comunidades: artesanos, agricultores, sabios de la comunidad, comerciantes, algunos médicos tradicionales y amas de casa; la mayoría reside en la cabecera municipal. Varios de ellos participaron como guías para visitar las otras dos comunidades y facilitaron la relación con las personas que fueron entrevistadas. Durante esta fase se aplicó el cuestionario y encuesta semiestructurada, donde se llevaron a cabo diálogos dirigidos e informales, complementados con caminatas etnobotánicas en los alrededores de las comunidades. Asimismo, se visitaron tres instituciones educativas de nivel medio, donde se aplicó un cuestionario y una encuesta semiestructurada a un grupo de 20 alumnos de tercer grado en cada escuela, con previa capacitación en el llenado de los instrumentos y en el manejo de los ejemplares botánicos para el reconocimiento de las especies.

La tercera etapa, posterior a la exploración etnobotánica (Hernández, 1985), consistió en realización de 11 colectas de ejemplares botánicos, los cuales fueron sometidos a procesos de secado, preservación e identificación con ayuda de claves taxonómicas especializadas. (Rzedowski G. , 2001; Martínez & Matuda, 1979) Las identificaciones se corroboraron con ejemplares depositados en los herbarios de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) y en el Herbario de Plantas de Importancia Económica de México del Laboratorio de Etnobiología y Etnobotánica de la misma institución. Asimismo, la escritura y sinonimia de los nombres científicos fue verificada en la base de datos (Tropicos, 2025).

El trabajo de herbario se llevó a cabo con el material recolectado, procesado para su incorporación como ejemplares de colección en las Colecciones Etnobiológicas de la ENCB, tanto en el Herbario de Plantas de Importancia económica de México del Laboratorio de Etnobiología y Etnobotánica como en el Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Para ello se empleó el material propio de colecta y preparación de muestras, así como de laboratorio necesario para el secado e identificación taxonómica. Durante el trabajo de campo se utilizaron cámaras fotográficas y de video (Gispert, *et al*., 1979). Los datos recopilados fueron organizados en matrices y clasificados de acuerdo con categorías de uso previamente definidas. Posteriormente, se calcularon las frecuencias, así como los porcentajes correspondientes, con el fin de identificar la distribución de las especies dentro de cada categoría. Para la representación gráfica de los resultados se empleó el software GraphPad Prism versión 10.0.0 (GraphPad Software, 2023).

RESULTADOS

La información obtenida se presenta en el Anexo 1, que detalla las especies según el uso que la comunidad le da a estas, con base en la clasificación de Villegas y De Gante, (2000) obteniendo un total de 20 categorías antropocéntricas. Asimismo, se presenta el nombre científico, familia botánica, nombre regional, las partes de la planta utilizadas y grado de dependencia.

De las 161 especies encontradas, el 51.5% se destinan a uso medicinal, el 36.0% a uso alimenticio (incluyendo la producción de bebidas y condimentos), y el 12.4% se emplean en áreas como artesanías, ornamentación, cosméticos, jabones, colorantes, combustibles, construcción, cercado, herramientas, plaguicidas, abono verde, forraje, curtido de pieles, fijado de pintura, adornos para fiestas, emblemas del municipio, rituales, ceremonias y amuletos. El 59.6% de las especies tienen un solo uso, el 24.8% tienen dos usos y el 15.5% tienen tres o más usos.

En las comunidades seleccionadas se encuentran representados los diferentes tipos de vegetación registrados dentro del municipio. Esta selección permitió conocer los recursos vegetales útiles tanto en términos de su uso como del hábitat que ocupan. Considerando la cantidad encontrada de recursos vegetales útiles a la comunidad (161 especies vegetales), podemos afirmar que existe todavía una interrelación importante entre los habitantes y su entorno natural, lo cual se manifiesta, en las 20 categorías antropocéntricas (usos distintos) detectadas, en donde sobresalen las plantas medicinales y las alimenticias como se muestra en la Figura 2.

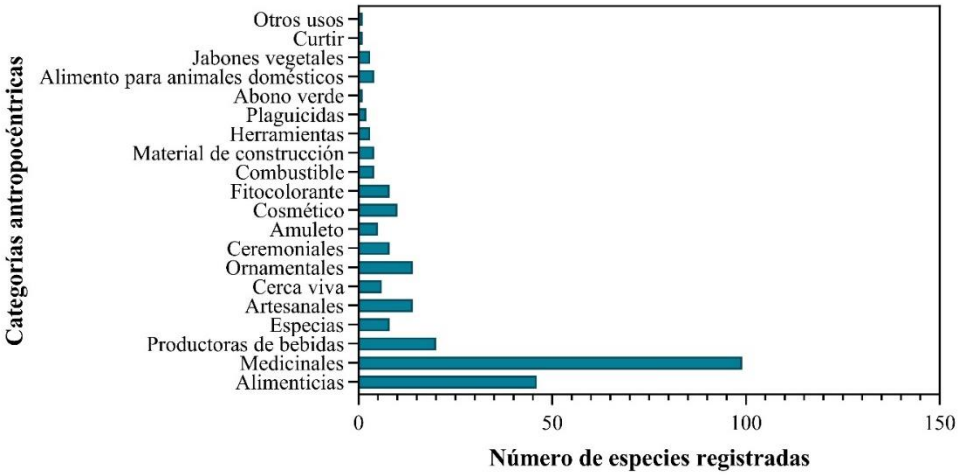


Figure 2. Number of species per anthropocentric category.
Figura 2. Relación de número de especies por cada categoría antropocéntrica.

Las especies corresponden a 57 familias botánicas, siendo Asteraceae la más representada con 15 especies, seguida de Anacardiaceae, Fabaceae y Rosaceae con 11 especies, Lamiaceae con 8, Poaceae con 7, Rutaceae con 6, Solanaceae con 5, y Apiaceae con 4. Además, 6 familias tienen tres especies, 9 familias dos especies y 32 familias una especie.

Las especies con tres o más usos, como el palo colorado (*Bocconia arborea*) y el colorín (*Erythrina americana*), son especialmente valoradas por la población, ya que tienen aplicaciones medicinales, artesanales, ornamentales y como fitocolorantes.

Asimismo, los porcentajes de especies, según su grado de dependencia, muestran una estrecha relación entre el uso de recursos silvestres (23.6%) y cultivados (50.9%) para satisfacer las necesidades de la población, mientras que las especies arvenses y ruderales representan el 8.1%, y el 17.3% restante muestra diversas combinaciones: silvestres, arvenses y ruderales (6.8%), silvestres y cultivadas (7.4%), silvestres y arvenses (2.5%) y silvestres y ruderales (0.6%) (Figura 3).

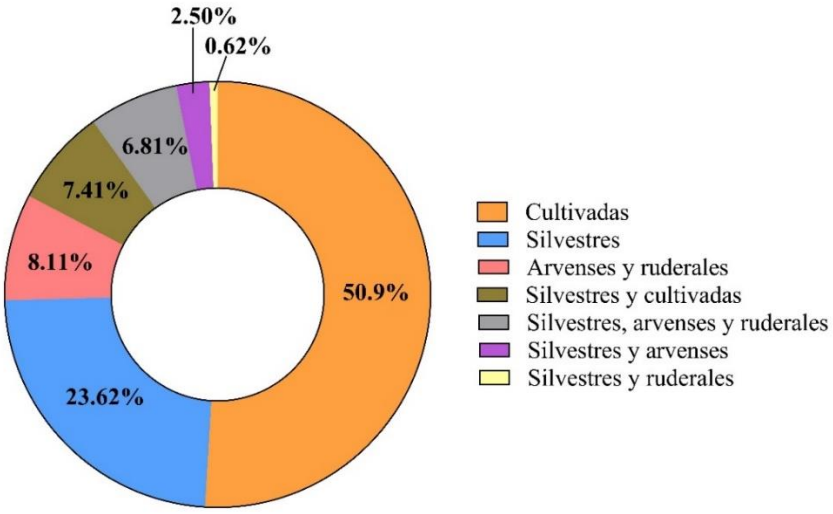


Figure 3. Percentage of species based on use or dependence by the inhabitants of Malinalco, State of Mexico.
Figura 3. Porcentaje de especies según el grado de uso o dependencia por los habitantes de Malinalco, Estado de México.

DISCUSIÓN

De los resultados presentados, se observa que las plantas silvestres obtenidas del bosque tropical caducifolio mantienen una importante relación con los usos, costumbres y creencias más antiguas de las comunidades, las cuales están asociadas a las categorías antropocéntricas (Hernández, 2012). Un ejemplo de ello son actividades como el trueque, que se practica los días de plaza, en donde se intercambia leña obtenida del ocote (*Pinus montezumae*) y las cruces de pericón (*Tagetes lucida*) que se colocan en las puertas y en los cultivos antes de la fiesta de San Miguel.
Entre las especies silvestres comestibles, sobresale la flor de colorín (*Erythrina americana*), mientras que en el ámbito medicinal destaca el toronjil (*Agastache mexicana*), conocido por sus propiedades tranquilizantes e inductoras del sueño (Estrada-Reyes, et al., 2014). Además, los aceites esenciales de esta especie presentan actividades antifúngicas (Juárez, Hernández, Bacha, & Sánchez-Arreola, 2015) y antihipertensivas (Hernández-Abreu, et al., 2013).
Entre las principales especies silvestres, algunas son ruderales y se utilizan con fines medicinales, como el palo colorado (*Bocconia arborea*), jarilla (*Senesio salignus*) (Bolzan, et al., 2007), marrubio (*Marrubium vulgare*), que posee actividad antihepatotóxica (Verma, Masoodi, & Ahmed, 2012), y el zapote blanco (*Casimiroa edulis*), que presenta actividad prometedora contra microorganismos (Martínez-De la Cruz, 2010; Awaad, et al., 2012).
Un grupo de especies silvestres, llamadas "toleradas", ocasionalmente se desarrollan en ambientes antropocéntricos, como los huertos familiares. En estos lugares, el ser humano no las cultiva, pero tampoco las elimina, aprovechándolas, lo que las hace más susceptibles al cultivo y a la domesticación posterior (Casas & Caballero, 1995). Ejemplos de estas especies son el palo colorado (*Bocconia arborea*), cuajilote (*Parmentiera edulis*), que son utilizados como hipoglucemiantes (Berdeja-Martínez, et al., 2001).
Es importante señalar que los huertos familiares son ecosistemas agrícolas situados cerca del lugar de residencia permanente o temporal. En estos espacios reducidos, se combina una variedad de árboles, arbustos, verduras, tubérculos, raíces y gramíneas comestibles y medicinales, así como material de construcción. Además, los animales domésticos se integran a este sistema. Los huertos familiares contribuyen a la seguridad alimentaria, al ingreso económico familiar y tienen una significativa importancia social y cultural (Martínez-Bustamante & Juan-Pérez, 2005; Howard & Nabanoga, 2007).

Respecto a las plantas cultivadas, se distinguen dos grandes grupos: las especies que se encuentran en todos los mercados nacionales, como el jitomate (*Lycopersicum esculentum*), la cebolla (*Allium cepa*), la naranja (*Citrus aurantium*), la calabaza (*Cucurbita pepo*), el chile verde (*Capsicum annuum*), entre otras, y aquellas de producción regional, como los frutos de temporada: las ciruelas (*Spondia mombin*), el aguacate criollo (*Persea americana*) y las guayabas blanca y rosa (*Psidium guajava*). Un estudio farmacológico sobre las hojas de la guayaba muestra actividad hipolipidémica (Shinde, Chivate, & Kulkarni-Naikwade, 2013).

Estos recursos regionales son muy apreciados tanto por lugareños como por visitantes, lo que fomenta su producción, incluso en pequeña escala, en solares o huertos familiares (Mariaca-Méndez, González-Jácome, & Lerner-Martínez, 2007).

Algunas de estas plantas se utilizan para el trueque, representando un ingreso económico adicional o principal durante su temporada (Juan-Pérez, 2013).

La mayoría de las especies cultivadas pertenecen a las categorías de alimenticias y medicinales. Entre estas últimas destacan la ruda (*Ruta chalepensis*), la borraja (*Borago officinalis*), el níspero (*Eriobotrya japonica*), ajenjo (*Artemisia absinthium*) contiene aceite esencial que presenta actividad antimicrobiana y la bugambilia (*Boungainvillea glabra*) (Urióstegui-Flores, 2015).

Entre las especies cultivadas a mayor escala sobresalen el chícharo (*Pisum sativum*), el haba (*Vicia faba*) y chile manzano (*Capsicum annuum*), los cuales se destinan principalmente para la venta en la Central de Abastos de la Ciudad de México o en la ciudad de Toluca, con una pequeña cantidad destinada al autoconsumo.

Respecto a las especies arvenses, estas se utilizan principalmente para la alimentación y la salud. En el caso de las plantas comestibles, se encuentran, por ejemplo, la verdolaga (*Portulaca oleracea*), el quintonil (*Amaranthus hybridus*), el epazote (*Chenopodium ambrosioides*), la malva (*Malva parviflora*). Los estudios farmacológicos realizados a las hojas de esta última planta muestran actividad antioxidante (Farhan *et al.*, 2012) y antiinflamatoria (Bouriche, Meziti, Senator , & Arnhold, 2011). Estas cuatro plantas generalmente son de autoconsumo, y solo el excedente se vende en la plaza. Entre las medicinales se destaca el mozote (*Bidens odorata*), al cual se le han realizado diversos estudios farmacológicos que demuestran su capacidad como agente antidiarreico, así como su actividad hipolipemiante y antituberculosis (Astudillo-Vázquez, Dávalos-Valle, De Jesús, & Herrera-Navarrete, 2008; Hernández-Sánchez, et al., 2018).

En la actividad artesanal, se utilizan madera y plantas para extraer colorantes del monte o de los caminos. Los artesanos siempre emplean árboles que ya están secos o han sido derribados, como el aguacate (*Persea americana*) y el mango (*Mangifera indica*), que se utilizan en el tallado de madera, así como las semillas de colorín (*Erythrina americana*) para la elaboración de collares, aretes y pulseras.

Las especies utilizadas como colorantes incluyen el yemolín (*Phytolacca icosandra*), el capulín (*Prunus serotina*), el palo colorado (*Bocconia arborea*), el colorín (*Erythrina americana*) y el cempasúchil (*Tagetes erecta*).

Es importante señalar que, de las 165 plantas medicinales estudiadas por White-Olascoaga *et al.*, (2013) en San Nicolás, ubicado al norte del municipio de Malinalco, varias coinciden con las registradas en las localidades de San Simón y Santa Mónica, también situadas al norte de este municipio. Al analizar las listas de las plantas de dicha investigación, se encontró coincidencia con 55 especies botánicas a nivel de familia, género y especie, lo que representa el 34% con respecto a las 161 especies reportadas en este estudio. De estas 55 especies, únicamente 32 tienen uso medicinal, 6 son alimenticias, 13 se utilizan de manera combinada como alimenticias, medicinales, para curtir o como plaguicidas, y 4 se destinan a otros usos (artesanal, cosmético, cerca viva y ornamental), según se presenta en el Anexo 1 de este trabajo.

CONCLUSIONES

La obtención de recursos vegetales en Malinalco se realiza de dos formas: la primera, a través de la apropiación de elementos naturales presentes en los ecosistemas silvestres aún representados en el municipio. Esta práctica genera alteraciones y desequilibrios en dichos ecosistemas, algunos

de los cuales están profundamente modificados, pero conservan aún su estructura fundamental, con áreas de bosques templados en las zonas altas y pequeñas extensiones de selva baja caducifolia en las cercanías de la población.

En el segundo caso, la obtención y producción de recursos está vinculada a la destrucción de los ecosistemas naturales y su sustitución por agroecosistemas o ambientes antropógenos.

Una característica común de las viviendas de los habitantes nativos de Malinalco es que las áreas dedicadas a jardines o traspatios siempre están ocupadas por huertas que conservan una gran cantidad de especies silvestres, toleradas, arvenses y cultivadas propias de la región. Estas áreas funcionan como bancos de germoplasma, protegiendo especies originales de la desaparición total.

Es importante resaltar que muchas de las tradiciones del municipio siguen estando vinculadas a la cosmovisión local, que influye en la forma en que los habitantes perciben e interpretan su entorno. El uso de los recursos vegetales también está asociado a prácticas ceremoniales y rituales, como las "limpias", su empleo como amuletos, adornos y en la elaboración de instrumentos musicales durante actos religiosos.

Por ello, los pobladores originarios de Malinalco, aunque en número decreciente frente a la llegada de personas provenientes de zonas urbanas como la Ciudad de México y la capital del estado, se mantienen como custodios de la sabiduría etnobotánica y continúan promoviendo el uso de especies vegetales regionales.

Por último, es importante destacar que, debido a su clima, tipo de vegetación, historia cultural prehispánica y relativa cercanía con la Ciudad de México, Malinalco ha sido objeto de un proceso inmigratorio significativo que ha impactado su entorno natural. No obstante, este municipio es considerado como un destino turístico y un pueblo mágico significativo, en donde los habitantes originarios conservan sus tradiciones relacionadas con el uso de la vegetación para satisfacer necesidades básicas de alimentación, salud, ceremoniales, ornamentales, artísticas, entre otras.

Por lo que, se sugiere implementar un manejo integral y sostenible de los recursos de Malinalco, lo que permitiría su aprovechamiento a largo plazo, garantizando la renovación de estos recursos. Asimismo, se propone la organización de simposios y talleres con la información etnobotánica sistematizada sobre el uso y manejo de los recursos vegetales del municipio, de manera que las nuevas generaciones aprecien y revaloren la sabiduría tradicional transmitida oralmente de generación en generación y que ha perdurado a lo largo del tiempo.

AGRADECIMIENTOS

A los habitantes de los poblados de Malinalco, Estado de México por habernos permitido acceder a sus hogares y transmitirnos su conocimiento acerca de los recursos vegetales con los que cuentan.

Queremos expresar un agradecimiento especial al Sr. Emiliano Ceballos, a la Sra. Leonor Berdeja Martínez, al Sr. Crisóstomo Cardoso, al Sr. Rodrigo Flores y familia, así como al Prof. Arturo Rogelio Segura, por su apoyo. Al Instituto Politécnico Nacional por financiar el trabajo de investigación mediante los proyectos SIP 20181747 y SIP 20253474.

LITERATURA CITADA

Astudillo-Vázquez, A., Dávalos-Valle, L., De Jesús, G., & Herrera-Navarrete, A. (2008). Investigation of Alternanthera repens and Bidens odorata on gastrointestinal disease. *Fitoterapia, 79*(7-8), 577-580. doi:10.1016/j.fitote.2008.07.001

Ávila-Uribe, M., García-Zarate, S., Sepúlveda-Barrera, A., & Godínez-Rodríguez, M. (2016). Plantas medicinales en dos poblados del municipio de San Martín de las Pirámides, Estado de México. *Polibotánica*(42), 215-245. doi:10.18387/polibotanica.42.11

Awaad, A., Al-Jaber, N., Soliman, G., Al-Outhman , M., Zain, M., Moses, J., & El-Meligy, R. (2012). New biological activities of Casimiroa edulis leaf extract and isolated compounds. *Phytoterapy Research, 2*(3), 452-457. doi:10.1002/ptr.3690

Barrera, M. (2012). La Etnobotánica. En V. Argueta, M. Corona, A. Moreno-Fuentes, V. Argueta, M. Corona, & A. Moreno-Fuentes (Edits.), *Clásicos de la Etnobiología en México* (Vol. 10, págs. 94-97). Asociación Etnobiológica Mexicana.

Bassols, B. A. (1986). *Recursos Naturales de México* (19ª ed.). México: Nuestro Tiempo.

Berdeja-Martínez, B., Meléndez, C., Wicho, S., Méndez, M., Osante , V., & Sánchez, Q. (2001). Estudio del efecto farmacológico de Parmentiera edulis en humanos. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, 32*(1), 27-29.

Bolzan, A., Silva, C., Francescato, L., Murari, A., Silva, G., Heldwein , C., & Heinzmann, B. (2007). Espécies de Senecio na medicina popular da América Latina e toxicidade relacionada a sua utilização. *Latin American Journal of Pharmacy, 26*(4), 619-625.

Bouriche, H., Meziti, H., Senator , A., & Arnhold, J. (2011). Anti-inflammatory, free radical-scavenging, and metal-chelating activities of Malva parviflora. *Pharmaceutical Biology, 49*(9). doi:10.3109/13880209.2011.558102

Caballero, J., Casas, A., Cortés, L., & Mapes, C. (1998). Patrones en el conocimiento, uso y manejo de plantas en pueblos indígenas de México. *Estudios Atacameños*(16), 181-195. doi:10.22199/S07181043.1998.0016.00005

Casas, A. (2001). Silvicultura y Domesticación de Plantas en Mesoamérica. En B. Rendón, S. Rebollar, J. Caballero, & M. Martínez, *Plantas, cultura y sociedad. Estudio sobre la relación entre seres humanos y plantas en los albores del siglo XXI* (pág. 317). México: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa y Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

Casas, A., & Caballero, J. (1995). Domesticación de las plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Ciencias,, 40*, 36-45.

CONABIO. (2025). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Obtenido de EncicloVida: https://enciclovida.mx/busquedas/resultados?utf8=%E2%9C%93&nombre=&busqueda=avanzada&id=&dist%5B%5D=3&dist%5B%5D=7&dist%5B%5D=10&dist%5B%5D=6&por_pagina=50&

Estrada-Reyes, R., López-Ruvalcaba, C., Ferreyra-Cruz, O., Dorantes-Barrón, A., Heinze, G., Moreno, A., & Martínez-Vázquez, M. (2014). Central nervous system effects and chemical composition of two subspecies of Agastache mexicana; An ethnomedicine of Mexico. *Journal of Ethnopharmacology, 153*(1), 98-110. doi:10.1016/j.jep.2013.12.057

Farhan, H., Rammal, A., Hijazi, H., Hamad, A., Daher-Reda, M., & Badran, B. (2012). In vitro antioxidant activity of ethanolic and aqueous extracts from crude Malva parviflora L. grown in Lebanon. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research, 5*(3), 234-238. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/288801984

Flores, H. M. (2004). Caracterización etnobotánica de plantas medicinales de Malinalco, Estado de México, que actúan sobre las principales afecciones del sistema digestivo y respiratorio. *Tesis de Licenciatura*. Ciudad de México, México: Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional.

García-Payón, J. (1940). *Matlatzincas o Pirindas en Culturas Precortesianas.* México: El Nacional.

García-Payón, J. (1946). Los monumentos arqueológicos de Malinalco, Estado de México. *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos. INAH., 8*, 1-3.

Gispert, M., Diego, N., Jiménez, J., Gómez, A., Quintanilla, J., & García, L. (1979). Un nuevo enfoque en la metodología etnobotánica en México. *Medicina Tradicional, 7*(II), 41-52.

Gómez-Barranco, & Vargas, M. (2023). Transformaciones ambientales derivadas del metabolismo turístico residencial en Malinalco, Estado de México. *Turismo, VISAO & ACAO, 25*(1), 94-113. doi:10.14210/rtva.v25n1.p94-113

Gómez-Pompa, A. (1985). *Los recursos bióticos de México (reflexiones).* Xalapa, Veracruz, México: Alhambra Mexicana.Bajo contrato con el Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos.

GraphPad Software. (2023). *GraphPad Prism (Version 10.0.0) [Computer software]*. GraphPad Software. Obtenido de https://www.graphpad.com

Guadarrama, M., Chávez, M., Arriaga, M., & White-Olascoaga, L. (2020). La diversidad biocultural de frutales en huertos familiares de San Andrés Nicolás Bravo, Malinalco, México. *Sociedad y Ambiente, 22*, 237-264. doi:10.31840/sya.vi2

Gutiérrez-Cedillo, J., Juan-Pérez, J., Chávez, M., & Villarreal, H. (2019). Capítulo III. Análisis espacial de la distribución biogeográfica de árboles y arbustos medicinales en el valle de Malinalco, México. En A. Olmos-Cruz, B. Carreto, T. Reyes, & B. Pérez-Alcántara, *Tendencias y retos de la Geografía en América Latina en el siglo XXI: Una perspectiva desde VII CGAL* (págs. 37-63). Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México.

Gutiérrez-Cedillo,, J., White-Olascoaga, L., Juan-Pérez, J., & Chávez, M. (2015). Agroecosistemas de huertos familiares en el Subtrópico del Altiplano Mexicano. Una visión sistémica. *Tropical and Subtropical Agroecosistems, 18*, 237-250. Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93944043012

Hernández, X. (1985). Exploración etnobotánica y su metodología. *Revista de Agrícola Xolocotzia, I*, 163-188.

Hernández, X. (2012). "El concepto de Etnobotánica". En V. Argueta, M. Corona, & A. Moreno-Fuentes, *Clásicos de la Etnobiología en México* (págs. 529-535). Puebla, México: Interciencia.

Hernández-Abreu, O., Torres-Piedra, M., García-Jiménez, S., Ibarra-Barajas, M., Villalobos-Molina, R., Montes, S., . . . Estrada-Soto, S. (2013). Dose-dependent antihypertensive determination and toxicological studies of tilianin isolated from Agastache mexicana. *Journal of Ethnopharmacology, 146*(17), 187-191. doi:10.1016/j.jep.2012.12.029

Hernández-Sánchez, K., Garduño-Siciliano, L., Luna-Herrera, J., Zepeda-Vallejo, L., Lagunas-Rivera, S., García-Gutiérrez, E., & Vargas-Díaz, M. (2018). Antimycobacterial and hypolipemiant activities of Bidens odorata (Cavanilles). *Journal of Ethnopharmacology, 222*(2018), 159-164. doi:10.1016/j.jep.2018.04.028

Howard, P., & Nabanoga, G. (2007). Are there Customary Rights to Plants? An Inquiry among the Baganda, with Special Attention to Genter. *World Development, 35*, 1542-1563.

INEGI. (2010). *Compendio de información geográfica municipal Malinalco, México.* Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 04 de agosto de 2025, de

https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15052.pdf

INEGI. (2010). *Marco Geoestadístico Municipal, versión 4.3. En: Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Malinalco, México.* Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/

INEGI. (2020). *Datos vectoriales obtenidos del Marco Geoestadístico Nacional de las cartas tipográficas E14A48, E14A58.* Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463833413

INEGI. (2021). *Censo de Población y Vivienda.* Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 28 de enero de 2021, de https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/

Juan-Pérez, J. I. (2013). *Los huertos familiares en una provincia del subtrópico húmedo mexicano. Análisis espacial, económico y sociocultural.* Universidad Autónoma del Estado de México.

Juan-Pérez, J. I. (2014). Uso y manejo de recursos naturales en los procesos agrícolas de una comunidad del subtrópico mexicano, Progreso Hidalgo, México. *Perspectivas Latinoamericanas, 11*, 58-68.

Juárez, Z., Hernández, L., Bacha, H., & Sánchez-Arreola, E. (2015). Antifungal activity of essential oils extracted from Agastache mexicana ssp. xolocotziana and Porophyllum linaria against post-harvest pathogens. *Industrial Crops and Products, 74*, 197–202. doi:10.1016/j.indcrop.2015.04.058

Lema, V. (2009). Domesticación vegetal y grados de dependencia ser humano-planta en el desarrollo cultural prehispánico del Noroeste argentino. *Tesis Doctoral*. Argentina: Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo.

León, P. (1979). Evolución cultural de Mesoamérica. En *México su evolución cultural* (3ª ed., págs. 13-16). México: Porrua.

López-Austin, A. (2006). *Los mitos del tlacuache: Caminos de la mitología mesoamericana.* . Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM; Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial.

López-Jiménez, L., & Chan-Quijano, J. (2016). Marco conceptual del manejo de recursos naturales. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 27-35. Obtenido de https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/248

López-Patiño, E. (2021). Etnobotánica y conservación de la flora medicinal en un área natural protegida. *Tesis de Maestría*. Estado de México, México: Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México.

López-Patiño, E., & Serrano, M. (2013). *Estudio florístico, ecológico y etnobotánico, en el área natural protegida "Tenancingo-Malinalco-Zumpahuacán", Estado de México.* México: Secretaría de Desarrollo Agropecuario. Protectora de Bosques del Estado de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Obtenido de https://www.gbif.org/dataset/2e8ffb5b-d515-4245-abd4-dc4f6b20955d

Mariaca-Méndez, R., González-Jácome, A., & Lerner-Martínez, T. (2007). El Huerto familiar en México. Avances y propuestas. En O. López , G. Aragón, & A. Tapia, *Serie Avances en agroecología y ambiente* (págs. 119-138). Secretaría de

Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco, El Colegio de la Frontera Sur.

Martínez, M., & Matuda, E. (1979). *Flora del Estado de México.* México: Biblioteca enciclopédica del Estado de México, Tomos I, II, III.

Martínez-Bustamante, R., & Juan-Pérez, J. (2005). Los huertos: una estrategia para la subsistencia de las familias campesinas. *Anales de Antropología, 39*(II), 25-50. doi:https://doi.org/10.22201/iia.24486221e.2005.2.9966

Martínez-Callejo, A. (2018). Estudio etnobotánico de la flora útil, en la comunidad de Malinalco, Estado de México. *Tesis de Licenciatura*. Estado de México, México: Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México.

Martínez-De la Cruz, I. (2010). La flora y vegetación ruderal de Malinalco, Estado de México. *Tesis de Maestría*. Estado de México, México: Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Monroy, R., & Ayala, I. (2003). Importancia del conocimiento etnobotánico frente al proceso de urbanización. *Etnobiología, 3*, 79-92. Obtenido de https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/104

Ondorica-Vargas, M. E. (1990). Contribución al conocimiento de la flora medicinal de Baja California Sur. *Tesis de Licenciatura*. D.F., México: Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional.

Pulido-Arias, S. (2016). Rutas ecoturísticas para el aprovechamiento de los recursos naturales y culturales en Palmar, Pachuquilla y el Zapote, Malinalco, México. *Tesis de Licenciatura*. Estado de México, México: Facultad de Planeación Urbana y Regional.

Rojas, R. (1990). *En busca del equilibrio perdido; el uso de los recursos naturales en México.* Guadalajara, México: Editorial Universidad Guadalajara, México.

Romero, Q. J. (1988). *El Huéhuetl de Malinalco.* Toluca, México. : Universidad Autónoma del Estado de México.

Rzedowski, G. (2001). *Flora fanerogámica del Valle de México* (2ª ed. ed.). Pátzcuaro, Michoacán: Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México.* México: Limusa.

Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México.* D.F., México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Schneider, L. M. (2005). *Malinalco, monografía municipal* (2ª ed.). México. : Instituto Mexiquense de Cultura.

Shinde, S., Chivate, N., & Kulkarni-Naikwade, N. (2013). Hypolipidemic activity of Psidium guajava Linn leaves extracts in hyperlipidemic rats. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 5*(1), 70-72. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/285727305_Hypolipidemic_activity_of_Psidium_Guajava_Linn_leaves_extracts_in_hyperlipidemic_rats

Toledo, V. (1990). La perspectiva etnoecológica. Cinco reflexiones acerca de las "ciencias campesinas" sobre la naturaleza con especial referencia a México. *Ciencias, 4*.

Toledo, V. (2002). Agroecología, sustentabilidad y reforma agraria: la superioridad de la pequeña producción familiar. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 3*(2), 27-33.

Tropicos. (18 de febrero de 2025). *Tropicos.org*. Obtenido de Missouri Botanical Garden: https://tropicos.org

Recibido:
7/marzo/2025

Aceptado:
26/noviembre/2025

Urióstegui-Flores, A. (2015). Hierbas medicinales utilizadas en la atención de enfermedades del sistema digestivo en la ciudad de Taxco, México. *Revista de salud pública, 17*(1), 85-96. doi:10.15446/rsap.v17n1.42235.

Verma, A., Masoodi, M., & Ahmed, B. (2012). Lead finding from whole plant of Marrubium vulgare L. with Hepatoprotective Potentials through in silico methods. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2*(3), 1308-1311. doi:10.1016/S2221-1691(12)60406-7

Villegas y De Gante, M. (2000). Clasificación antropocéntrica del reino vegetal . En M. Villegas y De Gante, & M. Ordorica-Vargas, *Libro de Lecturas de Biología de las Plantas Cultivadas.* Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional.

White-Olascoaga, L., Chávez-Mejía, C., García-Mondragón, D., & Michua-Hernández, M. (2023). Recursos forestales no maderables utilizados en la elaboración de artesanías en la comunidad de Malinalco, Estado de México. *Polibotánica, 55*, 231-243. doi:10.18387/polibotanica.55.15

White-Olascoaga, L., Zepeda, G., García, M., Gutiérrez-Cedillo, J., & Sabás Ch., C. (2018). Capítulo VI Estudio etnobotánico de Tajetes lucida Cav (Asteraceae) en el Estado de México. En M. Chávez, L. White-Olascoaga, J. Juan-Pérez, & J. Gutiérrez-Cedillo, *Conocimiento ambiental tradicional y manejo de recursos bioculturales en México.* Universidad Autónoma Estado del México. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/331100152_Conocimiento_ambiental_tradicional_y_manejo_de_recursos_bioculturales_en_Mexico_Analisis_geografico_ecologico_y_sociocultural

White-Olascoaga, L., & Zepeda, G. (2002). *El Paraíso Botánico del Convento de Malinalco, Estado de México.* Universidad Autónoma del Estado de México.

White-Olascoaga, L., Juan-Pérez, J., Chávez-Mejía, C., & Gutiérrez-Cedillo, J. (2013). Flora medicinal en San Nicolás, municipio de Malinalco, Estado de México. *Polibotánica, 35*, 173-206.

Zepeda, G., & White-Olascoaga, L. (2008). Herbolaria y pintura mural: Plantas medicinales en los murales del convento del divino salvador de Malinalco, Estado de México. *Polibotánica, 25*, 173-199.

Anexo 1. Principales recursos vegetales en el municipio de Malinalco, Estado de México

Nombre científico	Familia	Nombre Regional	Categorías Antropocéntricas	Parte usada	Grado de dependencia
1. *Justicia spicigera* Schltdl.	Acanthaceae	muicle	medicinal, fitocolorante	flores, toda la planta	cultivada
2. Sambucus mexicana C. Presl ex DC.	Adoxaceae	sauco	medicinal, ceremonial	hojas	silvestre
3. *Althernanthera repens* (L.) Kuntze	Amaranthaceae	tianguispepetla	medicinal	toda la planta	arvense y ruderal
4. *Amaranthus hybridus* L.	Amaranthaceae	quelite o quintonil	alimenticia	hojas y tallos	arvense o ruderal
5. *Celosia argentea* L.	Amaranthaceae	flor de santa Teresa, cresta de gallo, terciopelo	ceremonial	flores	cultivada
6. *Chenopodium ambrosioides* L.	Amaranthaceae	epazote	medicinal y como especia	hojas y tallos o toda la planta	arvense y ruderal
7. *Chenopodium graveolens* Willd.	Amaranthaceae	epazote de perro	medicinal	toda la planta	arvense y ruderal
8. *Chenopodium murale* L.	Amaranthaceae	hediondilla	medicinal y jabones vegetales	hojas	silvestre, arvense y ruderal
9. *Iresine celosia* L.	Amaranthaceae	tlancuayo	medicinal	toda la planta	silvestre
10. *Allium cepa* L.	Amaryllidaceae	cebolla	especia	hojas	cultivada
11. *Allium sativum* L.	Amaryllidaceae	ajo	medicinal	tallo	cultivada
12. *Annona cherimola* Mill.	Anacardiaceae	chirimoya	alimenticia y como bebida	fruto	cultivada
13. *Amphipterygium adstringens* (Schltdl.) Standl.	Anacardiaceae	cuachalalate	medicinal	la corteza	silvestre
14. *Mangifera indica* L.	Anacardiaceae	mango	alimenticia, artesanal, como bebida	fruto, tronco	cultivada
15. *Schinus molle* L.	Anacardiaceae	pirúl	medicinal, amuleto	hojas y tallos	silvestre
16. *Spondia mombin* L	Anacardiaceae	ciruela amarilla	alimenticia	fruto	silvestre y cultivada
17. *Spondia purpurea* L.	Anacardiaceae	ciruela huesuda	alimenticia	fruto	cultivada
18.*Coriandrum sativum* L.	Apiaceae	cilantro	especia	toda la planta	silvestre y cultivada
19. *Eryngium heterophyllum* Engelm.	Apiaceae	hierba del sapo	medicinal	toda la planta	silvestre
20. *Foeniculum vulgare* L.	Apiaceae	hinojo	medicinal	toda la planta	cultivada
21. *Petroselinum crispum* (Mill.) Nym.ex A.W.Hill	Apiaceae	perejil	amuleto, especia	hojas y tallo	cultivada
22. *Asclepias curassavica* L.	Apocynaceae	soldadillo	medicinal	látex de hojas	silvestre, arvense
23. *Asclepias glaucescens* Kunth	Apocynaceae	oreja de liebre	medicinal	látex de hojas	cultivada
24. *Xanthosoma robustum* Schott	Araceae	hoja elegante	medicinal, ornamental	hojas	cultivada
25. *Monstera deliciosa* Liebm.	Araceae	hoja de piñanona	ornamental	hojas	cultivada
26. *Brahea dulcis* (Kunth) Mart.	Aracaceae	palma	artesanal, material de construcción	hojas	cultivada

Nombre científico	Familia	Nombre Regional	Categorías Antropocéntricas	Parte usada	Grado de dependencia
27. *Yucca elephantipes* Regel	Asparagaceae	flor de izote	medicinal	hojas	cultivada
28. *Aloe barbadensis* Mill.	Asphodelaceae	zábila	medicinal, amuleto, cosmético, ornamental	hojas, toda la planta	cultivada
29. *Artemisia absinthium* L.	Asteraceae	ajenjo	medicinal	toda la planta	cultivada
30. *Bidens odorata* Cav.	Asteraceae	mozote	medicinal	Ramas con hojas y flores	silvestre, arvense y ruderal
31. *Calea scabra* (Lag.) B.L.Rob.	Asteraceae	prodigiosa	medicinal	hojas	silvestre
32. *Cosmos bipinnatus* Cav.	Asteraceae	flor de santa Teresa	ceremonial	flores	arvense y ruderal
33. *Heterotheca inuloides* Cass.	Asteraceae	árnica	medicinal	la parte aérea	silvestre y arvense
34. *Matricaria recutita* L.	Asteraceae	manzanilla	medicinal y como bebida	tallos, hojas y flores	cultivada
35. *Senecio praecox* (Cav.) D.C.	Asteraceae	pegahueso	medicinal	hojas ramas y corteza	silvestre
36. *Senecio salignus* D.C.	Asteraceae	jara, jarilla	medicinal	hojas y tallos	silvestre
37. *Tagetes lunata* Ort.	Asteraceae	matapiojo	medicinal, ceremonial	flores, toda la planta	silvestre, arvense y ruderal
38. *Tagetes filifolia* Lag.	Asteraceae	anisillo	medicinal	ramas y hojas	silvestre
39. *Tagetes erecta* L.	Asteraceae	cempasúchil	ceremonial, fitocolorante	flores	cultivada
40. *Tagetes lucida* Cav.	Asteraceae	pericón	medicinal, ceremonial, amuleto	tallos, hojas y flores	silvestre, arvense y ruderal
41. *Tanacetum parthenium* (L.) Sch. Bip.	Asteraceae	santa maría	medicinal	hojas y tallos	silvestre, arvense y ruderal
42. *Taraxacum officinale* F. H. Wigg.	Asteraceae	diente de león	medicinal	toda la planta	arvense y ruderal
43. *Verbesina crocata* (Cav.) Wess	Asteraceae	capitaneja	medicinal	flores y hojas	silvestre, ruderal
44. *Impatiens balfourii* Hook. f.	Balsaminaceae	balsaminas	ornamental	flores	cultivada
45. *Crescentia cujete* L.	Bignoniaceae	cuatecomate	artesanal	fruto	silvestre
46. *Jacaranda mimosifolia* D. Don.	Bignoniaceae	jacaranda	artesanal	tronco, ramas, fruto	cultivada
47. *Parmentiera edulis* D.C.	Biognoniaceae	cuajilote	medicinal	fruto, hojas, ramas	silvestre
48. *Borago officinalis* L.	Boraginaceae	borraja	medicinal, y como bebida	hojas, ramas y flores	cultivada
49. *Lepidium virginicum* L.	Brassicaceae	mexixi	medicinal, alimento para animales domésticos	frutos, toda la planta	arvense y ruderal
50. *Rorippa nasturtium-aquaticum* (L.) Schinz & Thell.	Brassicaceae	berro	alimenticia, medicinal	hojas y tallo	silvestre y cultivada
51. *Bursera bipinnata* (DC.) Engl.	Burseraceae	copal chino	medicinal,artersanal, ceremonial	corteza, resina	silvestre
52. *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.	Cactaceae	nopal	alimenticia, medicinal, cerca viva, fijador	tallo, muscílago, toda la planta	cultivada

Nombre científico	Familia	Nombre Regional	Categorías Antropocéntricas	Parte usada	Grado de dependencia
53. *Mammea americana* L.	Calophyllaceae	mamey	medicinal	cáscara	cultivada
54. *Gypsophila paniculata L.*	Caryophyllaceae	nube	ceremonial	toda la planta	cultivada
55. *Carica papaya* L.	Caricaceae	papaya	alimenticia	fruto	cultivada
56. *Commelina coelestis* Willd.	Commelinaceae	hierba del pollo	medicinal	toda la planta	silvestre, arvense y ruderal
57. *Zebrina pendula* Schnizl	Commelinaceae	sangre de cardenal	medicinal	hojas y tallos	cultivada
58. *Canna indica* L.	Cannaceae	platanillo	ornamental	hojas y flores	cultivada
59. *Cuscuta tinctoria* Mart.ex Engelm.	Convolvulaceae	sacapal	medicinal, fitocolorante	toda la planta	silvestre
60. *Ipomoea murocoides* Roem. & Schult	Convolvulaceae	cazahuate	medicinal	ramas con hojas, flor y látex	silvestre y arvense
61. *Ipomoea purpurea* (L.) Roth	Convolvulaceae	quiebra plato	ornamental	flores	silvestre, arvense y ruderal
62. *Cucurbita ficifolia* Bouché	Cucurbitaceae	chilacayote	alimenticia	fruto	cultivada
63. *Cucurbita pepo* L.	Cucurbitaceae	calabaza	alimenticia	fruto	cultivada
64. *Cucumis sativus* L.	Cucurbitaceae	pepino	alimenticia, cosmético	fruto	cultivada
65. Sechium edule (Jacq.) Sw.	Cucurbitaceae	chayote	alimenticia	fruto	cultivada
66. *Cyperus papyrus* L.	Cyperaceae	papiro estrella	ornamental	hojas	cultivada
67. *Diospyros dygina* Jacq.	Ebenaceae	zapote negro	alimenticia, medicinal, plaguicida	fruto	cultivada
68. *Arbutus xalapensis* H.B.K.	Ericaceae	madroño	construcción	tronco	silvestre
69. *Euphorbia pulcherrima* Willd. Ex Klotzsch	Euphorbiaceae	nochebuena	ceremonial, ornamental	toda la planta	cultivada
70. *Ricinus communis* L.	Euphorbiaceae	higuerilla	artesanal, medicinal, amuleto, cosmético	semillas	silvestre, arvense y ruderal
71. *Erythrina americana* Mill.	Fabaceae	zompantle, colorín	alimenticia, artesanal, amuleto, fitocolorante	flores, tronco, semillas o corteza	silvestre
72. *Eysenhardtia polystachya* (Ort.) Sarg.	Fabaceae	palo dulce	artesanal	ramas	silvestre
73. *Inga jinicuil* Schltdl.	Fabaceae	cajinicuil	alimenticia, medicinal	fruto y hojas	silvestre
74. *Leucaena esculenta* (Moc.et Sess.) Benth.	Fabaceae	guaje	alimenticia, artesanal, combustible	semillas y retoños o el tronco	silvestre
75. *Lysiloma acapulcensis* (Kunth) Bent.	Fabaceae	tepehuaje	artesanal, medicinal, material para construcción, combustible	corteza, tronco	silvestre
76. *Medicago sativa* L.	Fabaceae	alfalfa	como bebida; alimento para animales domésticos	toda la planta	cultivada
77. *Phaseolus vulgaris* L.	Fabaceae	frijol, frijol gordo	alimenticia, plaguicida	semilla, raíz	cultivada
78. *Pisum sativum* L.	Fabaceae	chícharo	alimenticia	semilla	cultivada
79. *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth.	Fabaceae	guamúchil	alimenticia, medicinal, para curtir	fruto, corteza	silvestre

Nombre científico	Familia	Nombre Regional	Categorías Antropocéntricas	Parte usada	Grado de dependencia
80. *Tamarindus indica* L.	Fabaceae	tamarindo	bebida	fruto	cultivada
81. *Vicia faba* L.	Fabaceae	haba	alimenticia	fruto	cultivada
82. *Agastache mexicana* (Kunth) Lint & Epling	Lamiaceae	toronjil	medicinal, bebida	hojas y flores	silvestre
83. *Ocimum basilicum* L.	Lamiaceae	albahacar	medicinal	hojas y tallos	cultivada
84. *Marrubium vulgare* L.	Lamiaceae	manrrubio	medicinal	raíz y hojas	cultivada
85. *Mentha piperita* L.	Lamiaceae	menta	medicinal	hojas	cultivada
86. *Mentha spicata* L.	Lamiaceae	hierbabuena	medicinal, especia	hojas y tallos	cultivada
87. *Rosmarinus officinalis* L.	Lamiaceae	romero	medicinal	hojas y tallos	cultivada
88. *Salvia hispanica* L.	Lamiaceae	chía	bebida	semillas	cultivada
89. *Vitex mollis* Kunth	Lamiaceae	coyotomate	medicinal, combustible	fruto tierno, tronco, retoño	cultivada
90. *Cinnamomum zeylanicum* Blume	Lauraceae	canela	cosmético, especia	fruto	cultivada
91.*Litsea glaucescens* Kunth	Lauraceae	hoja de laurel	medicinal	hojas	cultivada
92. *Persea americana* Mill.	Lauraceae	aguacate	alimenticia, artesanal, cerca viva, cosmético, combustible	fruto, tronco, toda la planta	silvestre y cultivada
93. *Punica granatum* L.	Lythraceae	granada	medicinal	cáscara del fruto	cultivada
94. *Anoda cristata* (L.) Schltdl.	Malvaceae	violeta de campo	medicinal	toda la planta	silvestre
95. *Bombax ellipticum* Kunth	Malvaceae	cabellito rojo	medicinal, ornamental	flores o toda la planta	silvestre
96. *Malva parviflora* L.	Malvaceae	malva	alimenticia, medicinal	hojas	arvense y ruderal
97. *Talauma mexicana* (DC.) G. Don	Magnoliaceae	flor de huevito	medicinal, ornamental	flores	silvestre y cultivada
98. *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth	Malpighiaceae	nanche	alimenticia, como bebida, medicinal	flor, fruto	cultivada
99. *Ficus carica* L.	Moraceae	higo	alimenticia, como bebida	fruto, hojas	cultivada
100. *Morus nigra* L.	Moraceae	mora	alimenticia, como bebida, herramientas	fruto, tronco	silvestre
101. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.	Myrtaceae	eucalipto	medicinal	hojas	cultivada
102. *Psidium guajava* L.	Myrtaceae	guayabo	alimenticia, medicinal, como bebida, artesanal, cosmético	frutos, hojas y ramas	cultivada
103. *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry	Myrtaceae	clavo	medicinal, especia	botones florales	cultivada
104. *Boungainvillea glabra* Chois.	Nyctaginaceae	bugambilia	medicinal, fitocolorante, ornamental, cerca viva	brácteas y flores o toda la planta	cultivada
105. *Fraxinus udhei* (Wenzing) Lingelsh.	Olaceae	fresno	medicinal, artesanal, ornamental	tronco o toda la planta	silvestre, cultivada

Nombre científico	Familia	Nombre Regional	Categorías Antropocéntricas	Parte usada	Grado de dependencia
106. *Fuchsia hybrida* hort. Ex Siebert & Voss	Onagraceae	aretillo	ornamental	flores	cultivada
107. *Oenotera rosea* L.	Onagraceae	hierba del golpe	medicinal	toda la planta	arvense y ruderal
108. *Castilleja arvensis* Cham. & Schltdl.	Orobanchaceae	hierba del pastor	medicinal	toda la planta se hierve con chocolate	silvestre
109. *Castilleja gracilis* Benth.	Orobanchaceae	calzoncillo del padre	medicinal	flores	silvestre
110. *Argemone mexicana* L.	Papaveraceae	chicalote	medicinal	látex	silvestre, arvense y ruderal
111. *Argemone ocholeuca* Sweet.	Papaveraceae	chicalote	medicinal	la parte aerea	silvestre
112. *Bocconia arborea* Wats.	Papaveraceae	palo colorado	medicinal, artesanal, cerca viva, fitocolorante, ornamental,	látex, tronco, corteza,	silvestre
113. *Pinus montezumae* Lamb.	Pinaceae	pino	medicinal, trueque	tronco, corteza	silvestre y cultivada
114. *Phytolacca icosandra* L.	Phytolaccaceae	yemolín	alimenticia, fitocolorante, jabones vegetales	hojas o frutos, frutos inmaduros	silvestre, arvense y ruderal
115. *Plantago major* L.	Plantaginaceae	lantel o llantén	medicinal	toda la planta	arvense y ruderal
116. *Arundo donax* L.	Poaceae	carrizo	medicinal, artesanal, material de construcción	rizoma, tallo	cultivada
117. *Avena sativa* L.	Poaceae	avena	cosmético, alimenticia	fruto	cultivada
118. *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf	Poaceae	té limón	bebida (té)	hojas	cultivada
119. *Sorghum bicolor* (L.) Moench.	Poaceae	sorgo	alimento para animales domésticos	toda la planta	cultivada
120. *Triticum aestivum* L.	Poaceae	trigo	alimenticia	semilla	cultivada
121. *Zea mays* L.	Poaceae	maíz	alimentícia, medicinal, abono verde, cerca viva	fruto, estigmas, toda la planta	cultivada
122. *Hordeum vulgare* L.	Poaceae	cebada	alimento para animales domésticos	toda la planta	cultivada
123. *Loeselia mexicana* (Lam.) Brand	Polemoniaceae	espinosilla	medicinal	hojas	silvestre
124. *Rumex acetosella* L.	Polygonaceae	lengua de vaca	alimenticia	hojas	arvense y ruderal
125. *Portulaca oleracea* L.	Portulacaceae	verdolaga	alimenticia	hojas y tallos	arvense y ruderal
126. *Cydonia oblonga* Mill.	Rosaceae	membrillo	medicinal	fruto	cultivada
127. *Crataegus pubescens* Steud.	Rosaceae	tejocote	alimentícia, como bebida, medicinal	fruto	silvestre y cultivada
128. *Eriobotrya 363limentí* (Thunb.) Lindl	Rosaceae	níspero	alimentícia, medicinal, herramientas	fruto, tronco	cultivada
129. *Fragaria vesca* L.	Rosaceae	fresa	alimentícia, cosmético	fruto	cultivada
130. *Malus sylvestris* Mill.	Rosaceae	manzana	alimenticia	fruto	cultivada
131. *Prunus persica* (L.) Batsch	Rosaceae	durazno	alimenticia, medicinal	fruto, hojas	cultivada
132. *Prunus serotina* Ehrh.	Rosaceae	capulin	alimenticia, medicinal, artesanal, fitocolorante	fruto, flores, tronco	silvestre y cultivada
133. *Pyracantha koidzumii* Rehd	Rosaceae	piracanto	medicinal	frutos	cultivada

Nombre científico	Familia	Nombre Regional	Categorías Antropocéntricas	Parte usada	Grado de dependencia
134. *Pyrus communis* L.	Rosaceae	pera	alimenticia	fruto	cultivada
135. *Rosa centifolia* L.	Rosaceae	rosa de castilla	medicinal	hojas y flor	silvestre y cultivada
136. *Rubus liebmannii* Focke	Rosaceae	zarzamora	alimenticia, como bebida	frutos	silvestre
137. *Coffea arabica* L.	Rubiaceae	café	bebida	semilla	cultivada
138. *Citrus aurantium* L.	Rutaceae	naranjo	alimentícia, bebida	fruto	cultivada
139. *Citrus limetta* Risso	Rutaceae	lima	alimentícia, medicinal	fruto	cultivada
140. *Citrus limon* (L.) Burm. F.	Rutaceae	limón	alimentícia, bebida, cosmético	fruto, jugo	cultivada
141. *Citrus nobilis* Lour.	Rutaceae	mandarina	alimenticia, medicinal	fruto, jugo	cultivada
142. *Ruta chalepensis* L.	Rutaceae	ruda	medicinal	hojas y tallos	cultivada
143. *Casimiroa edulis* La Llave	Rutaceae	zapote blanco	alimenticia, medicinal	fruto, hojas	silvestre y cultivada
144. *Populus alba* L.	Salicaceae	álamo blanco	medicinal	hojas	cultivada
145. *Salix bonplandiana* Kunth	Salicaceae	sauce	artesanal	ramas	silvestre
146. *Phoradendron brachystachyum* (DC.) Nutt.	Santalaceae	coachicle de guaje	medicinal	hojas	silvestre
147. *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.	Sapindaceae	chapulistle	medicinal, construcción	hojas y ramas	silvestre
148. *Buddleia cordata* H.B.K.	Scrophulariaceae	tepozán	medicinal	hojas	silvestre, arvense y ruderal
149. *Brugmansia candida* Pers.	Solanaceae	floripondio, florifundio	medicinal, ornamental	flores	cultivada
150. *Lycopersicum esculentum* Mill.	Solanaceae	jitomate	alimenticia	fruto	cultivada
151. *Nicotiana glauca* Graham	Solanaceae	buenamoza, tabaquillo	medicinal	hojas	silvestre, arvense y ruderal
152. *Physalis philadelphica* Lam.var. *philadelphica*	Solanaceae	tomate	alimenticia, medicinal	fruto	cultivada
153. *Capsicum annuum* L.	Solanaceae	chile verde, chile manzano	alimenticia	fruto	cultivada
154. *Taxodium mucronatum* Ten.	Taxodiaceae	ahuehuete	medicinal	ramas, hojas	silvestre
155. *Temstroemia pringlei* (Rose) Standley.	Theaceae	flor de tilia	medicinal	flores en té acompañado de la flor de huevito	silvestre
156. *Tropaeolum majus* L.	Tropaeolaceae	mastuerzo	cosmético, cerca viva, ornamental	flores, hojas o toda la planta	cultivada
157. *Urtica urens* L.	Urticaceae	chichicastle	medicinal	hojas	silvestre y arvense
158. *Lantana camara* L.	Verbenaceae	cinco negritos	bebida	fruto	silvestre y cultivada
159. *Lippia triphylla* Kuntze	Verbenaceae	cedrón	medicinal	hojas	silvestre
160. *Verbena carolina* L.	Verbenaceae	verbena	medicinal	hojas y fruto	silvestre
161. *Vitis tiliifolia* L.	Vitaceae	hojas de uva	medicinal	hojas y fruto	silvestre

Núm. 61: 00-00 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

LA AGROBIODIVERSIDAD DEL AGROECOSISTEMA TRASPATIO COMO ESTRATEGIA CONTRA LA POBREZA EXTREMA EN PLATÓN SÁNCHEZ, VERACRUZ, MÉXICO

AGROBIODIVERSITY IN THE BACKYARD AGROECOSYSTEM AS A STRATEGY AGAINST EXTREME POVERTY IN PLATON SANCHEZ, VERACRUZ, MEXICO

Purroy-Vásquez, R., G. Hernández-Salinas, J. Armida-Lozano, A. Llaguno-Aguiñaga, K.L. Silva-Martinez, N.F. Mateo-Díaz

LA AGROBIODIVERSIDAD DEL AGROECOSISTEMA TRASPATIO COMO ESTRATEGIA CONTRA LA POBREZA EXTREMA EN PLATÓN SÁNCHEZ, VERACRUZ, MÉXICO
AGROBIODIVERSITY IN THE BACKYARD AGROECOSYSTEM AS A STRATEGY AGAINST EXTREME POVERTY IN PLATON SANCHEZ, VERACRUZ, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 365-384 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.21

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Núm. 61: 365-384 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

La agrobiodiversidad del agroecosistema traspatio como estrategia contra la pobreza extrema en Platón Sánchez, Veracruz, México

Agrobiodiversity in the backyard agroecosystem as a strategy against extreme poverty in Platon Sanchez, Veracruz, Mexico

Rubén Purroy-Vásquez https://orcid.org/0000-0001-5639-6356
Gregorio Hernández-Salinas / gregorio_18_18@live.com.mx
https://orcid.org/0000-0001-7857-3624
Jorge Armida-Lozano https://orcid.org/0009-0004-9910-8747
Alejandro Llaguno-Aguiñaga https://orcid.org/0009-0006-3135-7194
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Km. 4 Carretera. a La Compañía S/N, Tepetitlanapa, CP. 95005 Zongolica, Veracruz, México

Karla Lissete Silva-Martínez https://orcid.org/0000-0002-2010-6123
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Desviación Lindero Tametate S/N, La Morita, CP. 92100 Tantoyuca, Veracruz, México

Nicolás Francisco Mateo-Díaz https://orcid.org/0000-0003-4799-6434
Departamento de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad del Caribe. Esquina Fraccionamiento, Tabachines, 77528 Cancún, Quintana Roo, México

Rubén Purroy-Vásquez, Gregorio Hernández-Salinas, Jorge Armida-Lozano, Alejandro Llaguno-Aguiñaga, Karla Lissete Silva-Martinez, Nicolás Francisco Mateo-Díaz

LA AGROBIODIVERSIDAD DEL AGROECOSISTEMA TRASPATIO COMO ESTRATEGIA CONTRA LA POBREZA EXTREMA EN PLATÓN SÁNCHEZ, VERACRUZ, MÉXICO

AGROBIODIVERSITY IN THE BACKYARD AGROECOSYSTEM AS A STRATEGY AGAINST EXTREME POVERTY IN PLATON SANCHEZ, VERACRUZ, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 365-384. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.21

RESUMEN: En México, la pobreza rural y la inseguridad alimentaria constituyen desafíos críticos, particularmente en comunidades marginadas. Los agroecosistemas de traspatio (AEST) emergen como una estrategia sostenible que integra biodiversidad, seguridad alimentaria y generación de ingresos. Este estudio evalúa la contribución de los AEST en la reducción de la pobreza extrema y su rol en la seguridad alimentaria en Platón Sánchez, Veracruz. Se emplearon entrevistas semiestructuradas y análisis estadísticos para documentar la biodiversidad, las prácticas de manejo y los beneficios económicos de los AEST, predominantemente gestionados por mujeres. Los hallazgos evidencian una alta biodiversidad de cultivos, animales y plantas medicinales, contribuyendo a la seguridad alimentaria y a los ingresos familiares. La biodiversidad en los AEST refuerza la autosuficiencia y la resiliencia frente a crisis económicas y climáticas. Además, potenciar el papel de las mujeres en estos sistemas puede transformar las dinámicas comunitarias. En conclusión, los agroecosistemas de traspatio son fundamentales para enfrentar la pobreza extrema y asegurar la sostenibilidad alimentaria. Se sugiere implementar políticas públicas que impulsen estos sistemas y promuevan la equidad de género, fortaleciendo así el tejido social y económico de las comunidades rurales.

Palabras clave: Autosuficiencia, Mujeres rurales, Gestión de recursos, Impacto económico.

ABSTRACT: Mexico, rural poverty and food insecurity represent critical challenges, particularly in marginalized communities. Home garden agroecosystems (AEST) emerge as a sustainable strategy that integrates biodiversity, food security, and income generation. This study evaluates the contribution of AEST to reducing extreme poverty and their role in food security in Platón Sánchez, Veracruz. Semi-structured interviews and statistical analyses were used to document biodiversity, management practices, and the economic benefits of AEST, which are predominantly managed by women. The findings reveal high biodiversity in crops, animals, and medicinal plants, contributing to food security and household income. The biodiversity in AEST enhances self-sufficiency

and resilience in the face of economic and climatic crises. Furthermore, strengthening the role of women in these systems could transform community dynamics. In conclusion, home garden agroecosystems are essential for addressing extreme poverty and ensuring food sustainability. It is recommended to implement public policies that support these systems and promote gender equity, thereby strengthening the social and economic fabric of rural communities.
Key words: Self-sufficiency, rural women, resource management, economic impact

INTRODUCCIÓN

México cuenta con una rica diversidad cultural y ambiental que se refleja en los distintos niveles de ruralidad y pobreza entre las poblaciones campesinas e indígenas. Esta diversidad no solo permea las características sociales y económicas, sino también las formas de producción agrícola. Los ejidos y comunidades presentan una heterogeneidad notable, tanto en las dimensiones de los espacios comunes y parcelas individuales como en la calidad de las tierras, que varían considerablemente (Nahmad-Sittón *et al*., 2009).

La pobreza en las zonas rurales de México y América Latina es el resultado de varios factores interrelacionados. Uno de los principales es la limitada oportunidad de ingresos derivados de un acceso insuficiente a mercados laborales y recursos productivos. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL (2024), más del 60% de la población rural en la región depende de actividades agrícolas de subsistencia, lo que los exponen a las fluctuaciones del clima y los precios de los productos. Además, la falta de infraestructura básica como educación, salud y transporte sigue siendo un reto significativo en las áreas rurales, afectando negativamente la capacidad de los habitantes para mejorar su bienestar (Martínez & Salazar, 2022). De igual manera, las políticas públicas que no logran atender las necesidades específicas del campo y la escasa inversión en el desarrollo rural intensifican las desigualdades regionales (Silva Medina, 2023). La combinación de estos factores, junto con la concentración de la riqueza y las dinámicas estructurales de exclusión, contribuye de forma directa a la perpetuación de la pobreza en estas zonas rurales.

En este contexto, el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) informó en 2020 que 9 de cada 10 municipios indígenas más del 60% de la población se encontraba en situación de pobreza, ubicándose la mayor concentración en las regiones que históricamente se han registrado los mayores niveles de rezagos como son: las entidades de Puebla, Chiapas, Yucatán, Guerrero y Veracruz que concentran el 44.8% de los municipios en situación de pobreza (Silva Medina, 2023); en este sentido el municipio Platón Sánchez que pertenece al estado de Veracruz, reportan que el 71.7% de la población vive en pobreza y el 21.7% presenta alguna vulnerabilidad, siendo uno de los municipios más marginados del estado; con un 25% de la población dedicada a actividades agrícolas, ganaderas, forestales, de caza y pesca, seguido por un 23% de trabajadores en actividades elementales y de apoyo (CONEVAL, 2022; INEGI, 2020).

La inseguridad alimentaria y la pobreza están estrechamente relacionadas, en este sentido la FAO define la pobreza alimentaria no solo como insuficiencia de ingresos, sino también considera factores como la ubicación geográfica, el nivel educativo, la ocupación del jefe de familia y el tamaño del hogar (FAO, 2000). En los años 90, el Banco Mundial conceptualizó la pobreza como la incapacidad de alcanzar un nivel de vida mínimo en servicios de salud, agua potable y educación (Banco Mundial, 1990). Por su parte, la CEPAL distingue dos tipos de pobreza: "extrema" o "indigencia", que implica la falta de recursos para satisfacer las necesidades alimentarias básicas; y "total", que se refiere a ingresos inferiores al valor de una canasta básica de bienes y servicios alimentarios y no alimentarios (CEPAL, 2018). Según el CONEVAL, una persona se encuentra en situación de pobreza cuando presenta al menos una carencia social y sus ingresos son insuficientes para satisfacer sus necesidades alimentarias y no alimentarias (CONEVAL, 2020).

La FAO señala que erradicar la pobreza es crucial para mejorar el acceso a los alimentos. Sin embargo, factores como los conflictos, la corrupción, el terrorismo y la degradación ambiental

contribuyen significativamente a este fenómeno. Además, la inseguridad alimentaria puede ser transitoria (durante crisis), estacional o crónica (persistente) (FAO, 1996; FAO, 2022).

En zonas rurales el autoconsumo alimentario desempeña un papel fundamental para la seguridad alimentaria de las familias campesinas, que dependen de la diversidad de especies cultivadas o criadas en el traspatio (Cruz-Bautista *et al*., 2019). Los agroecosistemas tradicionales, como la milpa, el huerto familiar o solar albergan gran agrobiodiversidad proporcionando más del 80 % de satisfactores; su permanencia y reproducción están ligados a los saberes y practicas tradicionales de las familias campesinas (Cahuich-Campos *et al*., 2014; Leyva-Trinidad *et al*., 2020).

En esta investigación nos enfocaremos al traspatio, el cual se considera un agroecosistema complejo, compuesto por elementos vegetales y pecuarios que interactúan de manera integral a través del manejo de los agricultores. Diversos autores señalan que uno de los elementos culturales de mayor permanencia entre los mayas yucatecos es el huerto familiar o traspatio, definido como un espacio menor a 2,500 m², ubicado junto a la vivienda y delimitado generalmente con cercas de piedra. En este espacio se cultivan diversas especies vegetales entre 57 y 75 especies, principalmente de uso alimenticio, se crían animales domésticos de manera permanente o temporal, y además constituye un lugar al que algunos animales silvestres acuden de forma esporádica (Mariaca *et al.*, 2011; Mariaca, 2012). Este sistema, además de proveer alimentos para el autoconsumo, reduce la necesidad de adquirir productos externos y genera ingresos a través de la venta de excedentes, contribuyendo al ahorro familiar. Además, su gestión impacta positivamente en la sostenibilidad ambiental, al aprovechar subproductos como fertilizantes orgánicos o alimentos para animales (López *et al*., 2013; Olvera-Hernández, 2017; Bobadilla-Soto *et al*., 2022).

En este sentido, la agrobiodiversidad inherente a los agroecosistemas de traspatio permite a las familias rurales acceder tanto a productos de origen animal como vegetal, mejorando así su seguridad alimentaria (Cruz-Bautista *et al*., 2019; Martínez Valdés *et al*., 2023). Un ejemplo lo podemos observar en comunidades Mayas, donde esa agrobiodiversidad constituye un componente esencial en el aprovechamiento de recursos, apoyado por saberes tradicionales (Cahuich-Campos *et al*., 2014; Ubiergo-Corvalán *et al*., 2020). Resulta fundamental destacar el papel que desempeñan los agroecosistemas de traspatio en la seguridad alimentaria de las familias campesinas, dado que su conservación en condiciones óptimas garantiza la disponibilidad y diversidad de alimentos. No obstante, en numerosos territorios estos espacios han experimentado un proceso de reducción o desaparición, al ser desplazados por sistemas agrícolas de carácter industrial, como ocurre con el cultivo extensivo de caña de azúcar. Este fenómeno refleja una dinámica de sustitución en la que la agricultura campesina es absorbida por la agricultura empresarial, lo cual tiende a disminuir el aporte global en términos de producción y valor agregado (Van Der Ploeg, 2010).

La realización de esta investigación tiene como objetivo: evaluar el aporte de la agrobiodiversidad del agroecosistema de traspatio para lograr la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza extrema en seis comunidades rurales del municipio de Platón Sánchez, Veracruz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El estudio se llevó a cabo en seis comunidades del municipio de Platón Sánchez, en el estado de Veracruz, México: Amoxoyahuatl, Monte Grande, El Sauzal, La Crinolina, La Palma y Zacatianguis. El municipio está situado entre los paralelos 21° 11' y 21° 25' de latitud norte y los meridianos 98° 15' y 98° 30' de longitud oeste, con una altitud que varía entre los 20 y 200 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con los municipios de Tempoal y Tantoyuca; al este con los municipios de Tantoyuca y Chalma; al sur con el municipio de Chalma y el estado de Hidalgo; y al oeste con los municipios de Chalma y Chiconamel, también en el estado de Hidalgo (Figura 1).

Núm. 61: 365-384 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

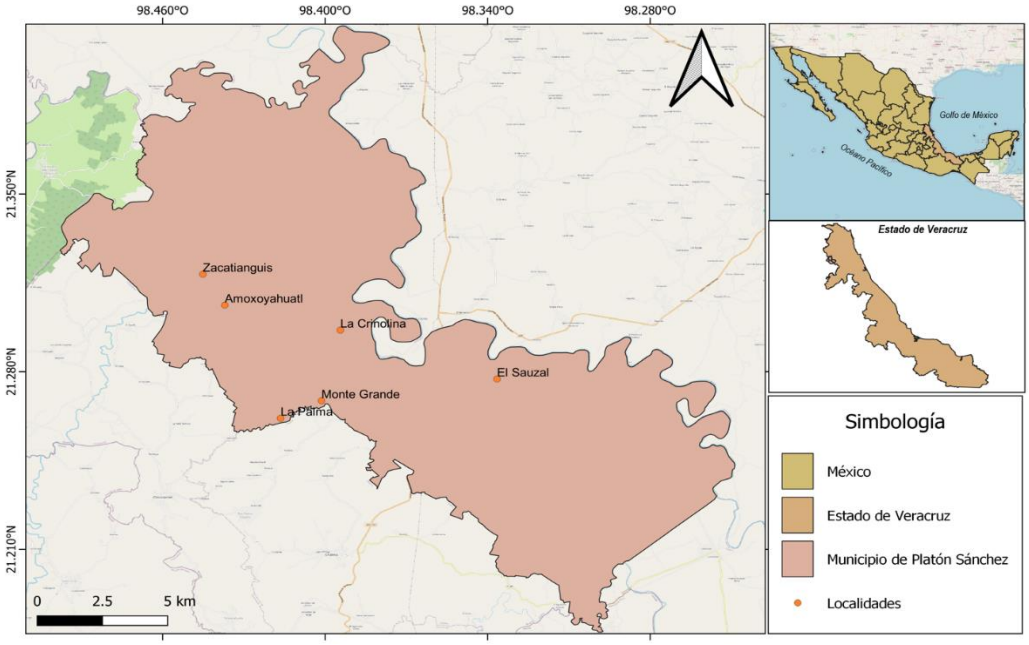


Figura 1. Mapa del municipio de Platón Sánchez, Veracruz, donde se localiza el agroecosistema traspatio familiar.
Figure 1. Map of the municipality of Platon Sanchez, Veracruz, where the family backyard agroecosystem is located.

El municipio presenta una clasificación climática basada en el sistema de Köppen modificado por García, distribuida en tres categorías: clima cálido subhúmedo con lluvias estivales (tipo Aw2), caracterizado por una humedad relativa promedio del 54%; clima cálido subhúmedo con precipitaciones concentradas en verano (tipo Aw1), asociado a una humedad relativa media del 45%; y clima cálido húmedo con régimen pluviométrico intensivo en la estación estival (tipo Aw0). La temperatura media anual registra un rango termométrico de 22 a 26 °C, con variaciones intraestacionales mínimas (García E., 2004). En relación al ecosistema predominante es el bosque alto o mediano perennifolio, pero también se encuentran áreas de pastizal y vegetación asociada a la agricultura, como huertos y parches de caña (INEGI, 2010).

Selección y tamaño de la muestra

Las unidades de estudio fueron los Agroecosistemas Traspatio (AEST). Para la selección de las comunidades, se establecieron criterios relacionados con la representatividad del municipio de Platón Sánchez: a) cercanía geográfica que facilitara el acceso al área de estudio y el trabajo de campo, b) predominancia de un contexto rural con fuerte dependencia de actividades agropecuarias, y c) número considerable de AEST en cada comunidad, lo que permitió contar con suficiente variabilidad de información. Con base en estos criterios, se eligieron seis comunidades. Del total de AEST registrados en las comunidades seleccionadas (N = 380), se determinó el tamaño de muestra mediante la fórmula para poblaciones finitas (Scheaffer *et al*., 1987).

$$n = \frac{N.Z^2x\,.\;p\,.q}{(N-1)\,.E^2 + Z^2.p.q}$$

Donde:
n = tamaño de la muestra
N = tamaño de la población (380)
Z = valor correspondiente al nivel de confianza (1.96 para 95%)
p = probabilidad de ocurrencia (0.5)

q = 1 – p
E = margen de error (0.05)

El cálculo resultó en una muestra de 190 AEST. El muestreo fue estratificado (Scheaffer *et al*., 1987), y se aplicó una entrevista para obtener datos generales del propietario de cada AEST (Figura 2). El instrumento consistió en una guía de preguntas abiertas con 20 ítems relacionados con aspectos generales y socioeconómicos, previamente validada (Casas Anguita *et al*., 2003). Para la identificación de especies animales y vegetales presentes en los AEST, se elaboró un listado *in situ* en colaboración con el encargado del traspatio.



Figura 2. Imágenes representativas de las entrevistas a propietarios de agroecosistemas traspatio.
Figure 2. Representative images of the interviews with backyard agroecosystem owners.

Variables analizadas

Datos generales
Se recopilaron datos generales de los propietarios de AEST, como: género, edad, nivel de estudios, experiencia en el manejo del traspatio, horas-hombre dedicadas al traspatio y tamaño del AEST.

Ingreso aportado por el AEST
Dentro del AEST, se identificaron las especies presentes y se agruparon según su utilidad: frutales, medicinales y ornamentales para las especies vegetales; y aves de corral (gallinas y guajolotes), cerdos y rumiantes (ovinos y bovinos) para las especies animales. Posteriormente se procedió a determinar el ingreso por venta y/o autoconsumo de los productos obtenidos en el traspatio de manera mensual.
Para calcular el porcentaje de cobertura de la línea de pobreza extrema por ingresos (canasta alimentaria), se tomó en cuenta el valor reportado por el CONEVAL de la línea de pobreza para marzo del 2023, con ello se determina el porcentaje que las familias campesinas cubren las necesidades de los hogares obtenidos de los ingresos generados en el traspatio. Para lo cual se utiliza la fórmula:

$$\text{Pclin}=\left(\frac{\text{Ingreso total traspatio}}{\text{Valor de la linea de pobreza extrema por ingreso}}\right) \text{x } 100$$

Biodiversidad
Para la biodiversidad se utilizó el índice de Shannon-Wiener (H') (1949) que mide la diversidad de especies en el AEST, expresando la uniformidad en la distribución de las especies presentes.

Se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$H' = -\Sigma(pi \ln pi)$$

Dónde pi es la proporción de individuos de la i-esima especie = ni /N.

Tabla 1. Variables consideradas para la tipificación del AEST en Platón Sánchez, Veracruz.
Table 1. Variables considered for the typification of AEST in Platon Sanchez, Veracruz.

Variable	Unidad de medida	Comentarios
Subsistemas agropecuarios	Especies	Vegetales: Frutales, ornamentales, medicinales; Animales: Aves, borregos, cerdos y bovinos.
Edad del encargado del AESP	Años	Años del encargado del agroecosistema.
Nivel de estudio	Años	Nivel de estudios cursados.
Leer	(NA*)	Respuesta: sí o no.
Experiencia en el campo	Años	Años dedicados a actividades productivas.
Horas hombre utilizadas en el traspatio	Horas	Tiempo dedicado al mantenimiento y cuidado del traspatio.
Tamaño del traspatio	m²	Área dedicada al traspatio, entendida como el espacio adyacente a la casa utilizado para la producción de especies agrícolas y pecuarias.
Ingreso por componente vegetal	M.N*.	Ingreso percibido por la venta de productos del subsistema agrícola.
Ingreso por componente pecuario	M.N*.	Ingreso percibido por la venta de productos del subsistema pecuario.
Porcentaje de cobertura de la línea de pobreza extrema por ingresos (canasta alimentaria)	%	Representa el porcentaje del costo de un conjunto de bienes y servicios adquiridos por la población mexicana.
Porcentaje de autoconsumo	%	Calculado como el porcentaje de producción destinada al consumo familiar, restando lo destinado a comercialización, donación o pérdida (Leite, 2004; Gallardo López *et al.*, 2002).
Diversidad de especies	(NA*)	Medida por el índice de Shannon-Wiener (H'), que evalúa la diversidad y riqueza de especies en un hábitat.

*M.N. (moneda nacional), *N.A. (no aplica)

Análisis estadístico

Para determinar las características de los AEST, se elaboró una matriz de datos con las siguientes variables: experiencia en el campo, horas hombre utilizadas en el traspatio, tamaño del traspatio, ingreso por venta de productos generados por el componente vegetal, ingreso por venta de productos generados por el componente pecuario, porcentaje de cobertura de la línea de pobreza extrema por ingresos (canasta alimentaria), porcentaje de autoconsumo de productos generados tanto por el componente pecuario como vegetal, e índice de Shannon de especies (ornamentales, frutales, medicinales, leguminosas, aves de corral y mamíferos domésticos). Se realizó un análisis de estadística descriptiva y cálculo de percentiles. Para identificar la distribución de los datos, se

aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, que indicó que la distribución de los datos no seguía una distribución normal. Por lo tanto, para evaluar las diferencias entre los valores de las variables analizadas en los AESP de las localidades estudiadas, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. Se empleó el estadístico Chi-cuadrada para analizar la asociación entre las variables género, lectura y nivel de estudios (Salvador, 2020), y se emplearon tablas de contingencia para entender mejor la relación entre las variables de localidad, lectura y nivel educativo (Acevedo-Osorio *et al.*, 2020). El análisis se realizó utilizando el programa estadístico IBM® SPSS® Statistics 25.0.

RESULTADOS

Generalidades de los AEST

De las 190 personas encuestadas para la caracterización de los agroecosistemas de traspatio (AEST), se identificaron las siguientes tendencias: en cuanto al género, 106 mujeres (55.8%) y 84 hombres (44.2%) fueron responsables de los AEST. Del total de mujeres encuestadas, el 33.7% se distribuyen en las comunidades de La Palma, La Crinolina, El Sauzal y Monte Grande, representando el 42.6% del total. Monte Grande destacó con el mayor número de mujeres responsables de los AEST (Tabla 2). Por otro lado, la mayor participación masculina se registró en Zacatianguis, La Crinolina y Amoxoyahuatl (26.8%).

Tabla 2. Contingencia de género de los encuestados por comunidad.
Table 2. Gender contingency of respondents by community.

			Comunidad						
			Zacatianguis	**La Palma**	**La Crinolina**	**El Sauzal**	**Monte Grande**	**Amoxoyahuatl**	**Total**
Género	**Hombre**	Recuento	17_{a}	$11_{a, b}$	$16_{a, b}$	$11_{a, b}$	11_{b}	18_{a}	84
		% dentro de Género	20.2	13.1	19	13.1	13.1	21.4	100
		% dentro de comunidad	56.7	36.7	48.5	36.7	29.7	60	44.2
		% del total	8.9	5.8	8.4	5.8	5.8	9.5	44.2
	Mujer	Recuento	13_{a}	$19_{a, b}$	$17_{a, b}$	$19_{a, b}$	26_{b}	12_{a}	106
		% dentro de Género	12.3	17.9	16	17.9	24.5	11.3	100
		% dentro de comunidad	43.3	63.3	51.5	63.3	70.3	40	55.8
		% del total	6.8	10	8.9	10	13.7	6.3	55.8
Total		Recuento	30	30	33	30	37	30	190
		% dentro de Género	15.8	15.8	17.4	15.8	19.5	15.8	100
		% dentro de comunidad	100	100	100	100	100	100	100
		% del total	15.8	15.8	17.4	15.8	19.5	15.8	100

Cada letra del subíndice denota un subconjunto de comunidad categorías cuyas proporciones de columna no difieren de forma significativa entre sí en el nivel ($P \leq 0.05$).

Estos datos evidencian una marcada participación de las mujeres en la gestión de los AEST, especialmente en ciertas comunidades como Monte Grande, donde destacan como actores clave. Por su parte, la distribución de responsabilidades masculinas muestra una asociación relevante con localidades específicas, sugiriendo posibles variaciones en las dinámicas socioeconómicas y culturales entre comunidades.

En cuanto al nivel educativo, el 61.6% de los encuestados (117 personas) concluyó la educación primaria, mostrando diferencias significativas entre comunidades. Un 23.2% (44 personas) alcanzó la secundaria, mientras que sólo una persona (0.5%) cuenta con estudios de licenciatura, en la comunidad de La Palma. La prueba Chi-cuadrado indicó una asociación significativa entre nivel educativo y género ($p = 0.027$). Además, el 91.1% de los participantes (173 personas) reportaron saber leer; mientras que, 17 individuos carecen de esta habilidad. Las mayores proporciones de alfabetización se encontraron en La Crinolina, Zacatianguis y La Palma, con diferencias estadísticas entre comunidades ($p = 0.001$) y una relación significativa entre alfabetización y género (Tabla 3).

Tabla 3. Asociación entre la variable comunidad y la condición de alfabetización (saber leer).
Table 3. Association between community and literacy status (ability to read).

			Comunidad					
		Zacatianguis	La Palma	La Crinolina	El Sauzal	Monte grande	Amoxoyahuatl	Total
Sabe leer	Sí	Recuento	29_a	29_a	32_a	$27_{a, b}$	28_b	$28_{a, b}$	173
		% dentro de Leer	16.8	16.8	18.5	15.6	16.2	16.2	100
		% dentro de comunidad	96.7	96.7	97	90	75.7	93.3	91.1
		% del total	15.3	15.3	16.8	14.2	14.7	14.7	91.1
	No	Recuento	1_a	1_a	1_a	$3_{a, b}$	9_b	$2_{a, b}$	17
		% dentro de Leer	5.9	5.9	5.9	17.6	52.9	11.8	100
		% dentro de comunidad	3.3	3.3	3	10	24.3	6.7	8.9
		% del total	0.5	0.5	0.5	1.6	4.7	1.1	8.9
Total		Recuento	30	30	33	30	37	30	190
		% dentro de Leer	15.8	15.8	17.4	15.8	19.5	15.8	100
		% dentro de comunidad	100	100	100	100	100	100	100
		% del total	15.8	15.8	17.4	15.8	19.5	15.8	100

Cada letra del subíndice denota un subconjunto de comunidad categorías cuyas proporciones de columna no difieren de forma significativa entre sí en el nivel ($P \leq 0.05$).

La predominancia del nivel educativo básico (primaria) refleja limitaciones en el acceso a la educación superior dentro de estas comunidades rurales. La asociación entre alfabetización y género podría implicar que las barreras culturales y de acceso afectan diferencialmente a hombres y mujeres.

Respecto a la edad, la media fue de 53 años en hombres y 47 años en mujeres. Las diferencias significativas detectadas entre comunidades mediante la prueba de Kruskal-Wallis ($p < 0.05$) indican que la mayoría de los encargados de AEST en Amoxoyahuatl tienen una edad promedio

más alta (54.5 años), mientras que, comunidades como El Sauzal, La Palma y La Crinolina registraron promedios más bajos (Tabla 4).

Tabla 4. Comportamiento de variables socioeconómicas por comunidad estudiada.
Table 4. Socioeconomic variables behavior across the studied communities.

Variables	Zacatianguis	La Palma	La Crinolina	El Sauzal	Monte Grande	Amoxoyahuatl	P
Edad	48 (38.00-60.00)	43 (37.50-52.00)	45 (37.50-56.00)	40.5 (38.75-50.00)	45 (35.00-53.75)	54.5 (44.25-68.25)	0.001***
Experiencia	20 (0.00-40.00)	10 (0.00-16.50)	15 (9.00-30.00)	10 (0.00-20.00)	5 (0.00-10.00)	27.5 (5.25-40.00)	0.028**
Tiempo traspatio	10 (0.00-21.25)	6.5 (0.00-10.00)	15 (6.50-30.00)	10 (0.00-20.00)	5 (0.00-10.00)	30 (5.25-41.25)	0.006***
Tamaño traspatio	120 (100.00-158.00)	120 (100.00-150.00)	120 (80.0-150.00)	362 (206.25-410.25)	212.5 (195.00-262.50)	212.5 (160.00-250.00)	0.000***
Ingreso externo	1225 (650.00-1625.00)	1200 (850.00-1600.00)	1450 (1100.00-1675.00)	1050 (887.50-1200.00	0.00(0.00-1250.00)	1150 (975.00-1500.00)	0.000***
ingreso traspatio+vegetal	0.00 (0.00-21.25)	0.00 (0.00-102.5)	0.00 (0.00-87.5)	0.00 (0.00-145)	0.00 (0.00-192.5)	0.00 (0.00-10.5)	0.326 ns
ingreso traspatio+ganado	100 (0.00-322.50)	247.5 (75.00-453.00)	150 (0.00-400.00)	100 (0.00-567.25)	200 (100.00-758.75)	265 (100.00-562.50)	0.093 ns
% cobertura Alimento	7.38 (0.00-30.04)	23.81 (4.52-33.08)	15.07 (0.00-28.63)	13.75 (0.00-36.00)	12.21 (6.03-45.74)	16.58 (7.69-41.03)	0.371 ns
% Autoconsumo	60 (50.00-100.00)	45 (0.00-85.00)	50 (40.00-100.00)	40 (0.00-100.00)	40 (0.00-60.00)	35 (0.00-50.00)	0.033**

***Altamente significativo al (P<0.001); significativo al (P<0.05); ns: No significativo

La edad promedio de los encargados sugiere que los AEST están predominantemente agenciados por individuos en etapa de adultez intermedia, lo que podría incidir en la sostenibilidad futura de estos sistemas agropecuarios, considerando los potenciales retos asociados al relevo generacional.

En relación con los años de experiencia y el tiempo dedicado al cuidado del traspatio, Amoxoyahuatl presentó los valores más altos, con una mediana de 27.5 años de experiencia y 30 minutos diarios dedicados al traspatio. Zacatianguis le siguió con 20 años de experiencia, en tanto que La Crinolina destacó con 15 minutos diarios. Ambas variables mostraron diferencias significativas ($p < 0.001$). El tamaño del traspatio también varió significativamente entre comunidades, con El Sauzal registrando el área más grande (362 m²), seguido por Monte Grande y Amoxoyahuatl (Tabla 4).

Las diferencias en tiempo dedicado y tamaño de los traspatios pueden estar vinculadas a las necesidades familiares, disponibilidad de recursos y presión sobre el uso del suelo, afectando la productividad y diversidad de estos sistemas.

Aspecto económico del AEST familiar

Se encontraron diferencias estadísticas significativas en los ingresos externos entre comunidades ($p < 0.001$). La Crinolina registró el ingreso externo más alto, con una mediana de $1450 MN, mientras que, Monte Grande reportó los valores más bajos con una mediana de $1250 MN. En cuanto a los ingresos generados en el agroecosistema traspatio a través de los componentes

vegetal y pecuario, no se identificaron diferencias significativas, sin embargo, ingresos generados por los componentes pecuarios tiene hacer superiores. Amoxoyahuatl destacó con el ingreso pecuario más alto ($265-$562.50 MN).

Los ingresos externos y pecuarios son indicadores clave de la diversificación económica en los AEST. La menor generación de ingresos en algunos componentes podría reflejar limitaciones en la gestión de recursos o mercados.

En cuanto al porcentaje de cobertura de la línea de pobreza extrema por ingresos, no se encontraron diferencias significativas entre comunidades. La Palma tuvo el valor más alto (23.81%), mientras que Zacatianguis registró el menor (7.38%) (Tabla 4). El porcentaje de autoconsumo fue significativamente mayor en Zacatianguis ($p < 0.05$), alcanzando hasta un 60%, con diferencias significativas respecto a otras comunidades como Amoxoyahuatl y La Palma.

El mayor autoconsumo en Zacatianguis sugiere un enfoque más orientado a la subsistencia, en contraste con comunidades donde los AEST generan ingresos más altos. Esto podría influir en la seguridad alimentaria de las familias.

Biodiversidad de los AEST

El índice de Shannon-Wiener reveló diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la diversidad de plantas medicinales, con valores más bajos en Zacatianguis y La Crinolina. La Palma tuvo el índice más bajo para plantas ornamentales, en tanto que, Amoxoyahuatl registró los valores más altos para frutales. En plantas leguminosas no hubo diferencias significativas; sin embargo, los valores fueron consistentemente altos en todas las comunidades.

Respecto a la diversidad pecuaria, el índice fue mayor para aves de corral, destacando La Palma, Zacatianguis, La Crinolina y Amoxoyahuatl. En contraste, El Sauzal y Monte Grande presentaron valores más bajos. Para mamíferos domésticos, aunque los valores generales fueron bajos, se encontraron diferencias significativas entre comunidades (Tabla 5).

Tabla 5. Variación del índice de diversidad Shannon-Wiener en seis localidades de Platón Sánchez, Veracruz.
Table 5. Variation of the Shannon-Wiener diversity index in six localities of Platon Sanchez, Veracruz.

Variables	Zacatianguis	La Palma	Crinolina	El Sauzal	Monte Grande	Amoxoyahuatl	P
Indic_Shann_medic	0.27 (0.22-0.31)	0.35 (0.20-0.44)	0.28 (0.10-0.34)	0.31 (0.52-0.39)	0.33 (0.20-0-38)	0.33 (0.29-0.41)	0.013**
ind_Shann_ornamentales	0.28 (0.16-0.52)	0.6 (0.26-1.65)	0.28 (0.10-0,65)	0.28 (0.17-0.58)	0.23 (0.10-0.40)	0.3 0.12-0.48)	0.017**
Inc-Shann-frutales	0.73 (0.56-1.03)	0.73 (0.33-1.14))	1 (0.50-1.56)	0.89 (0.22-1.40)	0.89 (0.56-1.96)	1 (0.78-1.78)	0.047**
ind_Shann_ leguminosas	0.67 (0.56-1.00)	0.67 (0.44-1.03)	0.67 (0.44-1.00)	0.78 (0.54-1.14)	0.67 (0.44-1.31)	0.78 (0.56-1.33)	0.782NS
Indc_Shann_aves	2.42 (0.17-4.67)	2.94 (0.32-6.36)	2.07 (0.32-6.36)	0.73 (0.00-2.07)	0.76 (0.00-2.61)	1.74 (0.50-2.59)	0.001***
Indic_Shann_ mamif	0.00 (0.00-0.00)	0.00 (0.00-1.59)	0.00 (0.00-1.35)	0.00 (0.00-0.00)	0.00 (0.00-0.925)	0.00 (0.00-0.278)	0.037**

***Altamente significativo al (P<0,001); significativo al (P<0,05); ns: No significativo

La biodiversidad media refleja variaciones en las estrategias de manejo de los AEST, influenciadas por factores socioeconómicos y culturales. Esto subraya la importancia de conservar y potenciar especies adaptadas localmente como un mecanismo para mejorar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas productivos.

DISCUSIÓN

Generalidades de los AEST

Los resultados obtenidos en la caracterización de los agroecosistemas de traspatio (AEST) evidencian una marcada participación de las mujeres en la gestión de estos sistemas, con un

55.8% de representación frente al 44.2% de los hombres. Esta tendencia coincide con estudios previos que resaltan el papel de la mujer en la agricultura de traspatio, donde suelen desempeñar funciones clave en la producción de alimentos, la gestión de recursos y la preservación del conocimiento agroecológico (López *et al*., 2013; Maldonado & García, 2023). En particular, la concentración de mujeres responsables en comunidades como Monte Grande sugiere una dinámica sociocultural en la que la organización familiar y el acceso a recursos pueden influir en la distribución del trabajo agropecuario, esta situación refleja una problemática estructural de desigualdad de género, donde los roles tradicionales asignados a las mujeres las colocan en desventaja en términos de oportunidades laborales y económicas (Coronado-García *et al*., 2023). El nivel educativo predominante en los encuestados fue la educación primaria (61.6%), con una baja representación de estudios superiores. Este hallazgo es consistente con investigaciones que documentan las limitaciones en el acceso a la educación en comunidades rurales, lo que restringe oportunidades de desarrollo y tecnologización de la producción agropecuaria (Pérez Postigo *et al.*, 2020). La relación significativa entre alfabetización y género ($p = 0.001$) refuerza la idea de que las desigualdades de acceso a la educación afectan de manera diferenciada a hombres y mujeres, lo que podría tener implicaciones en la toma de decisiones y el acceso a información agrícola técnica (Hernández, 2024).

En cuanto a la edad de los responsables de los AEST, se registró una media de 53 años en hombres y 47 años en mujeres, lo que evidencia que estos sistemas son gestionados principalmente por productores de mediana edad. La literatura especializada ha documentado que el envejecimiento de la población rural constituye un desafío estructural para la sostenibilidad de los agroecosistemas, dado que la migración de jóvenes hacia centros urbanos en busca de oportunidades educativas y laborales genera un déficit en el relevo generacional (Soto *et al*., 2019). Esta dinámica se asocia con la fragmentación progresiva de la tierra y con el retraso en la transmisión intergeneracional de las unidades de producción, lo que mantiene al sector agrícola mexicano en una situación en la que la responsabilidad productiva recae principalmente en grupos etarios de mayor edad. De manera complementaria, la variabilidad en la edad promedio entre comunidades podría relacionarse con factores como la estabilidad demográfica y la disponibilidad de oportunidades económicas locales (Casanova-Pérez *et al*., 2023). En el presente estudio, se destacó la comunidad de Amoxoyahuatl, en la que se registró la edad promedio más elevada (54.5 años).

Los años de experiencia en la gestión de los AEST y el tiempo diario destinado a su mantenimiento evidenciaron diferencias estadísticamente significativas ($p<0.001$), destacando la comunidad de Amoxoyahuatl con los valores más elevados (27.5 años de experiencia y 30 minutos diarios de dedicación). Estos resultados coinciden con investigaciones que subrayan el papel fundamental del conocimiento empírico en la sostenibilidad de los AEST, dado que la tecnología agrícola tradicional es producto de la acumulación histórica de prácticas y saberes en el manejo, aprovechamiento y selección de etnorecursos bajo procesos de domesticación continúa, siendo un componente central para el manejo eficiente de los agroecosistemas de traspatio (Cuevas *et al*., 2019). No obstante, la disminución en el tiempo de dedicación registrada en comunidades como La Crinolina (15 minutos diarios) podría estar asociada a que la responsabilidad de los traspatios recae principalmente en mujeres. Según, Román Montes de Oca *et al*. (2024) indican que los AEST son unidades productivas que se asocian predominantemente con las actividades del rol femenino, debido a su proximidad al núcleo habitacional.

Estudios previos han demostrado que la extensión del traspatio ejerce una influencia directa sobre la diversidad de cultivos y de especies animales presentes, lo que repercute en la seguridad alimentaria y en la resiliencia de estos agroecosistemas. En este sentido, Jiménez *et al*. (2019) señalan que la diversidad faunística en los agroecosistemas familiares está determinada principalmente por el tamaño del predio, así como por la edad, nivel educativo de la jefa de familia y los procesos migratorios asociados.

Nivel educativo

La predominancia del nivel educativo básico (primaria) en las comunidades rurales, particularmente en mujeres, indica que las barreras culturales y de acceso a la educación superior

siguen siendo un desafío significativo. La falta de acceso a la educación avanzada afecta tanto a la capacidad de los encargados para adoptar nuevas tecnologías y prácticas agroecológicas como a su empoderamiento social. De hecho, algunos estudios han señalado que un enfoque integral y cooperativo, fundamentado en políticas públicas específicas, una educación apropiada y la integración de tecnología, constituyen elementos esenciales para fomentar el desarrollo rural y lograr un futuro próspero en las áreas rurales (Guerra & Rojas, 2011). La correlación observada entre el nivel educativo y el género podría reflejar la desigualdad de oportunidades entre hombres y mujeres en términos de acceso a la educación, algunos autores indican que aún persisten desigualdades de género dentro de las familias que generan mayores limitaciones para la movilidad de las mujeres. Estas restricciones, sumadas a la mayor carga de trabajo en labores de cuidado y tareas domésticas, representan obstáculos significativos para una mayor participación femenina en el mercado laboral. Además, contribuyen a que las mujeres enfrenten condiciones laborales y salariales más desfavorables, así como menores oportunidades en cuanto a la propiedad de bienes (Guerra & Rojas, 2011). Esta situación resalta la importancia de abordar las barreras educativas de género, promoviendo programas de alfabetización y educación que faciliten la capacitación agrícola tanto de los hombres como de las mujeres en las comunidades rurales.

Edad de la persona entrevistada

El análisis etario evidencia una diferencia significativa entre hombres y mujeres responsables de los AEST. En promedio, los hombres registran 53 años de edad, mientras que las mujeres alcanzan 47 años. Esta brecha podría explicarse por la persistencia de roles tradicionales de género en las comunidades rurales, donde las mujeres suelen desempeñarse principalmente en actividades domésticas y de apoyo, mientras que los hombres asumen con mayor frecuencia la gestión directa del agroecosistema. Este patrón etario reviste especial importancia, ya que refleja que los AEST son administrados en su mayoría por personas en etapas avanzadas de su vida productiva, lo que plantea retos para su sostenibilidad a largo plazo, particularmente en lo referente al relevo generacional (Romero-Díaz *et al*., 2023).

La diferencia significativa entre las comunidades en términos de edad promedio también sugiere que la transición generacional podría no ser homogénea, y comunidades como Amoxoyahuatl, con una media de 54.5 años, podrían enfrentar desafíos adicionales en cuanto a la renovación de las prácticas de manejo agroecológico. Esto refuerza la necesidad de implementar políticas que favorezcan el involucramiento de las generaciones jóvenes en la gestión de los AEST, para garantizar la continuidad y evolución de estos sistemas agropecuarios.

Años de experiencia

Los años de experiencia constituyen un indicador fundamental para la gestión eficiente de los agroecosistemas traspatio. Los resultados muestran que Amoxoyahuatl presenta la mediana más elevada en años de experiencia, con 27.5 años, lo que evidencia una sólida tradición en el manejo de estos sistemas. Se ha documentado que el envejecimiento de la población rural puede generar efectos negativos sobre la productividad agrícola, haciendo que los procesos de cultivo sean más complejos y menos eficientes, especialmente en contextos con bajos niveles de adopción tecnológica (Tong *et al*., 2024). Este factor resulta crítico para la toma de decisiones relacionadas con la selección de cultivos, el manejo integrado de plagas y la conservación de recursos, ya que facilita la adaptación a variaciones climáticas y otros factores externos. No obstante, la disparidad en la experiencia entre comunidades sugiere que algunas áreas, como La Crinolina, podrían carecer de un manejo igualmente profundo de prácticas agroecológicas, lo que podría comprometer la sostenibilidad de los agroecosistemas a largo plazo (Castillo & Rodríguez, 2023). Es importante resaltar que, aunque la experiencia es valiosa, esta debe ser complementada por el acceso a información actualizada y capacitación continua para mejorar la sostenibilidad de los sistemas.

Tiempo dedicado al cuidado del agroecosistema traspatio

El tiempo destinado al cuidado del agroecosistema traspatio constituye una variable directamente vinculada con la intensidad y efectividad de la gestión agroecológica. Los resultados indican que, en promedio, los habitantes de Amoxoyahuatl dedican 30 minutos diarios al mantenimiento de sus agroecosistemas, mientras que comunidades como La Crinolina registran únicamente 15 minutos diarios, equivalentes a tres horas y media y una hora con cuarenta y cinco minutos semanales, respectivamente. Estos hallazgos son consistentes con los reportados en estudios sobre la dedicación temporal a los huertos familiares, reflejando que la inversión de tiempo es un factor determinante para el manejo adecuado y la productividad de estos sistemas (Flores *et al*., 2016). Esta variación podría atribuirse a factores como las demandas nutricionales y organizativas del hogar, la disponibilidad de fuerza laboral y recursos, así como a la ejecución de tareas domésticas complementarias. En este sentido, Ladio (2021) indica que las actividades relacionadas con la seguridad alimentaria y el bienestar familiar, tales como la horticultura y el manejo de animales de traspatio, son desempeñadas predominantemente por las mujeres de la casa. Las comunidades con mayor tiempo dedicado al traspatio, como Amoxoyahuatl, podrían estar logrando mejores resultados en términos de producción y conservación de recursos, mientras que aquellas que dedican menos tiempo podrían estar limitadas en su capacidad para manejar los agroecosistemas de manera eficiente.

Tamaño del agroecosistema traspatio

El tamaño del agroecosistema de traspatio constituye un factor determinante, dado que influye directamente en la capacidad productiva de estos sistemas. En este sentido, la comunidad de El Sauzal registra la mayor superficie destinada a traspatio, lo que favorece la implementación de prácticas agrícolas diversificadas y la obtención de una gama más amplia de cultivos. Por el contrario, en comunidades con superficies reducidas, la limitación espacial restringe la posibilidad de mantener una diversidad adecuada, lo cual puede comprometer la resiliencia de los sistemas agroecológicos frente a variaciones climáticas y otras perturbaciones. Al respecto, López *et al*. (2012) documentan que los traspatios con mayor extensión presentan una diversidad más elevada de especies vegetales incluyendo cultivos (anuales, frutales, hortalizas, plantas medicinales y ornamentales), en el componente pecuario, los productores tienden a mantener una mayor cantidad y variedad de animales (ovinos, caprinos, aves, cerdos, equinos y bovinos). De manera complementaria, Guarneros-Zarandona *et al*. (2014) señalan que múltiples factores socioambientales inciden en la producción de traspatio y, por ende, en la diversidad de especies vegetales presentes en dichos sistemas.

La mujer como ente transformador del agroecosistema traspatio

Los resultados obtenidos en este estudio refuerzan la importancia central que desempeñan las mujeres en la gestión del agroecosistema de traspatio (Tabla 6). Esta evidencia coincide con estudios previos que subrayan el papel crucial de las mujeres como gestoras de la diversidad biológica y conservadoras de los recursos naturales en los huertos familiares (Verdugo *et al*., 2022). Tal labor no solo favorece el desarrollo económico y social, sino que también promueve la sostenibilidad de los modelos productivos en pequeñas escalas.

Tabla 6. Actividades desempeñadas por mujeres rurales en los agroecosistemas de traspatio.
Table 6. Activities carried out by rural women in backyard agroecosystems.

Categoría de actividad	Descripción	Ejemplos de especies/acciones involucradas
Ámbito doméstico y familiar		
Cuidado del hogar	Limpieza, preparación de alimentos, organización de la vivienda	—
Cuidado familiar	Atención y educación de los hijos, cuidado de enfermos y ancianos	—

Generación de comodidades	Garantizar el bienestar del hogar mediante provisión de alimentos y orden doméstico	—
Producción de traspatio		
Manejo pecuario	Crianza y alimentación de aves y animales menores	Gallina (*Gallus gallus domesticus*), Pato (*Anas platyrhynchos domesticus*), Guajolote (*Meleagris gallopavo*), Cerdo (*Sus scrofa domesticus*), Borrego (*Ovis aries*)
Agricultura de traspatio	Cultivo y mantenimiento de hortalizas, leguminosas y frutales	Ejote (*Phaseolus vulgaris*), Tomate verde (*Physalis ixocarpa*), Epazote (*Dysphania ambrosioides*)
Plantas medicinales	Cultivo y recolección de especies con usos terapéuticos	Hierba huevana (*Tagetes lucida*), Hoja santa (*Piper auritum*)
Plantas ornamentales	Producción y cuidado de flores ornamentales	Rosa (*Rosa* spp.), Margarita (*Leucanthemum vulgare*), Dalia (*Dahlia pinnata*), Bugambilia (*Bougainvillea* spp.)
Riego y fertilización	Manejo de agua de riego, aplicación de abonos orgánicos	—
Preparación de tierra	Limpieza, arado manual, incorporación de materia orgánica	—
Cosecha y producción alimentaria	Recolección de hortalizas, hierbas y productos pecuarios para autoconsumo	Huevos de gallina, carne de cerdo y guajolote, vegetales frescos
Abastecimiento de recursos	Transporte de agua, leña y otros insumos al hogar	—
Actividades socioeconómicas		
Venta de productos	Comercialización en mercados locales o a vecinos	Huevos, ejotes (*P. vulgaris*), tomate verde (*P. ixocarpa*), epazote (*D. ambrosioides*), plantas ornamentales (Rosa, Dalia, Bugambilia)
Generación de ingresos	Aportación económica derivada de la venta de excedentes agrícolas, pecuarios y artesanales	—

Un estudio realizado en la comunidad Totonaca de Huehuetla, Puebla, México, se documentó que el traspatio es predominantemente atendido por mujeres, mientras que los hombres se encargan de las parcelas agrícolas adyacentes. Este patrón de división del trabajo refleja una organización estratégica que optimiza el uso de los recursos dentro del hogar (Sámano, 2013). De manera similar, *Oviedo et al*. (2024) documentaron que los traspatios son gestionados principalmente por las mujeres, ya que son ellas quienes se encargan de la provisión y preparación de los alimentos. Los productos obtenidos en estos espacios sirven como insumos para el consumo familiar o, en caso de excedentes, pueden comercializarse, generando ingresos económicos que contribuyen a las estrategias de subsistencia y bienestar de la familia.

Asimismo, Vieyra *et al*. (2004) destacan que las actividades cotidianas que las mujeres desarrollan en el traspatio aportan tanto beneficios tangibles como intangibles. Entre los beneficios tangibles se encuentran el acceso a alimentos frescos y la mejora de la calidad de vida familiar; entre los intangibles, se destacan el bienestar emocional y social derivado de la conexión con la tierra y el entorno natural. Por otro lado, Rodríguez *et al*. (2011) en su estudio en comunidades Tzotziles de Chiapas, informaron cómo las mujeres asumen tareas clave, como la crianza de animales de pequeña escala (aves, cerdos y pequeños rumiantes) y el cuidado de áreas

verdes multifuncionales con especies de valor alimenticio, medicinal y ornamental. Estas prácticas no solo contribuyen al autoconsumo y al fortalecimiento de la seguridad alimentaria, sino que también generan ingresos y fomentan la cohesión familiar.

Aspecto económico y biodiversidad de los AEST

Es destacable que los agroecosistemas de traspatio han permitido la adaptación y domesticación de plantas a condiciones ecológicas extremas o específicas, contribuyendo así a la diversificación de las plantas cultivadas, esta situación permite que los AEST jueguen un papel fundamental para reducir el hambre y la desnutrición, así como a mejorar la seguridad alimentaria (Loskutov & Korpelainen, 2023). En este sentido, el presente estudio confirma la relevancia del agroecosistema de traspatio como un sistema integral que facilita tanto la conservación como el aprovechamiento de la agrobiodiversidad. El componente pecuario, particularmente la crianza de aves se identifica como un factor clave para el autoconsumo y el acceso a alimentos de alta calidad a bajo costo.

Investigaciones previas han documentado el impacto positivo de la avicultura de traspatio en el fortalecimiento de la seguridad alimentaria, especialmente en comunidades rurales y en contextos de vulnerabilidad económica, concluyen que la crianza de aves en traspatio representa una fuente significativa de alimentos nutritivos para las familias, constituyendo una estrategia clave de subsistencia en hogares con limitados recursos económicos (García-Navarro *et al*., 2022). De manera similar, Ramírez *et al*. (2023), en su estudio sobre el programa PESA (FAO) en Cuetzalan del Progreso, Puebla, evidencian que la avicultura en traspatio no solo asegura la producción de alimentos, sino que también ofrece una opción viable para generar ingresos complementarios, ayudando a mitigar la pobreza en comunidades rurales.

Además, los resultados de nuestro estudio sugieren que más allá de sus beneficios inmediatos en términos de seguridad alimentaria, el traspatio representa una herramienta estratégica para mejorar la resiliencia de las familias frente a crisis económicas o desastres naturales, al diversificar sus fuentes de alimentos y recursos. Esta multifuncionalidad del traspatio, que integra tanto la producción de alimentos como la conservación de la biodiversidad y el fortalecimiento de la cohesión social, destaca su potencial como modelo sostenible de producción agrícola a pequeña escala.

CONCLUSIONES

El AEST emerge como un modelo agroecológico integral que combina la producción agrícola y la crianza de animales de pequeña escala, contribuyendo tanto al autoconsumo como a la generación de ingresos complementarios. En este contexto, la avicultura de traspatio se configura como una estrategia fundamental para mitigar la pobreza y asegurar una alimentación nutritiva a bajo costo, especialmente en comunidades rurales de recursos limitados. Por lo consiguiente es fundamental reconocer que la implementación de modelos sostenibles, como el agroecosistema de traspatio, que no solo tiene implicaciones en la seguridad alimentaria sino también en la resiliencia de las familias rurales frente a diversas crisis económicas y ambientales. En este sentido, los hallazgos de nuestro estudio proporcionan una base sólida para fomentar políticas públicas que apoyen y fortalezcan el rol de las mujeres en la gestión de los agroecosistemas, promoviendo la equidad de género y la sostenibilidad en las comunidades rurales. Finalmente, se recomienda continuar investigando los factores que modulan la efectividad de estas prácticas agroecológicas, especialmente en relación con las políticas de apoyo social y económico, para maximizar su impacto en el bienestar de las familias y en la conservación de los ecosistemas rurales.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

LITERATURA CITADA

Acevedo-Osorio, Á., Ortiz Przychodzka, S., & Ortiz Pinilla, J. E. (2020). Aportes de la agrobiodiversidad a la sustentabilidad de la agricultura familiar en Colombia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *23*.

Banco Mundial. (1990). ABSTRACT del Informe sobre el desarrollo mundial 1990. En *Banco Mundial* (Vol. 1). https://documentos.bancomundial.org/es/publication/documents-reports/documentdetail/669091468139805481/informe-sobre-el-desarrollo-mundial-1990-la-pobreza-resumen

Bobadilla-Soto, E. E., Ochoa-Ambriz, F., & Perea-Peña, M. (2022). The corn-ovine backyard production system in Mazahuas' towns from the State of Mexico. *Terra Latinoamericana*, *40*. https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.945

Cahuich-Campos, D., Huicochea G. L., Mariana M. R. (2014). El huerto familiar, la milpa y el monte maya en las prácticas rituales y ceremoniales de las familias de X-Mejía. Holpelchén, Campeche. *Relaciones*, 140, 157-184.

Casanova-Pérez, L., Martínez-Dávila, J. P., Cruz-Bautista, P., & Rosales-Martínez, V. (2023). Impacto de la migración en agroecosistemas del centro de Veracruz, México: estudio de caso. *Huellas de la Migración*, *7*(14), 119. https://doi.org/10.36677/hmigracion.v7i14.17504

Casas Anguita, J., Repullo Labrador, J. R., & Donado Campos, J. (2003). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (II). *Aten Primaria*, *31*, 592–600. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0212-6567(03)79222-1

Castillo, O. L., & Rodríguez, U. (2023). The Rural Generational Gap: A Complex Phenomenon with Global Implications. *Journal of Humanities and Social Sciences (IORS-JHSS)*, *28*(8), 36–49. https://doi.org/10.9790/0837-2808083646

CEPAL. (2024). *Panorama Social de América Latina, 2024. Desafíos de la protección social no contributiva para avanzar hacia el desarrollo social inclusivo*. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/b47d0172-5948-467c-804e-083de2968fe9/content

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2018). *Medición de la pobreza por ingresos : actualización metodológica y resultados*. Naciones Unidas, CEPAL.

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2020). *Estadísticas de pobreza en Veracruz*. CONEVAL. https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Veracruz/Paginas/principal.aspx

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2022). Informe de la pobreza multidimensional en México, 2020. Metodología actualizada 2018-2020. En *CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social)*.

Coronado-García, M. A., Mayoral-García, M. B., Rojas-Rodríguez, I. S., Leyva-Carreras, A. B., & Rossetti-López, S. R. (2023). Contexto de la mujer en la agricultura de Baja California Sur. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *14*(5), 38–51. https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V14I5.3062

Cruz-Bautista, P., Casanova-Pérez, L., Martínez-Dávila, J. P., Flores-Martínez, C., & Villegas-Rodríguez, I. (2019). Familia como sistema social y agroecosistema patio familiar: modelo teórico conceptual desde la teoría Luhmanniana. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *22*(3), 713–722. https://doi.org/10.56369/tsaes.2906

Cruz-Bautista, P., Casanova-Pérez, L., Pablo Martínez-Dávila, J., Flores-Martínez, C., & Villegas-Rodríguez, I. (2019). Familia como sistema social y agroecosistema patio familiar: modelo teórico conceptual desde la teoría Luhmanniana. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *22*, 713–722.

Cuevas Coeto, A., Beatriz, Y., Castillo, V., & Cuevas Sánchez, J. A. (2019). Resiliencia y sostenibilidad de agroecosistemas tradicionales de México: Totonacapan. *Revista*

mexicana de ciencias agrícolas, *10 (1)*, 165–175. https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1789

Flores, J. C. G., Cedillo, J. G. G., Plata, M. Ã. B., & Santana, M. R. A. (2016). Estrategia de vida en el medio rural del altiplano central mexicano: el huerto familiar. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, *13*(4), 621–641. https://doi.org/10.22231/asyd.v13i4.498

Gallardo López, F., Riestra Díaz, D., Aluja Schunemann, A., & Martínez Dávila, J. P. (2002). Factores que determinan la diversida agrícola y los propósitos de producción en los bioecosistemas del municipio de Paso de ovejas, Veracruz, México. *Agrociencia*, *36*, 495–502. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236410

García E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana* (INSTITUTO DE GEOGRAFIA (UNAM), Ed.; 5a ed.). http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251

García-Navarro, M., Ramírez-Valverde, B., Cesín-Vargas, A., & Juárez-Sánchez, P. (2022). Ganadería familiar de traspatio en una comunidad indígena totonaca. *Abanico Veterinario*, *12*, 01–16. https://doi.org/10.21929/abavet2022.5

Guarneros-Zarandona, N., Morales-Jiménez, J., Cruz-Hernández, J., Huerta-Peña, A., & Angélica Ávalos Cruz, D. (2014). Economía familiar e índice de biodiversidad de especies en los traspatios comunitario de Santa María Nepopualco, Puebla. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v0i9.1058

Guerra, V. L., & Rojas, O. L. (2011). Rezagos en el nivel de autonomía de las mujeres rurales mexicanas en la primera década del siglo XXI. *Estudios Demográficos y Urbanos*, *32*(95), 315–354.

Hernández Herrera, C. A. (2024). Mujeres agricultoras en México: sus realidades y desafíos en el contexto actual. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, *26*(3), 785–805. https://doi.org/10.36390/telos263.02

INEGI. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. INEGI. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/

INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA). (2010). *Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Platón Sánchez, Veracruz de Ignacio de la Llave. clave geoestadística 30129*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30129.pdf

Jiménez, A. N. A., Magaña, M. Á. M., & UC, L. C. C. (2019). Factores socioeconómicos asociados a la diversidad pecuaria del traspatio en comunidades mayas de Yucatán y Campeche. *Biotecnia*, *21*(3), 5–12. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i3.1006

Ladio, A. H. (2021). *Mujeres rurales en el sostenimiento de la soberanía alimentaria y los equívocos patriarcales en los estudios etnobiológicos del norte de la Patagonia*. *2*, 2021. https://doi.org/10.22276/ethnoscientia.v6i2.367

Leite, S. (2004). Autoconsumo y sustentabilidad en la agricultura familiar: una aproximación a la experiencia brasileña. *Políticas de seguridad alimentaria y nutrición en América Latina, São Paulo: Hucitec*, 123–181.

Leyva-Trinidad, D. A., Pérez-Vázquez, A., Bezerra da Costa, I., & Formighieri Giordani, R. C. (2020). El papel de la milpa en la seguridad alimentaria y nutricional en hogares de Ocotal Texizapan, Veracruz, México. *Polibotánica*, *0*(50). https://doi.org/10.18387/polibotanica.50.16

López González, J. L., Damián Huato, M. A., Álvarez Gaxiola, F., Parra Inzunza, F., & Zuluaga Sánchez, G. P. (2012). La economía de traspatio como estrategia de supervivencia en San Nicolás de los Ranchos, Puebla, México. *Revista de Geografía Agrícola*, *48–49*, 51–62. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75730739004

López González, J. L., Damián-Huato, M. A., Álvarez-Gaxiola F, Zuluaga-Sánchez, G. P., Parra-Inzunza, F., & Paredes-Sánchez, J. A. (2013). El traspatio de los productores de maíz: en San Nicolás de los Ranchos, Puebla-México. *Ra Ximhai Universidad Autónoma Indígena de México*, *9 (2)*, 181–198. https://doi.org/https://doi.org/10.35197/rx.09.02.e.2013.13.jl

López González, José Luis, Damián-Huato, Miguel Ángel; Álvarez-Gaxiola, Felipe; Zuluaga-Sánchez, Gloria Patricia; Parra-Inzunza, Filemón; Paredes-Sánchez, Juan Alberto (2013). El traspatio de los productores de maíz: en San Nicolás de los Ranchos, Puebla-México. *Ra Ximhai*, *9*, 181–198. https://www.redalyc.org/pdf/461/46128964013.pdf

Loskutov, G., & Korpelainen, H. (2023). The Role of Home Gardens in Promoting Biodiversity and Food Security. *Plants*. https://doi.org/10.3390/plants12132473

Maldonado García, J., & García Vázquez, A. I. (2023). Mujeres campesinas y soberanía alimentaria en comunidades de Sierra de Lobos, Guanajuato. Una perspectiva transdisciplinar en Investigación- Acción- Participativa. *Ixaya. Revista Universitaria de Desarrollo Social*, *13 (25)*, 29–52. https://revistaixaya.cucsh.udg.mx/index.php/ixa/article/view/7766

Mariaca Méndez, R., González Jácome, A., & Arias Reyes, L. M. (2011). El huerto maya yucateco en el siglo XVI. *Península*, *Vol. VI, Nº2*, 123–125. https://www.revistas.unam.mx/index.php/peninsula/article/view/44450/40162.

Mariaca Méndez, R. (2012). La complejidad del huerto familiar Maya del sureste de México. In: El huerto familiar del Sureste Mexicano. Marica, M. R. (Ed). Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco – El Colegio de la Frontera Sur. pp: 7-97.

Martínez Chapa, O., & Salazar Castillo, J. E. (2022). Desafíos presentes en el México rural: problemas y posibilidades. *ESPACIO ABIERTO Cuaderno Venezolano de Sociología*, *31*, 87–105. https://produccioncientificaluz.org/index.php/espacio

Martínez Valdés M. G., Sánchez Gutiérrez, F., Cesar Orlando Pozo S., Ríos Rodas, L., & Gerónimo Torres, J. del C. (2023). Vista de La diversidad biológica de los traspatios: su uso en la alimentación y salud de las familias en Chiapas y Tabasco, México. *Acta Universitaria*, *33*. https://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/3578/3847

Nahmad-Sittón, S., Carrasco, T., & Nava, E. (2009). Elementos para la construcción de una tipología de la pobreza rural en. *En Barba-Solano, Carlos, Retos para la integración social de los pobres en América Latina. Buenos Aires (Argentina): CLACSO.* https://www.aacademica.org/salomon.nahmad.sitton/3

Olvera-Hernández J.I. (2017). Importancia de Especies Vegetales en el Traspatio De Familias Campesinas del Noreste de Puebla. *Agroproductividad*, *10*. https://onedrive.live.com/personal/d8afab8c1daf7206/_layouts/15/doc.aspx?resid=421dce35-46f9-460e-b93b-bf17ccac1d2d&cid=d8afab8c1daf7206

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2000). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. *FAO*.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1996). *Declaración de Roma sobre la Seguridad Alimentaria Mundial*. FAO. https://www.fao.org/4/w3613s/w3613s00.htm

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). *Hambre e inseguridad alimentaria*. FAO. https://www.fao.org/hunger/es/

Oviedo Valdovinos, U., Román Montes, de O. E., & Garcia Flores, A. (2024). Producción de animales de traspatio: estrategia de vida de las mujeres rurales en Tlaquiltenango. *INVENTIO. La Genesis de la Cultura Universitaria en Morelos*. https://doi.org/10.30973/inventio/2024.20.51/5

Pérez Postigo, G. S., Lazo Manrique, M. C., & León de los Santos, N. (2020). Adopción de tecnologías, educación y seguridad alimentaria en los valles del Colca y Cotahuasi. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 236–251. https://www.researchgate.net/profile/Marcelo-Oliveira-46/publication/343303948_Monitoreo_remoto_automatizado_de_calidad_del_agua_en_sistemas_acuaponicos_en_Sao_Paulo_Brasil/links/5f222b86458515b729f3293e/Monitoreo-remoto-automatizado-de-calidad-del-agua-en-sistemas-acuaponicos-en-Sao-Paulo-Brasil.pdf#page=253

Recibido:
5/abril/2025

Aceptado:
26/noviembre/2025

Ramírez Perez, E., González Martínez, D., Diaz Ruiz, R., Escobedo Garrido, J. S., Contreras Ramos, J., & Améndola Massiotti, R. D. (2023). Avicultura de traspatio en las familias participantes del programa pesa (FAO) en Cuetzalan del Progreso, Puebla. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, *21*(1), 64–83. https://doi.org/10.22231/asyd.v21i1.1595

Rodríguez G, G., Perezgrovas Garza, R., & Zaragoza, L. (2011). El traspatio como espacio de empoderamiento para la mujer Tzotzil en Chiapas (México). *(AICA) Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, *1*. https://agris.fao.org/search/en/providers/122420/records/64736950e17b74d22254e453

Román Montes de Oca, E., Oviedo Valdovinos, U., García Flores, A., & Ayala Enríquez, M. I. (2024). Participación de la mujer en los traspatios como alternativa de soberanía alimentaria. *Estudios Rurales*, *14 Nª 29*, 01–22. https://doi.org/http://portal.amelica.org/ameli/journal/181/1814869003/

Romero-Díaz, C., Ugalde-Ledezma, S., Valdés-Velarde, E., & Tarango-Arámbula, L. A. (2023). Prácticas culturales e importancia del componente florístico-pecuario en agroecosistemas de Atzalan, Xochiapulco, Puebla. *Revista Bio Ciencias*, *10*. https://doi.org/10.15741/REVBIO.10.E1355

Salvador Bonilla, S. F. (2020). Agricultura familiar: perspectivas de desarrollo rural en el municipio de San Miguel. *Revista de Investigación*, *1*(11), 15–33. https://doi.org/10.5377/REVUNIVO.V0I11.11332

Sámano Renteria, M. A. (2013). La agroecología como una alternativa de seguridad alimentaria para las comunidades indígenas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *4*(8), 1251–1266. https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V4I8.1137

Scheaffer, R., Mendenhall, W., & Ott, L. (1987). *Elementos de muestreo* (Grupo editorial Iberoamérica, Ed.; 3 Edición). Grupo editorial Iberoamérica.

Silva Medina, Y. (2023). Las brechas estructurales de bienestar y la nueva ruralidad en México. Diagnóstico comparativo con tres países de América Latina. *Carta Económica Regional*, *0*(132), 219–224. https://doi.org/10.32870/cer.v0i132.7887

Soto, E. B., Padilla, J. P. F., Ambriz, F. O., & Peña, M. P. (2019). El efecto de la modificación al artículo 27 constitucional en el relevo generacional del sector agropecuario en México. Estudio de caso Epitacio Huerta Michoacán. *Brazilian Journal of Development*, *5*(7), 7597–7611. https://doi.org/10.34117/BJDV5N7-004

Tong, T., Ye, F., Zhang, Q., Liao, W., Ding, Y., Liu, Y., & Li, G. (2024). The impact of labor force aging on agricultural total factor productivity of farmers in China: implications for food sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *8*, 1434604. https://doi.org/10.3389/FSUFS.2024.1434604/BIBTEX

Ubiergo-Corvalán, P. A., Guadalupe Rodríguez-Galván, M., Zaragoza-Martínez, L., Ponce-Díaz, P., Casas, A., & Mariaca-Méndez, R. (2020). Agrobiodiversidad vegetal comestible en el territorio indígena Maya-Ch'ol de Chiapas, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *23–2*. https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3192/1424

Van Der Ploeg, A. D. (2010). IX. Imperio, Alimentos y Agricultura: Una Síntesis: En *Nuevos Campesinos, Campesinos e imperios alimentarios* (Primera, pp. 327–363). Icaria Editorial. PERSPECTIVAS AGROECOLÓGICAS. http://jandouwevanderploeg.com/ESP/doc/nuevos_campesinos_campesinos_e_imperios_alimentar.pdf#page=7.07

Verdugo Araujo, L. M., Tereso Ramírez, L., & Cabrera Bautista, J. C. (2022). Participación de mujeres de campos agrícolas en la seguridad alimentaria de sus familias y comunidades: estudio de una localidad en Navolato, Sinaloa, México. *Margen: revista de trabajo social y ciencias sociales*, 01–07. https://www.margen.org/suscri/margen105/Verdugo-105.pdf

Vieyra, J., Castillo, A., Losada, H., Cortés, J., Alonso Bastida, G., Ruiz, T., Hernández, P., Zamudio, A., & Acevedo, A. (2004). La participación de la mujer en la producción traspatio y sus beneficios tangibles e intangibles. *Cuadernos De Desarrollo Rural*, *1(53)*, 09–23. https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/view/1257

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

QUELITES ENTRE COCINERAS TRADICIONALES NAHUAS Y TOTONACAS DE LA SIERRA NORTE DE PUEBLA, MÉXICO

QUELITES AMONG NAHUA AND TOTONAC TRADITIONAL COOKS FROM THE NORTHERN SIERRA OF PUEBLA, MEXICO

Ortiz-Trápala, V., H. Vibrans, M.E. Linares-Mazari, D. Flores-Sánchez
QUELITES ENTRE COCINERAS TRADICIONALES NAHUAS Y TOTONACAS DE LA SIERRA NORTE DE PUEBLA, MÉXICO
QUELITES AMONG NAHUA AND TOTONAC TRADITIONAL COOKS FROM THE NORTHERN SIERRA OF PUEBLA, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 385-407 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.22

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

POLIBOTÁNICA

Núm. 61: 385-407 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Quelites entre cocineras tradicionales nahuas y totonacas de la Sierra Norte de Puebla, México

Quelites among nahua and totonac traditional cooks from the Northern Sierra of Puebla, Mexico

Victoria Ortiz-Trápala https://orcid.org/0009-0007-1811-6641
Heike Vibrans / heike@colpos.mx
https://orcid.org/0000-0002-1800-4320
Posgrado en Agroecología y Sustentabilidad, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, C.P. 56264, Estado de México

María Edelmira Linares-Mazari https://orcid.org/0000-0003-0600-3600
Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, 3er. Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, CDMX

Diego Flores-Sánche https://orcid.org/0000-0002-0140-3907
Posgrado en Agroecología y Sustentabilidad, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, C.P. 56264, Estado de México

Victoria Ortiz-Trápala, Heike Vibrans, María Edelmira Linares-Mazari, Diego Flores-Sánchez

QUELITES ENTRE COCINERAS TRADICIONALES NAHUAS Y TOTONACAS DE LA SIERRA NORTE DE PUEBLA, MÉXICO

QUELITES AMONG NAHUA AND TOTONAC TRADITIONAL COOKS FROM THE NORTHERN SIERRA OF PUEBLA, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 385-407. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.22

RESUMEN: En México es común el consumo de los quelites y han sido estudiado ampliamente. Sin embargo, existen pocos estudios comparativos entre diferentes grupos culturales sobre las especies y las prácticas empleadas. Éstas pueden ayudar a comprender mejor el contexto de éstos elementos de la alimentación mesoamericana. El objetivo del estudio fue explorar las diferencias culturales y culinarias de los usos de quelites entre comunidades nahuas y totonacas de cuatro municipios de la Sierra Norte de Puebla, dos nahuas (Ahuacatlán y Tepeixco) y dos totonacas (Tepango y San Felipe). Fue una investigación cualitativa en la que se utilizaron métodos etnográficos, entre ellos la aplicación de entrevistas semiestructuradas, abiertas y corroborativas a 40 mayoras (cocineras tradicionales reconocidas). Se recopilaron especies, recetas y tipos de preparaciones con observación participante. Se documentaron 38 especies de quelites entre ambas culturas; la especie más utilizada fue *Amaranthus hybridus*. Las mayoras totonacas emplearon la fermentación, y tomaron en cuenta las condiciones climáticas (lluvia), hora y técnica de la recolecta. Las mayoras nahuas usaban los quelites para fines medicinales y las clasificaron por su apariencia. Ambos grupos conocían la clasificación en propiedades "frías" o "calientes". Los quelites siguen siendo una alternativa alimenticia viable que se debe promover entre la población.

Palabras clave: Etnobotánica, mayoras, cocina tradicional, agroecología

ABSTRACT**:** The consumption of quelites (wild greens) is common in Mexico and has been widely studied. However, there are few comparative studies between different cultural groups on the species and practices used. These can help to better understand the context of these elements of the Mesoamerican diet. The objective of the study was to explore the cultural and culinary differences in the uses of quelites among Nahua and Totonac communities in four municipalities in the Sierra Norte de Puebla, two Nahua (Ahuacatlán and Tepeixco) and two Totonac (Tepango and San Felipe). It was a qualitative study using ethnographic methods, including semi-structured, open-ended, and corroborative interviews with 40 *mayoras* (recognized traditional cooks). Species, recipes, and types of preparations were collected through participant observation. Thirty-eight species of quelites were documented between the two cultures; the most widely used species was *Amaranthus hybridus*. The Totonac *mayoras* used fermentation and considered climatic conditions (rain), hour of the day, and harvesting techniques. The Nahua mayoras used quelites for medicinal purposes and classified them by appearance.

Both groups were familiar with the classification of "cold" or "hot" properties. Quelites continue to be a viable food alternative that should be promoted among the population.
Key words: Ethnobotany, traditional cooks, traditional cuisine, agroecology

INTRODUCCIÓN

Las cocinas regionales están construidas por elementos culturales y sistemas agroalimentarios diversos, interactuando con el medio ambiente e historia alimentaria. Otorgan sentido de pertenencia a los habitantes de los territorios (Boege, 2017). Los grupos culturales establecen normas que moldean patrones alimentarios comunes y los integran a sus propias tradiciones (Adame-Cerón, 2012), pero también son dinámicos; hay cambios entre generaciones, integración de influencias externas, aprendizaje, intercambio e innovación interna (Sánchez-Ramos *et al*., 2023). Un estudio sobre cocinas tradicionales en San Pedro El Saucito, Sonora, relata que las cocinas tradicionales y el conocimiento que las compone son resultado del conjunto de una historia social, familiar e individual (Meléndez-Torres & Cañez-de la Fuente, 2009).
La palabra quelite proviene del náhuatl "quilitl", hierba, planta o verdura comestible (Bye & Linares, 2000). Son hierbas, tallos o brotes tiernos y flores que se consumen como verduras (Bye & Linares, 2000). Pueden ser recolectados, fomentados o cultivados en los agroecosistemas. Son un insumo alimenticio de gran importancia en México. Se han registrado aproximadamente 500 especies (Bye & Linares, 2000), de las cuales en la Sierra Norte de Puebla se tienen documentadas 80 (Basurto-Peña *et al.,* 1998). Los quelites juegan un papel destacado en la gastronomía de numerosos grupos étnicos, tanto en México como en otras partes del mundo, y contribuyen a una buena alimentación y buena salud. Son de fácil obtención y a menudo están presentes en todo el año; ocasionalmente también sirven de alimento de emergencia.
La Sierra Norte de Puebla es un mosaico diverso de condiciones climáticas y edáficas en una región montañosa en el norte del Estado de Puebla, México, conformada por 65 municipios. Ha sido zona de refugio de numerosos grupos indígenas que la convirtió en una zona pluriétnica en la que grupos nahuas y totonacas han tenido dominancia, aunque no es común que compartan un mismo territorio (Incháustegui, 2008).
Los grupos étnicos actuales asentados en la Sierra Norte de Puebla son el resultado de eventos históricos, migraciones y desplazamientos complejos. La región era parte del Totonacapan, señorío Zempoala, y poblado principalmente por totonacos (Muñoz-Lobato, 2023). A finales del siglo XV, previo a la llegada de los españoles, fueron desplazados parcialmente por los mexicas (INPI, 2020). En la época colonial hubo una reestructuración debido a la demanda de los españoles por la extracción del cacao y maíz. Las tradiciones nahuas no se mantuvieron intactas, con el establecimiento de la religión católica estas tradiciones se sincretizaron (Báez, 2004). Actualmente muchos pueblos nahuas y totonacas se rigen por usos y costumbres en cuanto a rituales agrícolas y fiestas patronales.
La cultura totonaca está ligada al Golfo de México, sobre todo el estado de Veracruz. Fue un grupo sometido por los mexicas, quienes impusieron control sobre la región, lo que provocó la migración de los totonacas al norte y este del estado de Puebla. Durante la conquista española fueron de los primeros pueblos en aliarse a Hernán Cortés, con la finalidad de liberarse del control de los mexicas. El establecimiento de las órdenes religiosas católicas de franciscanos y agustinos colocó en segundo lugar las tradiciones totonacas, mismas que tuvieron que adaptarse a la nueva religión impuesta (Masferrer-Kan, 2004). Los voladores, una ceremonia que simboliza peticiones a los dioses por buenas cosechas, representan uno de los ritos más conocidos de la cultura totonaca. En 2009 fue nombrado Patrimonio Mundial Inmaterial de la Humanidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Dorantes, 2019).

Las comunidades nahuas y totonacas en México han desarrollado un amplio conocimiento sobre el manejo, aprovechamiento y preparación de los quelites (Mircea, 2001; INPI, 2016). Ambas integran diversos tipos de quelites a sus recetas (Castillo-Aja, 2003). Los quelites de la Sierra Norte de Puebla han sido estudiados ampliamente, por medio de catálogos e inventarios,

recetarios, también acerca de su manejo, aprovechamiento y composición nutricional (Martínez-Alfaro *et al.* 1995; Basurto-Peña *et al.*, 1998; Basurto-Peña & Mapes-Sánchez, 2024; Mapes-Sánchez *et al*., 2024; Guerra-Ramírez, 2024). Un antecedente importante y directo fue el trabajo de Caballero-Salas (1984); estudió las plantas comestibles usadas por nahuas y totonacos de la Sierra Norte de Puebla, pero sin profundizar en las diferencias culinarias entre ambos. Esta autora menciona de forma general el sistema frío-caliente y resalta que se debe evitar consumir alimentos fríos o calientes solos, debido a que alteran el equilibrio del cuerpo y con esto pueden causar enfermedades.

Pero, aún no se sabe si las especies de quelites, la preparación y las prácticas alrededor de este grupo de alimentos es diferente o similar entre nahuas y totonacos - que habitan ambientes semejantes. Documentar las diferencias contribuye a la preservación de los saberes tradicionales, a la promoción de las prácticas agroecológicas del manejo de sus recursos (multicultivos, no-uso de agroquímicos) y revaloración de los quelites. Este trabajo explora en forma comparativa las especies, las formas de preparación, sistemas de clasificación y fuentes de abasto entre estos dos grupos étnicos. El estudio se basa en el conocimiento de las cocineras tradicionales (mayoras).

MATERIALES Y MÉTODOS

Áreas de estudio

La selección de las comunidades de este estudio se fundamentó principalmente en la dominancia étnica, su proximidad geográfica, así como el conocimiento, estancia previa y contactos establecidos por la primera autora: Ahuacatlán y Tepeixco de origen nahua y Tepango y San Felipe con predominio totonaca (Figura 1).

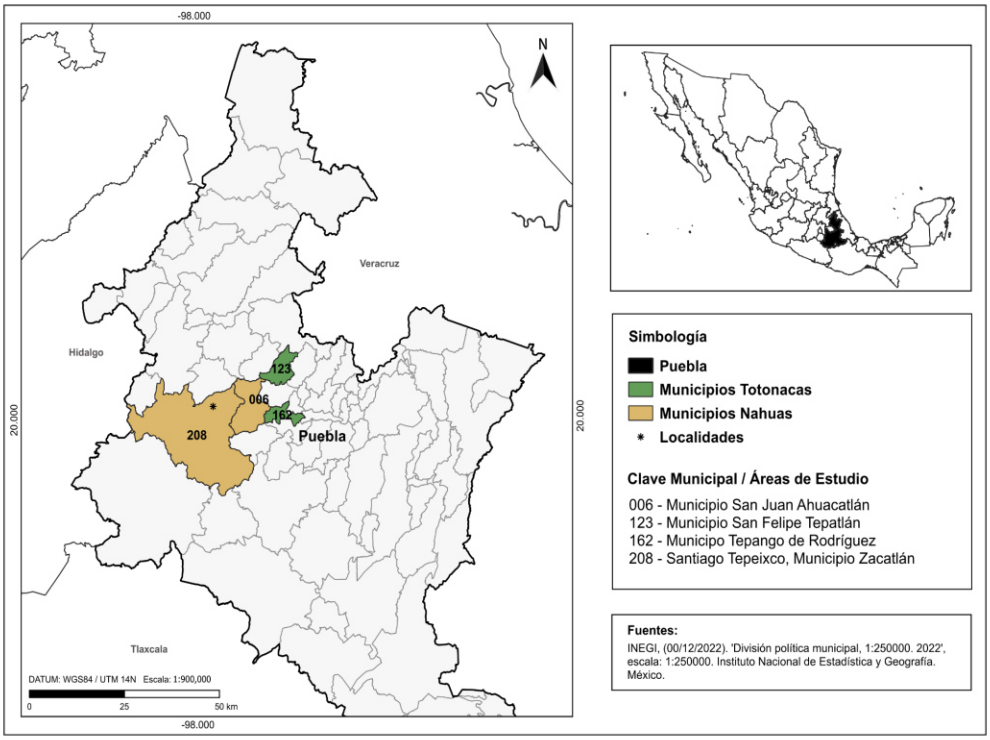


Figura 1. Ubicación geográfica de las zonas de estudio (elaborado por Marco E. Pérez-González, 2025, basado en la cartografía del INEGI y WGS84).

Figure 1. Geographical location of the study areas (made by Marco E. Pérez-González, 2025, based on INEGI cartography and WGS84).

Ahuacatlán, Puebla
El nombre de la población proviene del náhuatl "ahuacatl" (aguacate) y "tla" (lugar); en conjunto quiere decir "junto a los aguacates". El centro del municipio se encuentra aproximadamente a 1,365 msnm, sus coordenadas son 20°01′17″N 97°51′13″O (INEGI, 2021). Tiene un clima templado húmedo, con un promedio de precipitación anual de 1400-2100 milímetros (INEGI, 2021). Tiene una gran extensión de suelos agrícolas de temporal, además de zonas urbanas y rurales (Guevara-Romero & Montalvo-Vargas, 2015). En el último censo se registró una población de 14,542 habitantes, 7,690 mujeres y 6,852 hombres, de los cuales 5,330 hablaban náhuatl y 3,530 hablaban totonaco (Secretaría de Economía, 2020a). La cultura culinaria de este municipio es representada por platillos con insumos de la propia región. Se pueden mencionar platillos estrella como el tamal de puñete, atole de maíz, quelites en múltiples presentaciones o mole de sábado, o bebidas tradicionales como el tepache, pulque y licor de mora (observaciones propias).

Tepeixco, Puebla
El nombre proviene del náhuatl "tepetl" (cerro), "icxitl" (cara) y "co" (en); significa "en la cara o enfrente del cerro". El centro del municipio se encuentra a 1,919 msnm aproximadamente (INEGI, 2021). Tiene un clima templado húmedo, el promedio de su precipitación anual es de 2,153 milímetros, sus coordenadas son 20°01′44″N 97°57′28″O (INEGI, 2021). Actualmente el 80% de su población es hablante del idioma náhuatl, son 1352 habitantes, 706 mujeres y 646 hombres (INEGI, 2021); forma parte del distrito de Zacatlán de las Manzanas. Las principales actividades económicas que se desarrollan dentro del ejido son el manejo y aprovechamiento de zonas boscosas, viveros comerciales del programa Sembrando Vida, principalmente de aguacates, así como la cría de animales, el cultivo de maíz, frijol y aguacate para el autoconsumo y su venta en el tianguis de Zacatlán (observación propia).

Tepango, Puebla
La palabra tepango proviene del náhuatl "tepetl" (cerro) y "alco" (en lo alto); juntos significan "arriba o en lo alto del cerro". Se encuentra entre 1,110-1900 msnm, sus coordenadas son 20°00′11″N 97°47′47″O (INEGI, 2021). Su clima es semicálido húmedo, y tiene una precipitación promedio anual de 2,100 milímetros (INEGI, 2021). Actualmente es un municipio con dominancia totonaca, 4,155 habitantes, 2,236 mujeres y 1,919 hombres, de los cuales 3,103 habitantes dijeron hablar totonaco en el último censo (Secretaría de Economía, 2020b). Se observó previamente que en su cultura culinaria figuran notas de sabor agria, en la que se utilizaba el fermentado natural para la elaboración de la mayoría de sus bebidas y algunos alimentos. Se encontraron ejemplos como el atole agrio de mora, los tamales de cilantro con masa agria, el tepache o el yolixpa (macerado de hierbas con refino (alcohol de caña) para uso medicinal) (observación propia).

San Felipe Tepatlán, Puebla
El nombre náhuatl significa "tepatl" (piedra) y "tlan" (lugar); en conjunto quiere decir "donde abundan las piedras". San Felipe se encuentra entre 300 y 1,700 msnm en una ladera, sus coordenadas son 20°05′16″N 97°48′05″O (INEGI, 2021), con clima semicálido subhúmedo y un promedio de precipitación anual de 2,000 milímetros (INEGI, 2021). Fue fundado por grupos totonacas y nahuas, se tiene registro de una población de 3,793 habitantes, 1,964 mujeres y 1,829 hombres; actualmente el 80% de su población es hablante del idioma totonaca (Secretaría de Economía, 2020c). Su gastronomía destaca por la preparación de mole poblano, pipián, tamales en hoja de papatla (*Heliconia* spp.), calabaza en dulce, quelites en diversas preparaciones, y el trapiche como bebida tradicional (observación propia).

Selección de colaboradoras
El trabajo se basa en una selección de muestreo intencional (no probabilístico) (Otzen & Manterola, 2017). En cada municipio se convocó a reuniones con las cocineras de los comedores escolares del DIF (Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia) a través de las

Núm. 61: 385-407 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

directoras de esta institución; estos comedores generalmente son atendidos por cocineras reconocidas (mayoras). De acuerdo a los comentarios y sugerencias del grupo de cocineras y la disposición voluntaria, se seleccionaron 10 mayoras en cada población, que no necesariamente eran las cocineras de los comedores. En Ahuacatlán 3 mayoras no formaban parte de los comedores, en Tepango 2, en San Felipe 2 y en Tepeixco 3. Cada una de ellas otorgó consentimiento informado de forma oral para su colaboración en la investigación. Se trabajó con un total de 40 mayoras.

Entrevistas y trabajo de campo

La información de las mayoras se obtuvo por medio de entrevistas abiertas y semiestructuradas, así como la observación participante (Ander-Egg, 2011). A todas las colaboradoras se les entrevistó en 3-5 ocasiones para corroborar los datos recabados. La mayoría de las entrevistas se condujeron en el idioma español; en las entrevistas bilingües, ya sea en náhuatl-español o totonaco-español se tuvo apoyo de una persona traductora en cada municipio. Se trataba de amigos/as y/o conocidos de la primera autora y de las mayoras que hablaban el idioma. La primera fase de campo consistió en la aplicación de entrevistas entre agosto y diciembre de 2023.

En una segunda fase, de enero a abril de 2024, se corroboró la información. Se preguntó sobre las especies de quelites que conocían, sobre su lugar y manera de obtención, su manejo, la temporalidad, nombres en náhuatl o totonaco, características, manera(s) de preparación, y observaciones generales de ellas. También sobre la pérdida o incremento del consumo de quelites en los municipios.

Las visitas consistieron en recorrer los huertos, el potrero, monte u orillas de los ríos, dependiendo el caso, y recolectar quelites (en compañía de y con autorización previa de las mayoras) para cocinarlos de acuerdo a los procedimientos de las mayoras; los recorridos se aprovecharon para obtener información adicional sobre las especies. Los quelites se cosecharon alrededor de las 7:00 horas o después de las 19:00 horas, momentos en el que los quelites no estaban expuestos al sol, siguiendo los consejos de las mayoras. Se tomó en cuenta la forma de recolección que recomendaban las entrevistadas, sobre todo las totonacas: “tomar los quelites con las yemas de los dedos para no maltratarlos y evitar modificar su sabor”. La preparación de las recetas se hizo en compañía de las mayoras, quienes indicaron paso a paso el procedimiento e historias relacionadas con el platillo, quien se las enseñó, si hicieron alguna modificación en la receta, o recuerdos.

Además de los quelites que se prepararon, se recolectaron 2-3 ejemplares de las plantas para su identificación botánica. Se tomaron fotografías de las especies, y se documentó la forma de vida, forma de crecimiento y hábitat. Se identificaron en el herbario CHAPA con literatura especializada (Flora de Veracruz, Gómez-Pompa (ed.), 1978 en adelante; Flora del Bajío, Instituto de Ecología, A.C., 1991 en adelante; Flora del Valle de México, Rzedowski & Rzedowski, 2005), así como el apoyo de dos coautoras conocedoras de especies de quelites (HV y ELM). Se elaboraron fichas botánicas, utilizando el trabajo de Mota-Cruz (2008) como guía, y se emplearon los siguientes niveles de manejo en los quelites, según los datos recopilados durante las entrevistas y recorridos de campo: silvestres-toleradas-fomentadas, cultivadas y cultivadas-toleradas (Mota-Cruz, 2008). Los datos se analizaron con estadística descriptiva.

RESULTADOS

Especies de quelites

Se identificaron 38 especies de quelites de 18 familias botánicas (Tabla 1). La familia más sobresaliente fue Amaranthaceae con 8 especies, seguida por Asteraceae, Brassicaceae y Fabaceae, cada una con 4. De las especies registradas, 34 eran herbáceas y 4 arbustivas. El grado de manejo de las especies fue: 12 especies silvestres-toleradas, 12 especies silvestres-toleradas-fomentadas, 8 especies cultivadas y 6 especies cultivadas-toleradas.

Núm. 61: 385-407 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Tabla 1. Especies documentadas durante la fase de campo.
Table 1. Species documented during the field phase.

	Familia botánica	Especie	Nombre común	Manejo
1	Amaranthaceae	*Amaranthus hybridus* L.	Quintonil	F, S, T
	Amaranthaceae	*Amaranthus* sp.	Quintonil rojo	F, S, T
	Amaranthaceae	*Beta vulgaris* var. *cicla* L.	Acelga	C
	Amaranthaceae	*Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin y Clemants	Epazote	C
	Amaranthaceae	*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*	Huautle (hojas tiernas)	C, T
	Amaranthaceae	*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae* (Saff.) HDWilson & Heiser	Huauzontle (inflorescencia tierna; no se usaba el huauzontle domesticado)	C, T
	Amaranthaceae	*Spinacia oleracea* L.	Espinaca	C
2	Araceae	*Xanthosoma robustum* Schott.	Malvaron, pixis	C, T
3	Asparagaceae	*Yucca* sp.	Flor de izote	C, T
4	Asteraceae	*Bidens pilosa* L.	Mozote	S, T
	Asteraceae	*Porophyllum ruderale* var. *macrocephalum* (DC.) Cronquist	Pápalo	C
	Asteraceae	*Taraxacum officinale* F. H. Wigg.	Diente de león	S, T
	Asteraceae	*Sonchus asper* (L.) Hill	Endivia	S, T
5	Begoniaceae	*Begonia heracleifolia* Schtdl. y Cham.	Xocoyul	S, T
6	Brassicaceae	*Brassica oleracea* L.	Nabo (blanco), col de rancho	F, S, T
	Brassicaceae	*Brassica rapa* L.	Nabo (amarillo)	F, S, T
	Brassicaceae	*Nasturtium officinale* W. T. Aiton (*Capuchina officinale* W. T. Aiton)	Berro	F, S, T
7	Caryophyllaceae	*Stellaria media* (L.) Vill.	Tequelite	F, S, T
8	Commelinaceae	*Tinantia erecta* (Jacq.) Schltdl.	Hierba del pollo	F, S, T
9	Cucurbitaceae	*Sechium edule* (Jacq.) Sw. (*Sicyos edulis* Jacq.)	Guía de espinoso	C, T
	Cucurbitaceae	*Cucurbita pepo* L.	Guia y flor de calabaza	C
	Cucurbitaceae	*Cyclanthera dissecta* (Torr. y A. Gray) Arn.	Cincoquelite	F, S, T
10	Fabaceae	*Erythrina* sp.	Colorín, pitito, gasparito	C, F, T
	Fabaceae	*Phaseolus dumosus* Macfad.	Guia y flor de frijol patlaxcle	C
	Fabaceae	*Phaseolus coccineus* L.	Guia y flor de frijol ayocote	C
	Fabaceae	*Phaseolus vulgaris* L.	Guia de frijol	C
	Fabaceae	*Vicia faba* L.	Cogollos de haba	C
11	Lamiaceae	*Salvia microphylla* Kunth	Mirto	C
12	Malvaceae	*Malva parviflora* L.	Malva	S, T
13	Phytolaccaceae	*Phytolacca icosandra* L.	Quitacalzón	F, S, T
14	Piperaceae	*Peperomia peltilimba* C. DC. ex Trel.	Causasan, ojo de venado	S, T
	Piperaceae	*Peperomia maculosa* (L.) Hook.	Causasan, ojo de venado	S, T
	Piperaceae	*Piper auritum* Kunth	Hojasanta	S, T
15	Polygonaceae	*Rumex crispus* L.	Lengua de vaca	S, T
16	Portulacaceae	*Portulaca oleracea* L.	Verdolaga	C
17	Smilaceae	*Smilax aristolochiifolia* Mill.	Kansilil, zarzaparrilla	S, T
18	Solanaceae	*Solanum americanum* Mill.*	Hierbamora, chapalux	S, T
	Solanaceae	*Solanum nigrescens* M. Martens*	Hierbamora, chapalux	S, T

F-fomentado, **S**-silvestre, **T**-tolerado, **C**-cultivado. **Solanum nigrescens* y *Solanum americanum,* hierbamora, son muy parecidas morfológicamente y las entrevistadas no las distinguieron; ambos ocurren en el área.
F-encouraged, **S**-wild, **T**-tolerated, **C**-cultivated. **Solanum nigrescens* and *Solanum americanum*, hierbamora, are morphologically very similar, and the interviewees could not distinguish between them; both occur in the area.

Clasificación de los quelites

Se registraron dos clasificaciones diferentes, por 1) apariencia y 2) propiedad frío-caliente, que se tratará más adelante. Las mayoras nahuas clasificaban los quelites en tres grupos de acuerdo con su apariencia física: quelites rojos, que integraba los quelites con una tonalidad roja en su venación o en las hojas; quelites cenizos, con una ligera capa farinosa cubriendo la planta, y los quelites blancos, debido a la tonalidad de su color verde ligeramente más claro que el de los demás (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de quelites por apariencia (principalmente entre las cocineras nahuas)
Table 2. Classification of quelites by appearance (mainly among Nahua cooks)

Apariencia	Familia botánica	Nombre científico	Nombre común
Quelite blanco	Amaranthaceae	*Amaranthus hybridus*	Quintonil grueso
	Brassicaceae	*Brassica oleracea*	Nabo blanco
	Cucurbitaceae	*Cyclanthera dissecta*	Cincoquelite
	Amaranthaceae	*Amaranthus* sp.	Quintonil rojo
Quelite rojo	Fabaceae	*Erythrina* sp.	Colorín
	Brassicaceae	*Nasturtium officinale* (*Capuchina officinale*)	Berro
	Amaranthaceae	*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*	Huautle y huauzontle
Quelite cenizo	Amaranthaceae	*Amaranthus* sp.	Quelite cenizo
	Asteraceae	*Sonchus asper*	Endivia
	Brassicaceae	*Brassica rapa*	Nabo amarillo
	Portulacaceae	*Portulaca oleracea*	Verdolaga

Fuente de obtención de las especies

Los quelites se obtuvieron de seis diferentes fuentes de abasto: en huerto, tianguis municipal, sistema milpa, monte, potrero y con familiares y/o amigos, quienes obtuvieron los quelites en sus huertos (Figura 2). Sin embargo, hubo diferencias entre los cuatro pueblos: en San Felipe la principal fuente de abasto fue el monte, potrero e incluso el tianguis. Una de las entrevistadas comentó: “El suelo tiene mucha piedra, no nos deja tener un huerto bonito, a menos que sea en macetas”, ya que el suelo en el centro del pueblo era muy pedregoso y no les permitía tener un huerto de traspatio. En cambio, las mayoras de Ahuacatlán, Tepango y Tepeixco comentaron que les era más fácil salir a cosechar en su huerto que a recolectar a la milpa; además aprovechaban los días de tianguis para comprar quelites que no tenían.



Figura 2. Fuentes de abasto registradas. **A**-monte, **B**-tianguis, **C**-huerto, **D**-milpa, **E**-potrero, **F**-con familiares o amigos (Ortiz-Trápala, 2024).
Figure 2. Registered supply sources. **A**-natural vegetation ("monte"), **B**-street market, **C**-garden, **D**-maize field, **E**-pasture, **F**-with family or friends (Ortiz-Trápala, 2024).

En la Figura 3 se muestra el número de menciones de cada quelite por las mayoras. En Ahuacatlán se documentaron 26 tipos de quelites diferentes, en Tepeixco 23, en Tepango 27 y en San Felipe 20.

Núm. 61: 385-407 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

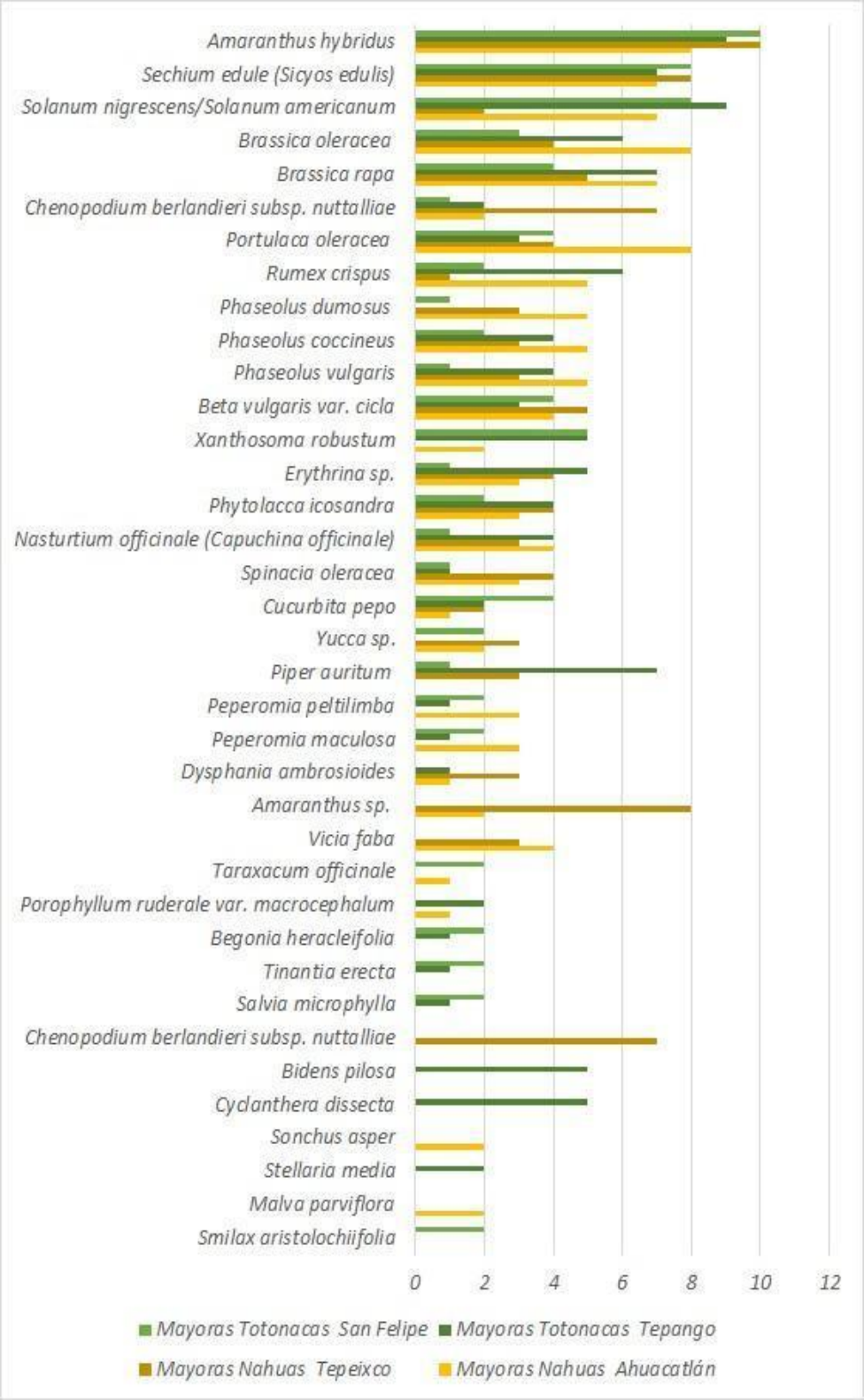


Figura 3. Número de veces que las especies de quelites fueron mencionadas por las mayoras
Figure 3. Number of times that the species of quelites were mentioned by the traditional cooks

Algunas especies sólo fueron mencionadas por las mayoras de una localidad. Tal era el caso de la endivia y malva reconocidos en Ahuacatlán; los huautles (hojas tiernas del huauzontle) en Tepeixco; mozote, tequelite y cincoquelite en Tepango y el kansilil únicamente en San Felipe. Se registraron 7 quelites utilizados como condimento: epazote (*Dysphania ambrosioides*) para la preparación de adobos en Tepeixco, xocoyul (*Begonia heracleifolia*) para la preparación de salsas en molcajete y mirto (*Salvia microphylla*) para la preparación de té en San Felipe, tequelite (*Stellaria media*) se implementaba en salsas y adobos, causasan (*Peperomia maculosa* y *Peperomia peltilimba*) se usaba para condimentar principalmente frijoles, hojasanta (*Piper auritum*) para aportar sabor en tamales en Tepango y lengua de vaca (*Rumex crispus*) como un sustituto del cilantro y perejil en Ahuacatlán.

En las cuatro localidades los quelites estaban disponibles a lo largo del año (Figura 4). Generalmente las especies presentes los 12 meses coincidían en ser las más reconocidas entre las mayoras, pero también había picos de disponibilidad de acuerdo a la temporada, como los quelites de Cuaresma y Semana Santa (celebraciones católicas para recordar la muerte y resurrección de Cristo en las que se evita consumir proteína animal) en los meses de abril y mayo.

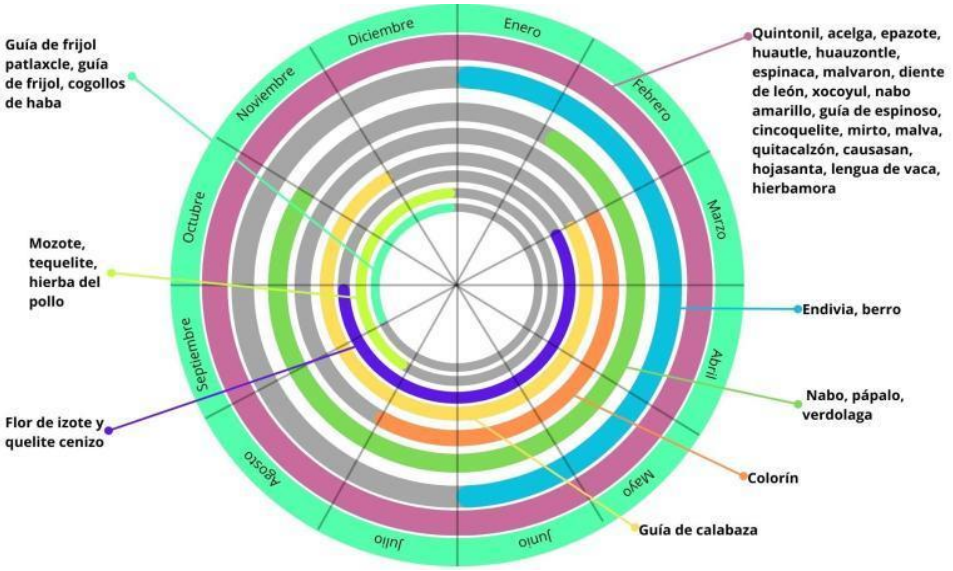


Figura 4. Calendario de temporada de los quelites
Figure 4. Quelite seasonal calendar.

Había una pérdida o reducción en el consumo de quelites, según las mayoras. La causa de la preferencia de los jóvenes por la comida industrial o la proteína animal era el mejor sabor, según ellos. Cabe mencionar que incluso en las propias familias de las mayoras, sólo ellas (y la investigadora) comieron los quelites preparados para este trabajo; las mayoras preparaban alimentos aparte para su familia. Tampoco incluían quelites en las comidas escolares. La segunda razón fue que el uso de agroquímicos en los cultivos estaba acabando con los quelites y como consecuencia dificultaba la obtención de los mismos. La tercera razón fue que el conocimiento se estaba perdiendo, las personas mayores evitaban hablar de los quelites por la preferencia de sus familiares por otros alimentos, además de que su consumo se encontraba estigmatizado al no ser un alimento "muy elaborado". Sin embargo, comentaron que ocasionalmente se las preparaban sólo para sí mismas y sus esposos, por gusto propio. No se observaron diferencias al respecto entre localidades o grupos étnicos.

Técnicas de preparación

Se identificaron cuatro técnicas principales que describieron las mayoras de las dos etnias (y que se representan con su nombre técnico) (Tabla 3).

Tabla 3. Término gastronómico de las técnicas de cocción identificadas
Table 3 Gastronomic term for the identified cooking techniques

Técnica de preparación	Definición
Sofrito	Cocción a fuego lento con una cantidad mínima de grasa, para que desprendan sabor
Pochado	Cocción suave en líquido más o menos abundante, manteniendo una ebullición muy ligera
Escaldado	Sumersión de un alimento en agua hirviendo durante un tiempo breve
Blanqueado	Preparación que involucra un choque térmico al sumergir el alimento primero en agua hirviendo y posteriormente en agua fría

Adicionalmente, las mayoras utilizaban una cocción previa a otras preparaciones. También, identificaron como técnicas de preparación "secundarias" la cocción al vapor, como los tamales, o fritura profunda, como las quesadillas y molotes.

La técnica de preparación más popular entre las mayoras nahuas y totonacas fue el sofrito, "en blanco" o "en su jugo". El pochado y escaldado fueron mencionados para la preparación de todos los quelites, a excepción de los que se utilizan crudos en un taco placero (tortilla de maíz con salsa de molcajete y quelites en crudo), tales como el mozote (*Bidens pilosa*) y pápalo (*Porophyllum ruderale* var. *macrocephalum*). El blanqueado fue una técnica que solo se observó en la preparación del colorín (*Erythrina* sp.), con la finalidad de obtener una consistencia blanda. Las mayoras totonacas mostraron afinidad por la preparación de alimentos fermentados de forma intencional, debido a que consideraban que era un sabor agradable.

El procedimiento de preparación consistió en dejar fermentar la masa de maíz nixtamalizado o quelites (previamente pochados) un día antes de su consumo o preparación. Se colocaban dentro de un recipiente el cual se cubría con una bolsa de plástico, posteriormente se dejaba expuesto al sol durante todo un día o se colocaba cerca o debajo del fogón. Al día siguiente la masa fermentada se preparaba en tamales y atole agrios o se usaba como espesante en caldos o moles. En cuanto a los quelites, se consumían como taco acompañado de salsa de molcajete. Esta técnica de preparación también era usada como un método de conservación durante 3-4 días. Esta práctica no fue reportada por las mayoras nahuas.

Para la preparación, se utilizaban cazuelas de barro, palas y cucharas de madera, metate (piedra curva que se usa de manera de molino para moler maíz y otros alimentos con ayuda del metlapil) y metlapil (rodillo de piedra usado para moler en el metate), molcajete (mortero de piedra con tres patas cortas usado principalmente para preparar salsas) y tlecuil (brasero con tres piedras como base a las que encima se les coloca un comal o una rejilla) (Figura 5). Las mayoras mencionaron que usar estos utensilios aportaba un mejor sabor a la comida. Algunos de sus comentarios fueron:

"El metate, el molcajete, el barro y el humo del tlecuil aportan un sabor más rico a la comida porque despierta sus sabores"

"Mi mamá me enseñó que la comida se disfruta por su sabor y su olor por eso me gusta seguir cocinando en mi tlecuil, mis hijos me compraron una estufa de gas, pero disfruto la mezcla del olor del humo y la comida"

Seis mayoras nahuas justificaron el uso de cazuelas de barro, ya que el grosor del barro y el barniz que lo cubre les permite dejar la comida en el fuego sin preocuparse porque esta se pegue o se queme (Figura 5). No se obtuvieron comentarios al respeto de las totonacas.



Figura 5. Utensilios de cocina preferidas por las mayoras. **A**-Cucharas y palas de madera, **B**-Metate (mortero curvo tallado en piedra de cantera) y met lapil (rodillo tallado en piedra de cantera), **C**-molcajete (mortero cóncavo tallado en piedra de cantera) y temolote (pequeña piedra de cantera usada para martajar alimentos), **D**-tlecuil o fogón de mesa, **E**-cazuelas de barro (Ortiz, 2021)

Figure 5. Cooking utensils preferred by the traditional cooks. **A**-Wooden spoons and spatulas, **B**-Metate (curved mortar carved from quarry stone) and met lapil (oval instrument carved from quarry stone), **C**-molcajete (concave mortar carved from quarry stone) and temolote (small quarry stone used to pound food), **D**-tlecuil or table stove, **E**-clay casseroles (Ortiz, 2021).

Percepción de la sazón

Las entrevistas de las Mayoras destacaron que la sazón era diferente entre cada una de ellas y por ende se tienen diferentes sabores de un mismo platillo. No se observaron diferencias entre localidades y etnias al respecto. Para definir la sazón, las cocineras tomaron en cuenta aspectos como los ingredientes, la temperatura del fuego, el tiempo de cocción, los utensilios que se usan, entre otros (Figura 6). Algunas de sus definiciones de sazón fueron las siguientes:

"Es la capacidad para combinar ingredientes y formas de cocinar la comida" (MPM, 45, comunicación personal, 19 de febrero de 2024).

"Es el toque personal que uno le imprime a la comida por el modo de preparación y el tiempo de cocción" (AAV, 66, comunicación personal, 10 de marzo de 2024).

"Es el toque que las personas tienen para calcular las cantidades de cada ingrediente que debe llevar la comida" (CSM, 41, comunicación personal, 10 de marzo de 2024).

"Es la temperatura del fuego, el tiempo de cocción, la forma en que se revuelve, si se cocina en una sartén o en una olla" (MDM, 56, comunicación personal, 26 de febrero de 2024).



Figura 6. Nube de palabras que destacan en las definiciones de sazón (Ortiz-Trápala, 2024)
Figure 6. Word cloud of terms that stand out in the definitions of seasoning (Ortiz-Trápala, 2024)

Variedad y variación en las recetas

Se recopilaron un total de 75 recetas distintas, 10 en San Felipe, 13 en Tepango, 14 en Tepeixco y 13 en Ahuacatlán. De éstas, 50 eran únicas de una mayora, pero las 25 recetas restantes se mencionaron con frecuencia. Ejemplos de recetas comunes son quelites revueltos con huevo (sofritos), en tamales (cocción al vapor), quesadillas (fritura profunda), revueltos con cebolla y ajo (sofritos), en itacates (escaldado y/o blanqueado previo a su preparación) o en moles y adobos (pochado). Algunas mayoras recomendaron utilizar carbonato o tequesquite en el momento de hervir (pochar, escalfar, escaldar y blanquear) los quelites para mantener su color vivo y en el caso de *Erythrina* sp. para ablandarlos.

Creencias y/o tradiciones

Las mayoras totonacas consideraban que las nahuas tendieron a cocinar de una forma “más brusca” o “atrabancada”, mientras que entre totonacas tomaban en cuenta factores como el tiempo de cocción, paciencia al cocinar y “delicadeza”. Resaltaron que cocinar con tiempo limitado impide que los ingredientes se combinen y concentren su sabor.

Las mayoras totonacas mencionaron que los quelites deben ser recolectados al amanecer o al atardecer, para aprovechar el rocío matutino ("el sereno"), debido a que cuando los quelites eran expuestos directamente al sol por un tiempo prolongado estos se calentaban y había una modificación en su sabor, además de que podía provocar malestar estomacal. Comentaron que era necesario “tratar con cariño” los quelites cuando se recolectaban, ayudaba a conservar su sabor agradable. Recomendaban tomarlos con las yemas de los dedos, sin ejercer mucha presión, ya que el quelite al ser estrujado demás reaccionaba y su sabor se volvía más amargo, "es como si se enojara de ser mal tratado".

Influencia del clima

Las condiciones climáticas durante la recolección de los quelites también era un punto de gran importancia para las mayoras totonacas. Recolectarlos en días lluviosos era contraproducente, debido a que al ser un alimento con alto contenido de agua, el exceso de la misma los lavaba y enfriaba, por ende, al consumirlos provocaban malestar estomacal. El punto óptimo para consumir los quelites era en estado "fresco", ni frío, ni caliente. Además, el consumo excesivo de quelites "acashanaba" (hinchaba) el cuerpo (clínicamente posiblemente similar a la retención de líquidos) por la cantidad de agua que tenían. Estas consideraciones no estuvieron presentes entre las mayoras nahuas, pero compartieron la opinión con las mayoras totonacas, que se deben seleccionar las partes más tiernas de los quelites para su consumo.

Los quelites en la medicina tradicional

Los quelites eran integrados en rituales medicinales por las mayoras nahuas. Se trataba de un baño de quelites en el puerperio para ayudar a limpiar el útero de la mujer, agilizar su cicatrización y recuperar el calor que perdía al dar a luz. Para este fin, se elaboraba un preparado, frotando tres quelites en partes iguales (hierbamora, *Solanum americanum* y *Solanum nigrescens*, quitacalzón, *Phytolacca icosandra* y huautle, *Chenopodium berlandieri*) con refino o alcohol; esta preparación se dejaba reposar un día completo. Posteriormente se mezclaba con el "xaxtle" (los asientos que quedan del pulque), y se untaba la mezcla en el cuerpo de la mujer recién aliviada; luego ella debía tomar un baño de temazcal con leña de encino. Esos baños se repetían dos veces a la semana hasta que terminaba la cuarentena. Adicionalmente, en ambas etnias usaban los quelites dentro de la medicina tradicional para aliviar malestares estomacales, modular los niveles de presión arterial y para cicatrizaciones, en forma de pomadas caseras o agua de tiempo.

Ambas etnias usaban la clasificación humoral de frío-caliente (Tabla 4). Los quelites fríos estaban asociados con malestar físico, principalmente estomacal y los quelites calientes, asociadas con el color rojo. Eran empleados en la medicina tradicional para contrarrestar enfermedades de origen frío. A pesar de que era una clasificación compartida entre las etnias, las mayoras totonacas identificaron un mayor número de especies de quelites dentro de los grupos. Algunos quelites pueden ser considerados fríos o calientes por la misma etnia, pero en este caso en diferente municipio. Además, las mayoras nahuas del municipio de Tepeixco mencionaron el término "fresco" como una propiedad intermedia, más cercana al frío, que se basaba en la cantidad de agua que absorbían las plantas del rocío. Ellas consideraban que este estado era el punto óptimo para el consumo de los quelites.

Tabla 4. Clasificación de quelites por su propiedad frío-caliente
Table 4. Classification of quelites by their hot-cold properties

Propiedad		Nombre científico	Nombre común
Quelites fríos	Nahuas	*Chenopodium berlandieri* subsp. *nuttalliae*	Huauzontle
		Portulaca oleracea	Verdolaga
	Totonacos	*Amaranthus hybridus*	Quintonil grueso
		Sonchus asper	Endivia
		Brassica oleracea (blanco)	Nabo
		Sechium edule (*Sicyos edulis*)	Guía de espinoso
		Phytolacca icosandra	Quitacalzón
		Solanum americanum / *Solanum nigrescens*	Hierbamora
Quelites calientes	Nahuas	*Solanum americanum* / *Solanum nigrescens*	Hierbamora
		Piper auritum	Hoja santa

Propiedad	Nombre científico	Nombre común
Totonacos	*Xanthosoma robustum*	Malvaron
	Phaseolus coccineus	Guía de frijol ayocote
	Salvia microphylla	Mirto
	Phytolacca icosandra	Quitacalzón
	Piper auritum	Hoja santa
	Rumex crispus	Lengua de vaca

La siguiente Tabla 5 resume las principales diferencias y similitudes encontradas entre los conocimientos y prácticas de las mayoras nahuas y totonacas.

Tabla 5. Tabla comparativa de diferencias y similitudes entre mayoras nahuas y totonacas
Table 5 Comparative table of differences and similarities between Nahua and Totonac traditional cooks

Nahuas	Totonacas
Clasificación por apariencia	Afinidad por alimentos fermentados
Integran el término "fresco" dentro del humoral frío-caliente	Preferencia por recolectar los quelites al amanecer o al atardecer
Preferencia del uso de cazuelas de barro	Consideran que los quelites deben ser tratados con cariño
Integran los quelites en rituales medicinales	Toman en cuenta la influencia del clima para la cosecha o recolección de quelites
Uso de clasificación humoral frío-caliente	
El principal método de preparación es el sofrito	
La especie más importante es el quintonil, *Amaranthus hybridus*	
El principal factor en la reducción del consumo es el desinterés de los jóvenes	

DISCUSIÓN

Especies de quelites

El orden de importancia de familias botánicas por número de especies fue similar al de otros estudios. Amaranthaceae frecuentemente se encuentra en primer lugar (Ebel *et al.*, 2024), también en otras partes del mundo; Asteraceae, Brassicaceae y Fabaceae casi siempre juegan un papel sobresaliente (Bye & Linares, 2000). Con pocas excepciones, las especies documentadas en los cuatro municipios ya fueron registradas anteriormente en trabajos como el de Basurto-Peña *et al.* (1998) y el trabajo de Martínez *et al.* (2007). El número total - 38 - es parecido o incluso algo más alto que en otros estudios relativamente locales en regiones montañosas húmedas; este número alto probablemente se debe al trabajo intensivo con un número grande de personas conocedoras a lo largo de todo un año. Por ejemplo, en Xochitlán de Vicente Suárez, Sierra Norte de Puebla, se documentaron 36 especies de quelites (Basurto-Peña *et al.*, 2011), pero en otro estudio de plantas comestibles utilizadas por nahuas y totonacos de la misma región solo se reportaron 15 (entre 100 especies comestibles y 4 hongos; Caballero-Salas, 1984). En Tetlatzinga, Veracruz, parte de la Sierra de Zongolica, zona dominada por población nahua, se registraron 35 especies (Sánchez-Ramos, 2017). En un estudio de dos pueblos en la Sierra Negra de Puebla, Mota-Cruz *et al.* (2008) encontró 48 quelites entre 130 especies alimenticias. En regiones más grandes se han encontrado más especies: por ejemplo, en el Gran Nayar se reportaron 67 especies

de quelites aprovechadas por cuatro etnias: Coras (Náayeri), Huicholes (Wixárica), Nahuas (Mexicaneros) y Tepehuanos del sur (O'dam y Au'dam) (González-Elizondo *et al.,* 2024).
Las mayoras han observado una disminución en el consumo de quelites, incluso en sus propias familias. Atribuyeron la pérdida del consumo y conocimiento de los quelites en los municipios a la preferencia de los jóvenes por otros alimentos y al uso de herbicidas en los cultivos, aplicados principalmente para facilitar el trabajo agrícola, igual como en otras regiones (González-Jácome, 2022). En Álamos, Sonora, la estigmatización de los quelites como "comida de pobres" y el mayor acceso a alimentos comerciales fueron las principales causas de la disminución en consumo y conocimiento de los quelites (Félix-Rábago *et al.,* 2024). Sin embargo, en otros estudios se han observado tendencias positivas y una apreciación renovada de estos alimentos debido a influencias externas (Sánchez-Ramos *et al*., 2023).
La temporada principal del consumo de quelites, especialmente del colorín, era en Cuaresma y Semana Santa al igual que en Álamos, Sonora (Félix-Rábago *et al.,* 2024); en este lugar se tenía la tradición de comer quelites el miércoles de ceniza y el quelite preferido por la mayoría era la acelga, o sea, una especie exótica. En el estado de Hidalgo igualmente se observó un pico de consumo en Semana Santa (Pulido-Silva *et al.,* 2024). Las personas consumen los quelites en esta temporada porque evitan el consumo de carne como un acto religioso y de penitencia, el cual honra el sacrificio de Jesucristo.

Clasificación de los quelites

La clasificación "frío-caliente" es común dentro de la medicina tradicional mexicana para entender los efectos de plantas y algunos alimentos sobre el cuerpo humano (García-Hernández *et al.*, 2014; Álvarez-Quiroz *et al*., 2017). Para los tseltales, este sistema "aplica a todos los seres vivos y entidades sobrenaturales", lo consideran un elemento importante para comprender los agroecosistemas que los rodean Las personas deben guardar un equilibrio en la alimentación, el cuerpo y la vida en general entre los elementos fríos y calientes para llevar una vida sana (Torres-Méndez *et al*., 2019). En esta investigación, las mayoras no mencionaron específicamente un equilibrio, pero resaltaron las precauciones necesarias en el consumo de estos alimentos, dado que un exceso podía enfermar.
García-Hernández *et al.* (2022) describe como las características físicas, color y textura, pueden influir en su clasificación; a menudo, las plantas aromáticas son consideradas calientes, y aquellas que son verdes y crecen en sitios húmedos (como muchos quelites) son frías. Entre los mayas yucatecos se conoce "mano fría" y "mano caliente", hace referencia a las personas y su habilidad para cocinar o encender el fuego (Letcher-Lazo, 2022). La inclusión de una categoría intermedia representa un estado de balance en el sistema frío-caliente, y forma parte de la adaptabilidad del sistema a las condiciones locales y a la apreciación del entorno (García-Hernández *et al.,* 2022).
Caballero-Salas (1984) en Tuzamapan de Galeana y Yancuictlalpan, municipios náhuatl y totonaco de la Sierra Norte de Puebla, encontró que el sabor agrio o agridulce era una característica para identificar los quelites fríos. Su consumo excesivo provocaba malestar estomacal: "duele la barriga y sofoca". También encontró que las mujeres embarazadas o que tienen pocos días de dar a luz deben evitar comer quelites fríos, porque reducen el flujo de la leche materna, causan malestar estomacal y malestar estomacal al bebé por el consumo de la leche. Sin embargo, no hay reportes previos sobre la clasificación frío-caliente de las especies de quelite frescas de la región.
La categorización por apariencia es una forma de clasificación en la que las características principales por considerar son morfológicas y fenotípicas de los quelites, no se encontraron registros en otros trabajos en donde se menciona información similar. En resumen, se observaron similitudes y diferencias en la cultura culinaria entre las dos etnias, sobre todo con la preferencia para sabores agrias entre las totonacas; estas ya se habían observado en la cultura culinaria totonaca, pero aquí se mostró que también aplica a quelites. Además, se encontraron algunas otras diferencias en la clasificación y la actitud hacía quelites.
Los quelites todavía juegan un papel destacado en la alimentación de la población adulta. Pero, también se observó menosprecio hacía quelites, sobre todo en la población joven, que ya fue reportado por otros autores (p.ej. Vibrans, 2016). Además, se documentó el papel de la

practicidad en la obtención de estos alimentos. Estos dos resultados dan pistas para el fomento del consumo de quelites: una campaña que resalte los beneficios de los quelites para la salud y también en la cultura mexicana, y la promoción de la accesibilidad y consumo más atractivo para los jóvenes. Se tienen observaciones locales que la primera medida puede ser exitosa (Sánchez-Ramos *et al*., 2023); en otras partes de México y del mundo se conoce, por ejemplo, el secado como un método de conservación (Linares & Bye, 2009) y de hacerlas fácilmente disponibles.

Fuente de obtención de las especies

En tres de las cuatro comunidades, la principal fuente de abasto fue el huerto, aunque se había esperado que en primer lugar estuviera la milpa, como lo había encontrado, por ejemplo, Sánchez-Ramos (2017) en un estudio similar en la Sierra de Zongolica. Sin embargo, en tres sitios, las milpas estaban un poco más lejanas a las casas; por esto probablemente estaba en segundo lugar el mercado municipal. Solo en San Felipe, con tierras más pedregosas y pocos huertos, la principal fuente fue el monte, y en segundo lugar la milpa.

Técnicas de preparación y percepción de la sazón

La forma de preparar los quelites era, en general, similar a la conocida de otras regiones. Se registraron cuatro técnicas de preparación principales en común entre las mayoras nahuas y totonacas, sofrito, pochado, escaldado y blanqueado, además del consumo en crudo y las técnicas de preparación secundarias. Estos resultados confirman los de otros estudiosos del tema. Basurto-Peña *et al.* (1998), en un trabajo de síntesis, encontró que los quelites se consumen en crudo, guisados, al vapor, fritos, cocidos con carbonato, asados, hervidos en mole después de retirar la nervadura (*Xantosoma*). Molina (2000) reportó cinco maneras de preparar los quelites de otra parte de la Sierra Norte de Puebla, Zoatecpan, una comunidad nahua: asados, al vapor, herventados o hervidos, guisados y fritos. Resultados similares se obtuvieron entre Coras (Náayeri), Huicholes (Wixárica), Nahuas (Mexicaneros) y Tepehuanos del sur (O'dam y Au'dam) del Gran Nayar, quienes tendían a consumir los quelites en crudo, revueltos con huevo, guisados con cebolla y manteca (sofritos) (González-Elizondo *et al.,* 2024). En el estado de Hidalgo, la flor de izote (*Yucca* sp.), además de prepararla con huevo revuelto, también la integraban en mixiote. La causasan (*Peperomia peltilimba*), nombrada tequelite en varias partes de Hidalgo, es el ingrediente principal para los tamales de xala (tamal originario del Estado de Hidalgo, se prepara con base de masa de maíz, el relleno es de carne de res en salsa de ajonjolí, chile ancho, chile serrano, cilantro, frijol tierno de vaina y quelites), aunque también preparan estos quelites en mole, quesadillas o ensaladas (Pulido-Silva *et al*., 2024). Basurto-Peña *et al.* (1998) observó que algunas técnicas de preparación también tenían el propósito de mejorar su sabor o eliminar sustancias tóxicas como taninos, saponinas u oxalatos.

Las mayoras totonacas tenían una afinidad por los sabores fermentados y agrios. Ya era conocido de reportes previos que las totonacas utilizaban los fermentados intencionales como un método de conservación de los alimentos (Aguilera-Maduro, 2004; Gallego-Pérez, 2015); sin embargo, resalta la documentación de este trabajo y el hecho que no se acostumbra entre las cocineras nahuas que habitan la misma región. En una comunidad mazateca de la Sierra Negra de Puebla se registró un proceso similar en el que hierven los quelites y los dejan fermentar ligeramente durante dos días (Mota-Cruz *et al*., 2011). Andreu & Saaverdra-Coutado (2022) observaron que la fermentación a menudo es integrada dentro de las técnicas de preparación tradicionales debido a que aporta beneficios en la digestión y funciona como un método de conservación en los lugares donde la electricidad es inestable o no se cuenta con un refrigerador; este último factor fue confirmado por las entrevistadas. Es posible que este proceso también incremente el valor nutricional de estos alimentos, pero no se cuenta con datos sobre el tema.

Las mayoras totonacas identificaron este proceso como una característica cultural de su grupo étnico, si bien no fue reconocido en forma consciente por las nahuas. Para los totonacos la tradición juega un papel importante en su gastronomía, y en festividades elaboran platillos propios y distintivos de la cultura. Escamilla-Hurtado y Escamilla-Hurtado (2007) resaltan que las fermentaciones en general tienen origen prehispánico y eran una forma de expresión cultural

en México, contribuyendo valor al proceso o ritual culinario de su preparación, valorando la paciencia, conocimiento y tiempo de fermentación.
La definición de las mayoras coincide con el concepto técnico en la gastronomía formal, p.ej. de Cárdenas-Carrión (2014), quien describió la sazón como una habilidad intuitiva que se desarrolla a través de la experiencia. Las mayoras mencionan que la sazón es el sabor de la comida que se logra por medio de las técnicas de preparación. Un aspecto importante en la cocina basada de ingredientes frescos, en ese caso quelites, son las técnicas de preparación, ya que ayudan a la preservación de los nutrientes y sabor de los alimentos (Hernández-Albarrán, 2018).

Influencia del clima
Las mayoras totonacas resaltaron detalles relacionados a la hora y la forma de recolecta que aún no han sido explorados en trabajos previos. Hay estudios en donde se menciona que la hora de recolección es entre 6:00 am y las 12:00 pm, pero esto con el fin de que se encuentren frescos para su venta, no menciona si la hora de recolecta influye en su sabor (Viesca-González *et al.,* 2023). Estas observaciones muestran sensibilidad y capacidad de observación, dado que relacionan el manejo respetuoso de los quelites con un buen sabor, la conservación de su calidad y el fomento de su crecimiento. En estudios posteriores, se podría averiguar si el maltrato de la planta libera sustancias de defensa, como se conoce de algunas especies (Vivanco *et al.,* 2005; Camacho-Escobar *et al.,* 2020).

Los quelites en la medicina tradicional
Estudios etnobotánicos y farmacológicos han documentado las propiedades medicinales (antiinflamatorias, cicatrizantes, purgativas, *etc*.) de *Beta vulgaris, Brassica oleracea, Brassica rapa, Cucurbita pepo, Malva parviflora, Piper auritum*, *Phytolacca icosandra, Porophyllum macrocephalum, Rumex crispus*, *Salvia* sp., *Spinacia oleracea, Stellaria media, Taraxacum officinale* y *Vicia faba* (Velázquez-Viera *et al.*, 2014; Castro-Juárez *et al*., 2019; Mendoza-Maldonado *et al.*, 2020; Balcázar-Quiñones *et al.*, 2020; Morales-Figueroa, 2022), tanto en el uso oral como externo. Sin embargo, no se encontraron referencias a baños de quelites durante el puerperio. Flores-Cisneros (2003) explica que durante el baño de temazcal para mujeres recién aliviadas usan “duraznal, cerezal, aguacatal y hoja del cielo” sin profundizar en las especies botánicas o incluir nombres comunes de quelites. García-Hernández *et al.* (2014) encontraron que las plantas calientes eran las utilizadas para preparar los “baños”, pero en su caso se trataba principalmente de hierbas medicinales. Es posible que el uso de los quelites esté relacionado con el sistema frío-caliente, pero no se logró encontrar una explicación de esta práctica.

CONCLUSIONES

Se observaron diferencias entre nahuas y totonacas en la cultura culinaria alrededor de los quelites. Las totonacas empleaban la fermentación, lo cual no era el caso entre las nahuas. Las mayoras totonacas tomaban en cuenta la hora del día, el clima y la manera en cómo se sujetaban los quelites al momento de la recolecta. Las mayoras nahuas manejaban una clasificación de quelites por apariencia. No se encontraron diferencias sustanciales en la clasificación frío-caliente, aunque las mayoras nahuas integraban la categoría “fresco”. La principal técnica de preparación entre ambas etnias fue el sofrito. Un aspecto hasta ahora no considerado es el papel que juega la practicidad o facilidad en la obtención de estos alimentos. Si bien el uso y el conocimiento de los quelites sigue vigente en la Sierra Norte de Puebla, también se observó menos interés y estigmatización entre la población joven.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la Comisión Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (ahora Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación) por otorgar una beca a la primera autora (número 1257366), para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Agroecología y Sustentabilidad por el Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. Estamos muy agradecidas a las mayoras de Ahuacatlán, Tepeixco, San Felipe y Tepango por su apoyo y colaboración en esta investigación. Finalmente decimos gracias a Cristina, a la Sra. Eustolia, a la Sra. Juana y a Azucena, quienes apoyaron como traductoras de las entrevistas.

LITERATURA CITADA

Adame-Cerón, M. (2012). Hacia una antropohistoria sociocultural de la alimentación (y de la nutrición). En: Adame, M. (Comp.). *Alimentación en México: ensayos de Antropología e Historia*. Ediciones Navarra. México, D.F.

Aguilera-Maduro, R. (2004). Recetario totonaco de la costa de Veracruz. En: *Cocina Indígena y Popular*. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (CONACULTA) y Dirección General de Culturas Populares e Indígenas. México, D. F.

Alvarez-Quiroz, V., Caso-Barrera, L., Aliphat-Fernández, M., & Galamiche-Tejada, A. (2017). Plantas medicinales con propiedades frías y calientes en la cultura Zoque de Ayapa, Tabasco, México. *Boletín Latinoamericano del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, *16*(4), 428-454. http://www.redalyc.org/pdf/856/85651256007.pdf

Ander-Egg, E. (2011). *Aprender a investigar: nociones básicas para la investigación.* (1a ed.). Editorial Brujas. Córdoba, Argentina.

Andreu, M., & Saavedra-Coutado, C. (2022). El rol de los fermentos en la sostenibilidad alimentaria. *Nutrición Hospitalaria*, *39*, 56-59. https://dx.doi.org/10.20960/nh.04313

Báez, L. (2004). *Nahuas de la Sierra Norte de Puebla*. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, México. D. F.

Balcázar-Quiñones, A., White-Olascoaga, L., Chávez-Mejía, C., & Zepeda-Gómez, C. (2020). Los quelites: riqueza de especies y conocimiento tradicional en la comunidad otomí de San Pedro Arriba, Temoaya, Estado de México. *Polibotánica*, *49*, 219-242. https://doi.org/10.18387/polibotanica.49.14

Basurto-Peña, F., Martínez-Alfaro, M. A., & Villalobos-Contreras, G. (1998). Los quelites de la Sierra Norte de Puebla, México: inventario y formas de preparación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, *62*, 49-62. https://doi.org/10.17129/botsci.1550

Basurto-Peña, F., Evangelista-Oliva, V., Molina, N., & Alvarado, R. (2011). Frecuencia de consumo de quelites en la Sierra Norte de Puebla. En: Mera-Ovando, L. M., Castro-Lara, D. & Bye, R. (comps). *Especies vegetales poco valoradas: una alternativa para la seguridad alimentaria.* Universidad Nacional Autónoma de México, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Servicio Nacional de Recursos Filogenéticos para la Agricultura y la Alimentación. México, D. F.

Basurto-Peña, F. A., & Mapes-Sánchez, C. (2024). Manejo y aprovechamiento de quelites en la Sierra Norte de Puebla, México. *Etnobiología*, *22*(3), 46-62. https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/600

Boege, E. (2017). El patrimonio biocultural y los derechos culturales de los pueblos indígenas, comunidades locales y equiparables. *Diario de Campo*, *1*, 39-70.

Bye, R., & Linares, E. (2000). Los quelites, plantas comestibles de México: una reflexión sobre intercambio cultural. *Biodiversitas*, *31*, 11-14.

Caballero-Salas, L. (1984). Plantas comestibles utilizadas en la Sierra Norte de Puebla por totonacos y nahuas: Tuzamapan de Galeana y Yancuictlalpan, Puebla. [Tesis de

Licenciatura. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.]

Camacho-Escobar, M. A., Ramos-Ramos, D. A., Ávila-Serrano, N. Y., Sánchez-Bernal, E. I., & López-Garrido, S. J. (2020). Las defensas físico-químicas de las plantas y su efecto en la alimentación de los rumiantes. *Terra Latinoamericana*, *38*(2), 443-453. https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.629

Cárdenas-Carrión, B. M. (2014). Construcciones culturales del sabor: comida rarámuri. *Anales de Antropología*, *48*(1), 33-57. https://doi.org/10.1016/S0185-1225(14)70488-6

Castillo-Aja, H. (2003). *Recetario indígena de la Sierra Norte de Puebla (nahua y totonaco)*. CONACULTA y Dirección General de Culturas Populares e Indígenas. México, D. F.

Castro-Juárez, C. J., Villa-Ruano, N., Ramírez-García, S.A., & Mosso-González, C. (2019). Uso medicinal de plantas antidiabéticas en el legado etnobotánico oaxaqueño. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, *19*(1), 101-120.

Dorantes, E. F. (2019). Herencia ancestral: Ceremonia de los Voladores de Papantla. En: Astorga, H. R. (coord.). *Argumentos para la defensa y protección del Patrimonio Cultural de Pueblos y Comunidades Indígenas y Afrodescendientes en México y América Latina.* Comisión Nacional de los Derechos Humanos. Ciudad de México, México.

Ebel, R., Menalled, F. D., Morales-Payán, J. P., Baldinelli, G. M., Berríos-Ortiz, L., & Castillo-Cocom, J. A. (2024). Quelites-Agrobiodiversity beyond our crops. *Elementa Science of the Anthropocene*, *12*(1), 1-26. https://doi.org/10.1525/elementa.2022.00141

Escamilla-Hurtado, M. D. L., & Escamilla-Hurtado, M. G. (2007). Los alimentos fermentados que consumían nuestros bisabuelos prehispánicos. *Revista Ciencia*, *58*, 75-84.

Félix-Rábago, A., Hernández-Moreno, M. C., Leyva-Trinidad, D. A., Ortega-Vélez, M. I., & Valenzuela-Chacón, J. A. (2024). Los quelites del Pueblo de Álamos, Sonora. Conocimiento, consumo y valoración cultural de las familias rurales. *Etnobiología*, *22*(3), 3-23. https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/595

Flores-Cisneros, C. (2003). Saber popular y prácticas de embarazo, parto y puerperio en Yahuío, Sierra Norte de Oaxaca. *Perinatología y Reproducción Humana*, *17*(1), 36-52.

Gallego-Pérez, A. F. (2015). *Guía gastronómica de los Totonacas.* [Folleto]. Culinary Art School. México, D. F.

García-Hernández, K. Y. (2014). Sistema médico tradicional rru ngigua (chocho) y el complejo uso de plantas medicinales en San Miguel Tulancingo, Oaxaca. [Tesis de Maestría en Ciencias, Posgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México].

García-Hernández, K. Y., Vibrans, H., & Vargas-Guadarrama, L. A. (2022). "Frío" y "caliente" en México: categorías, dominios y distribución de un sistema de clasificación popular mesoamericano. *Cuicuilco, Revista de Ciencias Antropológicas*, *29*(84), 107-149.

Gómez-Pompa, A. (ed. responsable). (1978 en adelante). *Flora de Veracruz*. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Ver.

González-Elizondo, M., Ávila-González, H., Piedra-Leandro, N. L., Castro-Castro, A., González-Elizondo, M. S., & Luna-Vargas, U. (2024). Quelites del Gran Nayar, un acercamiento. *Etnobiología*, *22*(3), 24-45. https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/597

González-Jácome, A. (2022). *Traditional Mexican agriculture: a basis for sustainable agroecological systems*. CRC Press. Boca Raton, Florida.

Guerra-Ramírez, D. (2024). Begonias comestibles de Santiago Ecatlán, municipio de Jonotla, Puebla, México. *Polibotanica*, *57*(29), 249-262. https://doi.org/10.18387/polibotanica.57.15

Guevara-Romero, M. L., & Montalvo-Vargas, R. (2015). Cambio de uso de suelo y vegetación derivados de la dotación de infraestructura: Sierra Norte del Estado de Puebla. *Nova Scientia*, *7*(13), 314-336.

Hernández-Albarrán, L. (2018). De cultura alimentaria, cocina tradicional y gastronomía mexicana: algunas reflexiones. *Diario de Campo*, *4*, 15-27.

Incháustegui, C. (2008). *Nahuas de la Sierra Negra (Norte) de Puebla. Proyecto Perfiles Indígenas de México, documento de trabajo.* Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. México, D.F. 1-40.

Instituto de Ecología, A.C. (Serie de publicaciones) (1991 en adelante). *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Pátzcuaro, Michoacán.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2021). *Aspectos geográficos, Estado de Puebla.* Aguascalientes, Ags. 1-51.

Instituto Nacional de Pueblos Indígenas (INPI) (2016). *Cocina tradicional indígena de los totonacos de Veracruz*. Gobierno de México. Disponible en: https://www.gob.mx/inpi/articulos/gastronomia-indigena-totonaca-de-veracruz (consultado el 07 de diciembre 2025).

Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas (INPI) (2020). *Atlas de los Pueblos Indígenas de México: Nahuas de Puebla*. Disponible en: https://atlas.inpi.gob.mx/nahuas-de-puebla/ (consultado el 04 de febrero de 2025).

Letcher-Lazo, C. J. (2022). La mano fría y la mano caliente: un estudio de la metonimia en el maya yucateco. *Estudios de Cultura Maya*, *104*, 217-238. https://doi.org/10.19130/iifl.ecm.59.22x878

Linares, E., & Bye, R. (2009). Los quelites… alimentos de excelencia. *Sabor a México*, *14*, 4-8.

Martínez, M. A., Evangelista-Oliva, V., Basurto-Peña, F., Mendoza, M. & Cruz-Rivas, A. (2007). Flora útil de los cafetales en la Sierra Norte de Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *78*, 15-40.

Martínez-Alfaro, M. A., Evangelista-Oliva, V., Mendoza-Cruz, M., Morales-García, G., Toledo-Olazcoaga, G., & Wong-León, A. (1995). *Catálogo de plantas útiles de la Sierra Norte de Puebla, México*. Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Mapes-Sánchez, C., Morales Guerrero, J. C., Peralta Rodríguez, L., Basurto-Peña, F. A., Sánchez Vargas, P. E., & Bautista, L. (2024). Composición nutrimental de hojas de *Amaranthus* "quintoniles" de la Sierra Norte de Puebla, México. *Etnobiología*, *22*(3), 210-222. https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/655

Masferrer-Kan, E. (2004). *Totonacos*. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. México, D. F.

Meléndez-Torres, J. M., & Cañez de la Fuente, G. M. (2009). La cocina tradicional regional como un elemento de identidad y desarrollo local. El caso de San Pedro El Saucito, Sonora, México. *Estudios Sociales*, *17*, 181-204.

Mendoza-Maldonado, A., Aparicio, M. S., & Castro-Ramírez, A. E. (2020). Etnobotánica medicinal de comunidades Ñuu Savi de la Montaña de Guerrero, México. *Etnobiología*, *18*(2), 78-94. https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/367

Mircea, E. (2001). *El mito del eterno retorno. Arquetipos y repetición*. Alianza Editorial. Buenos Aires, Argentina.

Molina, N. (2000). *Etnobotánica de quelites en el sistema milpa en Zoatecpan, una comunidad indígena náhuatl de la Sierra Norte de Puebla*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.].

Morales-Figueroa, A. N. (2022). Entre la medicina tradicional y la medicina doméstica: Un conocimiento vigente frente a la COVID-19 en la región Lerma Bajío. *Revista Chicomoztoc*, *4*(8), 9-51 https://doi.org/10.48705/chztk.v4i8.1396

Mota-Cruz, C. (2008). *Plantas comestibles en la Sierra Negra de Puebla, México*. [Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México].

Mota-Cruz, C., Vibrans, H., Ortega, R., & Koch, D. (2011). Quelites entre nahuas y mazatecos en una región de bosque mesófilo del sureste de Puebla, México. En: Mera, L. M., D. Castro & R. Bye (comps.). *Especies vegetales poco valoradas: una alternativa para la seguridad alimentaria*. Universidad Nacional Autónoma de México, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Sistema Nacional de Recursos Filogenéticos para la Agricultura y la Alimentación. México, D.F.

Recibido:
20/mayo/2025

Aceptado:
1/diciembre/2025

Muñoz-Lobato, M. R. (2023). La resistencia indígena ante la colonización española del pueblo Náhuatl, Totonaca y Otomí en Zacatlán de la Sierra Norte de Puebla de 1531 a 1809. Un estudio demográfico. *Emergentes*, *3*(2), 112-132. https://doi.org/10.60112/erc.v3i2.37

Otzen, T. & Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. International Journal of Morphology, *35*(1), 227-232. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037

Pulido-Silva, M. T., Briseño-Tellez, J. M, Juárez-Martínez, N., León-Islas, H. C., Serrano-Avilés, T., Kanek-Reyes, L., Pérez-González, L. S., & Basurto-Peña, F. (2024). Los quelites en Hidalgo, México: Cuáles son, cómo son percibidos y quiénes los venden? *Etnobiología*, *22*(3), 63-82. https://www.revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/604

Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski & colaboradores, 2005. *Flora fanerogámica del Valle de México.* 2a. ed., 1a reimp., Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán.

Sánchez-Ramos, C. (2017). *Los quelites en la alimentación de Tetlantzinga, Soledad, Atzompa, Veracruz, México*. [Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México].

Sánchez-Ramos, C., Vibrans, H., Rivas-Guevara, M., Linares-Mazari, E., García-Moya, E., & Saynes-Vásquez, A. (2023). Preserving healthy eating habits: quelites in the food system of Nahua mountain community, Mexico. En: Casas, A., & Blancas Vázquez, J. J. (eds.). *Ethnobotany of the Mountain Regions of Mexico* (pp. 431-451). Springer Nature. Cham, Suiza. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99357-3_12

Secretaría de Economía. (2020a). *Ahuacatlán, Puebla*. Gobierno de México. Disponible en: https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/ahuacatlan-21006 (consultado el 10 de julio, 2024).

Secretaría de Economía. (2020b). *Tepango de Rodríguez, Puebla*. Gobierno de México. Disponible en: https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/tepango-de-rodriguez (consultado el 10 de julio, 2024).

Secretaría de Economía. (2020c). *San Felipe Tepatlán, Puebla*. Gobierno de México. Disponible en: https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/san-felipe-tepatlan (consultado el 10 de julio, 2024).

Torres-Méndez, S. A., Caso-Barrera, L., & Aliphat-Fernández, M. M. (2019). Conocimiento ecológico, alimentación tradicional y clasificación frío-caliente: la perspectiva de los niños tseltales de Tenejapa, Chiapas. *LiminaR. Estudios Sociales y Humanísticos*, *17*(2), 148-166 https://doi.org/10.29043/liminar.v17i2.673

Velázquez-Viera, D., Guyat-Dupuy, M. A., Manzanares-Ayala, K., Aguirre-Dorado, B., & Gelabert-Ayon, F. (2014). Etnobotánica: Empleo de plantas para uso medicinal. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, *2*(1), 1-14.

Vibrans, H. (2016). Ethnobotany of Mexican weeds. En: Lira, R., Casas, A. & Blancas, J. (eds.). *Ethnobotany of Mexico. Interactions of people and plants in Mesoamerica*. Springer, New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6669-7_12

Viesca-González, F. C., Alvarado-Carrillo, D. D. J., & Quintero-Salazar, B. (2023). Los quelites en la ciudad de Toluca, México: su recolección, comercialización y consumo. *Estudios Sociales, Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, *32*(59), 1-30. https://doi.org/10.24836/es.v32i59.1158

Vivanco, J. M., Cosio, E., Loyola-Vargas, V. M., & Flores, H. E. (2005). Mecanismos químicos de defensa en las plantas. *Investigación y Ciencia, 341*(2), 68-75.

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

Litsea glaucescens Y *Clinopodium macrostemum* RECURSOS FORESTALES NO MADERABLES EN MERCADOS TRADICIONALES DE LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA

Litsea glaucescens AND *Clinopodium macrostemum* NON-TIMBER FOREST RESOURCES IN TRADITIONAL MARKETS OF THE CENTRAL VALLEYS OF OAXACA

Jarquín-Rosales, D., G.V. Campos Angeles, V.J. Reyes-Hernández, S. Lozano-Trejo, J.J. Alpuche-Osorno, G. Rodríguez-Ortiz

Litsea glaucescens Y *Clinopodium macrostemum* RECURSOS FORESTALES NO MADERABLES EN MERCADOS TRADICIONALES DE LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA
Litsea glaucescens AND *Clinopodium macrostemum* NON-TIMBER FOREST RESOURCES IN TRADITIONAL MARKETS OF THE CENTRAL VALLEYS OF OAXACA

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 409-425 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.23

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

POLIBOTÁNICA

Núm. 61: 409-425 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Litsea glaucescens y *Clinopodium macrostemum* recursos forestales no maderables en mercados tradicionales de los Valles Centrales de Oaxaca

Litsea glaucescens and *Clinopodium macrostemum* non-timber forest resources in traditional markets of the Central Valleys of Oaxaca

Domitila Jarquín Rosales https://orcid.org/0000-0003-3721-8858
Tesista del Programa de Doctorado en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas

Gisela Virginia Campos-Ángeles / gisela.ca@voaxaca.tecnm.mx
http://orcid.org/0000-0003-2258-7124
Profesor(a) – investigador(a), TecNM/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). División de Estudios de Posgrado e Investigación. Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. C.P. 71233

Valentín José Reyes-Hernández http://orcid.org/0000-0002-1804-412X
Profesor(a) -investigador(a) del Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco KM. 36.5, Montecillo, Texcoco Estado de México, C.P. 56230

Salvador Lozano Trejo https://orcid.org/0000-0001-6809-948X
Profesor(a) – investigador(a), TecNM/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). División de Estudios de Posgrado e Investigación. Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. C.P. 71233

Juan José Alpuche Osorno https://orcid.org/0000-0002-8532-6717
Profesor (a)-Investigador, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, Facultad de Medicina y Cirugía. Ex-hacienda de Aguilera S/N, Col. Reforma, CP. 68020

Gerardo Rodríguez-Ortiz http://orcid.org/0000-0003-0963-8046
Profesor(a) – investigador(a), TecNM/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). División de Estudios de Posgrado e Investigación. Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. C.P. 71233

RESUMEN: Los mercados tradicionales son lugares de intercambio de productos y conocimientos que guarda la población que converge en ellos, el objetivo de la investigación fue caracterizar la comercialización de *Litsea glaucescens* y *Clinopodium macrostemum* en cuatro mercados de los Valles Centrales de Oaxaca. Se aplicaron entrevistas semiestructuradas, usando la técnica entrevista-compra a vendedores propios de *C. macrostemum* y *L. glaucescens*, de noviembre de 2022 a marzo de 2024. Las plantas adquiridas con estructuras reproductivas fueron herborizadas en el herbario del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca para su identificación. Se estimó el índice de valor de uso, valor cultural, económico e importancia relativa de las especies. Se identificaron 19 procedencias, de las cuales el 78.68% tienen un alto grado de marginación, ubicadas entre los 1782 a 3197 m de altitud. En los cuatro mercados estudiados, *C. macrostemum* presenta un valor cultural significativamente mayor con índices que oscilan entre 2.5 y 3.46 en una escala de 0 a 4, superando los valores de *L. glaucescens* que van de 2 a 2.64. También muestra una importancia relativa más alta con rangos de 0.88 a 1.0, frente a los valores de 0.46 a 0.75 de *L. glaucescens*. Lo mismo ocurre con el valor de uso donde *C. macrostemum* obtuvo valores mayores que los de *L. glaucescens.* La dinámica de la comercialización está fuertemente influenciada por el

Domitila Jarquín-Rosales, Gisela Virginia Campos Angeles, Valentín José Reyes-Hernández, Salvador Lozano-Trejo, Juan José Alpuche-Osorno, Gerardo Rodriguez-Ortiz

Litsea glaucescens Y *Clinopodium macrostemum* RECURSOS FORESTALES NO MADERABLES EN MERCADOS TRADICIONALES DE LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA

Litsea glaucescens AND *Clinopodium macrostemum* NON-TIMBER FOREST RESOURCES IN TRADITIONAL MARKETS OF THE CENTRAL VALLEYS OF OAXACA

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 409-425. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.23

uso de las especies y su importancia cultural, debido a que las festividades culturales-religiosas determinan la disponibilidad de ambas especies en los mercados.
Palabras clave: Importancia Cultural, Mercados tradicionales, Valor económico, Valor de uso.
ABSTRACT: Traditional markets serve as spaces for the exchange of a wide variety of products and for the transmission of local knowledge preserved by the communities that converge within them. The objective of this study was to characterize the commercialization of *Litsea glaucescens* and *Clinopodium macrostemum* in four markets of the Central Valleys of Oaxaca. Semi-structured interviews were conducted using the purchase-interview technique with vendors who regularly sell *C. macrostemum* and *L. glaucescens*, between November 2022 and March 2024. Specimens bearing reproductive structures were collected and processed at the herbarium of the Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca for taxonomic identification. Indices of use value, cultural and economic importance, and relative importance were estimated for both species. A total of 19 points of origin were identified, 78.68% of which correspond to areas with high levels of marginalization, located between 1,782 and 3,197 meters above sea level. Across the four markets studied, *C. macrostemum* exhibited a significantly higher cultural value, with scores ranging from 2.5 to 3.46 on a scale of 0 to 4, compared to *L. glaucescens*, which ranged from 2 to 2.64. Similarly, *C. macrostemum* showed greater relative importance, with values between 0.88 and 1.0, while *L. glaucescens* ranged from 0.46 to 0.75. The same pattern was observed in use value, where *C. macrostemum* consistently scored higher. The dynamics of commercialization are strongly influenced by the cultural significance and traditional uses of these species, as their availability in markets is closely tied to cultural and religious festivities.
Key words: Cultural Importance, Traditional markets, Economic value, Use value.

INTRODUCCIÓN

Los mercados tradicionales en todo el mundo se reconocen como espacios donde se intercambian plantas y sus productos derivados, representan de alguna forma a la región en donde se localizan, debido a la interacción de su diversidad cultural y biológica que provoca el flujo de información de diferentes culturas. En consecuencia, se custodia la sabiduría local (Asra *et al*., 2023; Davies *et al*., 2022; Tinitana *et al*., 2016), por lo que se han convertido en lugares donde las culturas se expresan a través del comercio regional y local lo que provoca que se comercialicen o intercambien especies silvestres sin importar su estatus de conservación (Hernández-Flores & Vargas-Licona, 2023; Newing *et al*., 2023). Cabe señalar que son parte esencial de los sistemas socio-ecológicos que se forman para enfrentar los desafíos de la sobrevivencia para llegar a un aprovechamiento sustentable mediante la conservación impulsada por el uso; que, a su vez, sea un incentivo para el desarrollo de las comunidades y que aumente su sentido de protección de sus recursos (Chishaleshale *et al*., 2024).

En México los mercados tradicionales son elementos sustanciales de la diversidad cultural que la caracterizan, por lo que son de gran importancia (Argueta-Villamar, 2016). El estado de Oaxaca cuenta con una riqueza biológica que lo distingue, pues destaca como uno de los tres estados de la república mexicana más diversos junto con Chiapas y Guerrero (CONABIO, 2024), además en él se encuentran 16 grupos étnicos (Pérez-Ochoa *et al*., 2019), que guardan conocimiento tradicional de las especies con las que han co-evolucionado y con las cuales han creado un paisaje de un alto valor biocultural debido a que las utilizan como alimento, vivienda y medicina. Incluso para algunas familias se convirtieron en un medio de vida, ya que las comercializan en los mercados regionales generando ingresos económicos que los ayudan a adquirir bienes externos (Badger & Macrory, 2022; Fierros & Ávila-Foucat, 2017; Serralta-Batun *et al*., 2023).

En los Valles Centrales del estado de Oaxaca destacan por su importancia cinco mercados (plazas): Villa de Zaachila, Etla, Tlacolula, Ocotlán y la Central de Abastos; donde convergen personas de comunidades rurales con algún grado de marginación y en consecuencia con recursos económicos limitados, que ofrecen plantas silvestres frescas como parte de los bienes y servicios

Núm. 61: 409-425 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

que se venden o intercambian; en su mayoría por mujeres que apoyan la economía familiar (Molina-Luna & Cancino, 2016).

Las especies silvestres comercializadas en los mercados son recolectadas y ofertadas frescas durante los días de plaza, se pueden clasificar por su uso en: religiosas, comestibles, medicinales y ornato, (Molina-Luna & Cancino, 2016), por otra parte, la NOM 059 SEMARNAT clasifica las especies por su grado de vulnerabilidad, en la cual el *C. macrostemum* no está incluido, mientras que el *L. glaucescens* se encuentra en la categoría "en peligro de extinción" (SEMARNAT, 2010). Este tiene un alto valor biocultural ya que constituye uno de los principales productos forestales no maderables de México debido a su uso como condimento. Además, de ser utilizado en la medicina tradicional para tratar diarreas, vómitos y enfermedades relacionadas con el sistema nervioso central como la epilepsia, ansiedad y depresión; y es parte de las hierbas usadas en los baños postparto y ceremonias religiosas (López-Romero *et al*., 2018; Razo-Zarate *et al*., 2019).

Otra de las especies que son distribuidas en los mercados de Oaxaca es el *C. macrostemum*, que se usa en diferentes festividades como bodas, mayordomías y otras ceremonias religiosas, donde se obsequia a los invitados (García-Reyes *et al*., 2023). Esta planta también tiene un uso medicinal, ya que es utilizada para vómitos, malestar estomacal, resaca, dolor de muelas y nerviosismo (García-Reyes *et al*., 2023; Silva-Castellanos *et al*., 2021).

Por estas razones, ambas especies son demandadas en los mercados tradicionales lo que genera un elevado riesgo para su conservación, aunque *C. macrostemum* no tiene ninguna restricción de aprovechamiento mientas que *L. glaucescens* se encuentra incluida en la NOM-059-SEMARNAT, debido a lo anterior es crucial atender esta problemática, por lo que el objetivo de la investigación fue caracterizar la comercialización de *Litsea glaucescens* y *Clinopodium macrostemum* en cuatro mercados de los Valles Centrales de Oaxaca.

MÉTODOS

Mercados tradicionales

Los mercados tradicionales donde acuden vendedores propios, que ofrecen productos sin intermediarios, se encuentran estratégicamente localizados, de manera que acuden a ellos los vendedores de comunidades cercanas, por lo que pocas veces visitan más de uno. Todos tienen lugar, un día a la semana a excepción de la Central de Abastos en donde se realizan los días martes, viernes y sábados. Por esta razón, se eligieron cuatro mercados de los, Valles Centrales: la Villa de Zaachila (jueves), Ocotlán de Morelos (viernes), Tlacolula de Matamoros (domingo) y la Central de Abastos (martes, viernes y sábado).

Recopilación de la información

El estudio se realizó entre noviembre de 2022 y marzo de 2024, cuando se hicieron recorridos en los cuatro mercados, donde se identificaron por observación directa a 45 vendedores-recolectores (Zaachila:15; Ocotlán de Morelos:9; Tlacolula de matamoros:6; Central de Abastos:14), de *C. macrostemum* y *L. glaucescens*. Se aplicó una entrevista semi estructurada con un enfoque etnobotánico, con la técnica "entrevista-compra" reportada por Estrada, (1985). Se preguntó la edad, el género, la procedencia de las especies, el precio, la presentación para la venta, los usos que les dan, la parte utilizada, la cantidad y época de comercialización. Se compraron y pesaron "rollos" de ambas especies en la presentación común de venta al menudeo. Con base en lo anterior se calculó el precio por kg.

Identificación de las especies

Para la identificación taxonómica se adquirieron plantas completas de las especies denominadas poleo y laurel que fueron identificadas y herborizadas mediante la utilización de claves taxonómicas de la familia Lauraceae (van der Werff & Lorea, 1997) y para el género *Clinopodium* (González-Gallegos *et al*., 2023); la identidad se corroboró con ejemplares depositados en el herbario del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca y el herbario en línea del jardín botánico

BUAD, Puebla, México (HUAP). También se registró la coloración de las hojas y flores frescas utilizando la carta Munsell para tejidos vegetales (Munsell, 2012).

Índices de importancia etnobotánica

Se calculó el índice de importancia cultural (IC) propuesto por Tardío & Pardo-De-Santayana, (2008), que se basa en los reportes de uso por especies. Donde: el reporte de uso (RU) es el evento en el cual el informante i menciona el uso de la especie e en la categoría de uso u (Castañeda-Sifuentes & Albán Castillo, 2016).

También se calculó el valor general de uso de cada especie (UVs) para lo cual antes se determinó para cada informante el valor de uso de cada especie ($UVis$) como lo describen Gómez-García *et al*., (2016).

Por otra parte, también se calculó el índice de importancia relativa para ambas especies donde el índice de importancia relativa IRs resulta de la frecuencia de citación superior máxima $FRCs(\max)$, (obtenida de dividir sobre el valor máximo de citación en todas las especies del estudio $FRCs(max) = FCs/\max(FC)$, más el número relativo de uso máximo de categorías $NRUs(max)$ (obtenido de la división del número de usos de la especie $NUs = \sum_{u=u}^{u=uNC} RUu$ sobre el máximo valor de categorías de uso en base a todas las especies del estudio $NRs(max) = NUs/\max(NU)$ entre 2, descrita por Moncayo & Diago (2022).

Mientras que el Índice de valor económico se calculó tomando en cuenta el total de informantes considerados en el estudio (Tlc) entre el total de informantes que comercializan la especie e ($Tlce$) por el costo por kilogramo de la especie e (PLe). $VEe = (Tlc/Tlce) * PLe$ como lo indica Brown, (1984) y Romo-Lozano *et al*., (2017).

RESULTADOS

Identificación de las especies.

La especie llamada comúnmente laurel fue identificada como *Litsea glaucescens* Kunth, mientras que la que se denomina como *C. macrostemum* se identificó como *Clinopodium macrostemum* (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze; ambas comercializadas ampliamente en los cuatro mercados de los Valles Centrales de Oaxaca.

Litsea glaucescens Kunth es un arbusto con una sinonimia homotípica de *Tetranthera glaucescens* (Kunth) Spreng. De acuerdo con el listado de Plants of the World Online (*Litsea glaucescens* Kunth), pertenece a la familia Lauraceae, tiene flores blancas dispuestas en racimos con corola pequeña y abundante; con un pistilo dividido en cuatro lóbulos estigmáticos; hojas alargadas de 6.96 cm de largo y 1.65 cm de ancho en promedio; color verde intenso en el haz 5GY en el haz (claridad 3, pureza 4), y el envés color verde claro 7.5GY (claridad 6, pureza 6), tallos de color marrón 10R (claridad 3, pureza 2) Munsell de colores vegetales (Figura 1).

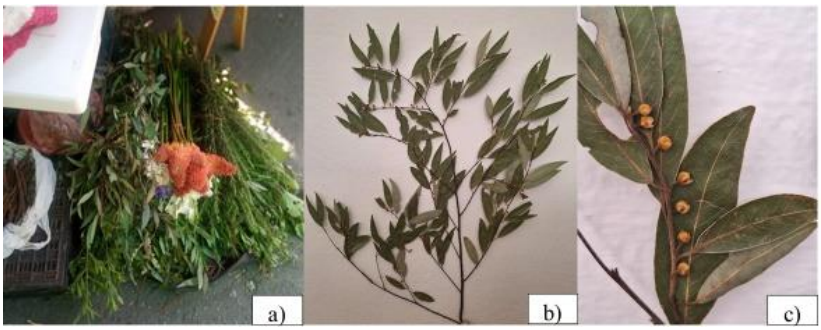


Figura 1. a) *Litsea glaucescens* Kunth comercializado en mercados tradicionales de Oaxaca. b) Individuo silvestre de *L. glaucescens* silvestre y c) Botones florales.

Figure 1. a) *Litsea glaucescens* Kunth sold in traditional markets in Oaxaca. b) Wild individual of wild *L. glaucescens* and c) Flower buds.

En lo que respecta a *Clinopodium macrostemum* (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze es un arbusto endémico de México que pertenece a la familia Lamiaceae, de acuerdo con el listado Plants of the World Online tiene sinónimas homotípicas con *Calamintha macrostema* (Moc. y Sessé ex Benth.) Benth; *Melissa macrostema* Moc. Sessé ex Benth. Y *Satureja macrostema* (Moc. y Sessé ex Benth.) Briq. (*Clinopodium macrostemum* (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze). Los individuos herborizados presentaron flores en forma de campana de color rojo R10 (claridad 4, pureza 10) según la carta Munsell de colores para tejidos vegetales, de 1.5 cm de largo y 0.58 cm de ancho, con cuatro anteras y un pistilo sin divisiones. Las hojas son de color verde 7.5GY (claridad 8, pureza 8) y miden en promedio 3.52 cm de largo por 1.41 cm de ancho, presentaron una distancia entre nudos de 4.33 cm (Figura 2).

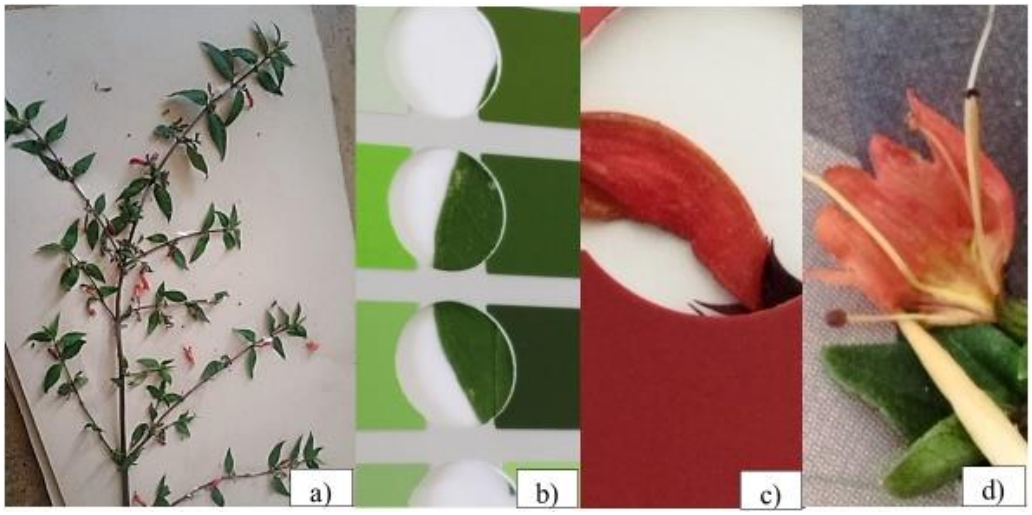


Figura 2. a) Espécimen de *C. macrostemum* (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze colectado en los mercados; b) color de las hojas, c) color de las flores d) Corte longitudinal de una flor.
Figure 2. a) Specimen of *C. macrostemum* (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze collected at markets; b) leaf color; c) flower color; d) Longitudinal section of a flower.

Comercialización de *L. glaucescens* y *C. macrostemum*

En todos los mercados estudiados se ofertan plantas silvestres de *L. glaucescens* y de *C. macrostemum*, en donde su procedencia está determinada por la localización geográfica del mercado; de tal manera que, a Zaachila llegan vendedores que colectan las plantas en comunidades de los Valles Centrales; a Ocotlán de la Sierra Sur y de los Valles Centrales; y a Tlacolula de la Sierra Norte y los Valles Centrales. Cabe destacar que el mercado de la Central de Abasto es el único a donde acuden vendedores que colectan las plantas en los Valles Centrales, Sierra Norte y la Mixteca. Todas las comunidades de donde se extraen ambas especies tienen en común que se encuentran en zonas boscosas en altitudes mayores a los 1782 m y el 73.68% de ellas tienen un alto grado de marginación de acuerdo con la CONAPO, (2020) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de las comunidades que comercializan *L. glaucescens* y *C. macrostemum* silvestres
Table 1. Characteristics of the communities that commercialize *L. glaucescens* and wild *C. macrostemum*

Mercado	Procedencia	Región	Altitud media (m)	Grado de Marginación
Tlacolula de Matamoros	Benito Juárez, Santa Catarina Lachato	Sierra Norte	2270	Medio
	Cuajimoloyas, San Miguel Amatlán	Sierra Norte	3197	Bajo
	San Miguel del Valle, Villa de Diaz Ordaz	Valles Centrales	1782	Alto
Villa de Zaachila	San Pedro y San Pablo Ayutla	Sierra Norte	2040	Muy alto
	San Miguel Peras	Valles Centrales	2080	Muy alto
	Santiago Clavellinas, Zimatlán de Álvarez	Valles Centrales	2278	Medio
	Santa Inés del Monte	Valles Centrales	2198	Alto
	La Cumbre, San Pablo Cuatro Venados	Valles Centrales	2789	Muy alto
Central de abastos	San Juan Ixtaltepec, San Pedro Coxcaltepec	Mixteca	2163	Alto
	San Juan Xochiltepec, San Antonio Huitepec	Valles Centrales	2469	Alto
	El Punto, Santa Catarina Ixtepeji	Sierra Norte	2385	Medio
	Nuevo Zoquiapam	Sierra Norte	2154	Medio
	La Guacamaya, San Antonio Huitepec	Valles Centrales	2340	Alto
	San Pablo Cuatro Venados	Valles Centrales	2359	Muy alto
	Magdalena Mixtepec	Valles Centrales	1982	Muy alto
Ocotlán de Morelos	San José del Pacífico, San Mateo Río Hondo	Sierra Sur	2350	Alto
	La Cieneguilla, San Mateo Río Hondo	Sierra Sur	2840	Alto
	San Miguel Coatlán	Sierra Sur	1870	Muy alto
	San Miguel Mixtepec	Valles Centrales	2275	Muy alto

Mercados, procedencia=Agencias municipales o municipios de Oaxaca, región=región geográfica de Oaxaca, Altitud media (INEGI, 2022), Grado de marginación (CONAPO, 2020).

Estas especies son comercializadas en los diferentes mercados, en un 68% por mujeres amas de casa con edades entre 24 y 59 años; y en un 20% mayores a 59 años; llama la atención que solo el 11.11% de los que comerciantes son hombres relativamente jóvenes ya que su edad fluctúa entre los 24 y 59 años (Figura 3a). Esta tendencia se mantuvo en los mercados de Zaachila, la Central de Abastos y Ocotlán. Al contrario, llama la atención que en el mercado de Tlacolula el 42.86% de las mujeres comerciantes son mayores de 59 y el otro 42.86% tienen entre 24 y 59 años, y el 14.29% son hombres entre 24 y 59 años (Figura 3b).

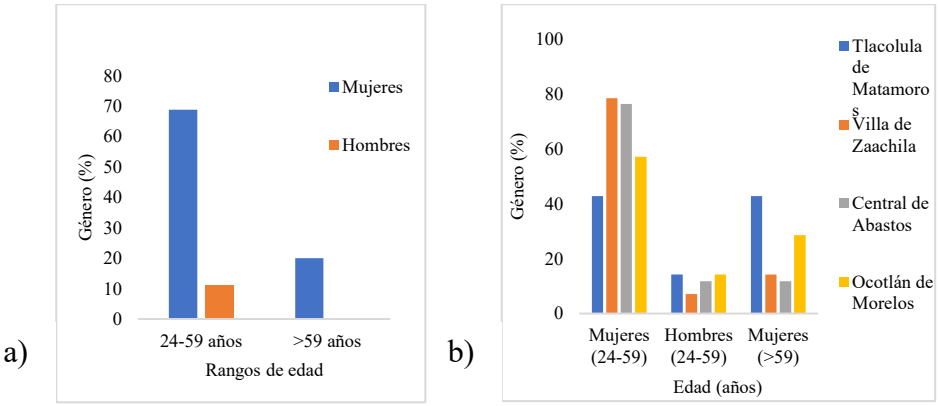


Figura 3. Porcentaje de hombres y mujeres con diferentes rangos de edad que comercializan *L. glaucescens* y *C. macrostemum* a) en los Valles Centrales de Oaxaca y b) en los diferentes mercados estudiados.
Figure 3. Percentage of men and women across different age groups engaged in the trade of *L. glaucescens* and *C. macrostemum*: a) In the Central Valleys of Oaxaca b) In the various studied markets.

Usos e importancia de las especies

En los cuatro mercados es notorio que la demanda de las dos especies estudiadas responde a las festividades de la época, debido a que ambas se comercializan regularmente durante todo el año. Sin embargo, en todos ellos la cantidad presente de *L. glaucescens* aumenta considerablemente en Semana Santa y sus vísperas, por el contrario, la venta de *C. macrostemum* se ve disminuida en estas fechas. Otra festividad en donde aumenta la comercialización de ambas especies es durante la época navideña.

El total de las personas entrevistadas refirieron que usan *L. glaucescens* con fines alimenticios, cultural-religiosos y sólo las entrevistadas en los mercados de la Villa de Zaachila y la Central de Abastos mencionaron el uso medicinal. Los padecimientos referidos en ambos lugares fueron la gripe y la tos, mientras que en la Central de Abastos también indicaron que los usan para aliviar los cólicos menstruales y como parte de los baños postparto; para todos los usos anteriores emplean las hojas sin ramas, mientras que para fines cultural-religiosos las ramas (Hojas tallos, flores y frutos).

Por lo que respecta a *C. macrostemum*, se pudo identificar que, aunque se comercializa todo el año, las cantidades que se venden se incrementan durante la época navideña, cabe resaltar que en el único mercado que se documentó su venta durante la Semana Santa fue la Central de Abastos y en poca cantidad. Para esta especie en tres de los cuatro mercados se registraron tres usos: medicinal, ornamental y cultural-religioso; mientras que el uso alimenticio solo fue mencionado en la Central de Abastos en donde indicaron que lo agregan como condimento, en este mercado también se mencionó su uso para seis padecimientos diferentes, en los cuales se utilizan las ramas completas lo que incluye hojas, tallos y flores cuando están presentes.

Como consecuencia de lo anterior, al calcular el valor de uso alimenticio este fue mayor para el *L. glaucescens* en los mercados de Tlacolula, Central de Abastos y Ocotlán, con valor promedio de 0.33, es importante mencionar que en el mercado de Zaachila ese valor fue igual al del uso cultural-religioso. Mientras que ese mismo índice para *C. macrostemum* tuvo un valor de 0.25 en la Central de Abastos que fue el único lugar en donde lo reportaron. Por el contrario, llama la atención que tanto el índice de valor de uso medicinal como el cultural-religioso tuvieron el más alto (0.33) en el mercado de Tlacolula; mientras que en Zaachila y la Central de Abastos también coincide el valor de ambos que fue de 0.25. En Ocotlán destacó el uso cultural-religioso (0.33) en comparación con el medicinal (0.28), mientras que el uso ornamental fue el de menos valor de importancia en los cuatro mercados (Cuadro 2).

Cuadro 2. Usos de *L. glaucescens* y *C. macrostemum* en cuatro mercados de los Valles Centrales de Oaxaca
Table 2. Uses of *L. glaucescens* and *C. macrostemum* in four markets of the Central Valleys of Oaxaca

Mercado	Especie	Presencia en el mercado	Usos	Parte usada	VU
Tlacolula de Matamoros	*Litsea glaucescens* Kunth	Todo el año, aumenta la comercialización previa y durante Semana Santa	Alimenticio (Condimento)	Hojas	0.50
			Cultural-Religioso (adornar iglesias)	Rama	0.25
	Clinopodium macrostemum (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze	Todo el año, aumenta la comercialización en época navideña y disminuye previo y durante Semana Santa	Medicinal (té para el dolor de estómago, vómito y resaca por ingesta de alcohol)	Rama	0.33
			Ornamental (Complemento de ramos florales)	Rama	0.17
			Cultural-Religioso (Adornar iglesias y nacimientos en navidad, bodas y mayordomías)	Rama	0.33
Villa de Zaachila	*Litsea glaucescens* Kunth	Todo el año y aumenta la comercialización previa y durante Semana Santa	Alimenticio (Condimento)	Hojas	0.33
			Cultural-Religioso (adornar iglesias Semana Santa)	Rama	0.33
			Medicinal (té con miel y limón para la tos y gripe)	Hojas	0.11
	Clinopodium macrostemum (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze	Se suspende su comercialización previa y durante Semana Santa	Medicinal (En té para el vómito, dolor de estómago, resaca por ingesta de alcohol y cocido en baños postparto)	Rama	0.25
			Ornamental (complemento de ramos florales)	Rama	0.14
			Cultural-Religioso (Adornar iglesias y nacimientos en navidad, bodas y mayordomías)	Rama	0.25
Central de Abastos	*Litsea glaucescens* Kunth	Todo el año, aumenta el volumen de comercialización previo y durante Semana Santa	Medicinal (té con miel y limón para la tos, té solo para la gripe, cólicos menstruales y en baños postparto)	Hojas	0.11
			Alimenticio (Condimento)	Hojas	0.33
			Cultural-Religioso (adornar iglesias)	Rama	0.33
	Clinopodium macrostemum (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze	Todo el año, aumenta la comercialización en época navideña y disminuye previo y durante Semana Santa	Medicinal (té para el dolor de estómago, vómito, para la resaca, antifebril, cocido en baños postparto y para el dolor de cuerpo)	Rama	0.25
			Alimenticio (Condimento)	Hojas	0.25
			Ornamental (complemento de ramos florales)	Rama	0.12
			Religioso (adornar iglesias, bodas y mayordomías)	Rama	0.25
Ocotlán de Morelos	*Litsea glaucescens* Kunth	Se suspende su comercialización previa y durante Semana Santa	Alimenticio (Condimento)	Hojas	0.33
			Cultural-Religioso (adornar iglesias)	Ramas	0.24

Mercado	Especie	Presencia en el mercado	Usos	Parte usada	VU
	Clinopodium macrostemum (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze	Todo el año, aumenta el volumen de comercialización previo y durante Semana Santa	Medicinal (té para el dolor de estómago, vómito, resaca por ingesta de alcohol y mezcla con otras especies baños para el dolor de cuerpo)	Rama	0.28
			Ornamental (CP)	Rama	0.22
			Cultural-Religioso (adornar iglesias, bodas y mayordomías)	Rama	0.33

VU=Valor de uso.

A pesar del valor de uso que se calculó para cada mercado, estos no reflejan en ningún caso la cantidad de material vegetal que se utiliza para cada uno de ellos. Es muy importante mencionar que en ambas especies el uso para fines culturales-religiosos es el que demanda mayor cantidad de plantas. A pesar de que el valor de uso alimenticio es mayor que el cultural-religioso en *L. glaucescens*; y que en *C. macrostemum* el valor medicinal es igual al valor cultural-religioso (Figura 4).



Figura 4. a) venta de *L. glaucescens* para uso alimenticio, b) presentación vendida para domingo de ramos y c) adorno de pozos en el día de la samaritana. d) rollos para uso medicinal con valor de $10.00., b) rollos de $100.00 y c) rollos de $400.00 para festividades.
Figure 4. a) Sale of *L. glaucescens* for culinary use b) Presentation sold for Palm Sunday c) Decoration of wells on Samaritan Day d) Rolls for medicinal use priced at $10.00 e) Rolls priced at $100.00 f) Rolls priced at $400.00 for festivities.

Núm. 61: 409-425 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Índices de importancia etnobotánica de *L. glaucescens* y *C. macrostemum*

En los mercados tradicionales, se hacen presentes una serie de interacciones que revelan la importancia de los bienes para la sociedad que acude para adquirirlos. Sin embargo, por ser algo intangible los índices etnobotánicos son una manera de asignarle un valor y poder compararlos de forma independiente a sus características.

Al calcular el índice de valor cultural de *L. glaucescens* y *C. macrostemum* en los cuatro mercados estudiados, *L. glaucescens* mostró valores menores que van de 2 a 6.64 en comparación con *C. macrostemum* que obtuvo valores mayores que van de 2.5 a 3.46, en el caso de *L. glaucescens* el mercado que presentó los valores más altos de índice de importancia cultural fue el de Villa de Zaachila, seguido por la central de abastos, sin embargo para *C. macrostemum* fue el mercado de la Central de Abastos el que mostró un mayor valor cultural de 3.46 seguido de la Villa de Zaachila con 2.64. Sin embargo, en los mercados de Tlacolula y Ocotlán este valor es menor con 2.5. (Cuadro 3).

Cuadro 3. Índices de valor cultural, económico e importancia relativa de *L. glaucescens* y *C. macrostemum* en los Valles Centrales de Oaxaca.

Table 3. Indices of cultural and economic value and relative importance of *L. glaucescens* and *C. macrostemum* in the Central Valleys of Oaxaca

Mercado	Especie	Índice de valor cultural	Índice de valor económico	Índice de importancia relativa
Tlacolula de Matamoros	*Litsea glaucescens* Kunth	1.75	110.37	0.46
	Clinopodium macrostemum (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze	2.50	64.11	0.88
Villa de Zaachila	*Litsea glaucescens* Kunth	2.33	103.63	0.59
	Clinopodium macrostemum (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze	2.64	102.81	1.00
Central de Abastos	*Litsea glaucescens* Kunth	2.00	115.82	0.64
	Clinopodium macrostemum (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze	3.46	105.58	1.00
Ocotlán de Morelos	*Litsea glaucescens* Kunth	2.00	128.69	0.75
	Clinopodium macrostemum (Moc. & Sessé ex Benth.) Kuntze	2.50	55.59	0.88

En índice de valor económico muestra la relación entre el costo de las especies con el número de informantes que comercializan la especie en los mercados. En el presente estudio el *L. glaucescens* mostró los valores mayores de índice de valor económico que van de 103.63 a 128.69 siendo el mercado de Ocotlán de Morelos donde los valores fueron mayores y la Villa de Zaachila donde se encontró el menor valor. En el caso de *C. macrostemum* este obtuvo menores valores que van de 55.59 a 105.58, siendo en la Central de Abastos donde el valor económico fue mayor en comparación con el mercado de Ocotlán de Morelos, en donde obtuvo un valor menor. El índice de importancia relativa fue menor para *L. glaucescens* en todos los mercados con valores que van de 0.46 a 0.75 en comparación con *C. macrostemum* la cual presento valores mayores que van de 0.88 a 1, siendo el mercado de Mercado de Ocotlán de Morelos donde *L. glaucescens* cobra mayor importancia, sin embargo, en el caso de *C. macrostemum* este tiene mayor importancia en el mercado de la Villa de Zaachila y la Central de Abastos (Cuadro **3**).

DISCUSIÓN

Identificación de las especies

Litsea glaucescens Kunth (laurel de la sierra o laurel silvestre) es un arbusto nativo de México que actualmente se encuentra en peligro de extinción, según lo establece la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010). Esta especie destaca por sus usos alimenticio y medicinal, lo que ha llevado a considerarla uno de los recursos forestales no maderables más importantes del país (López-Romero *et al*., 2018; Razo-Zarate *et al*., 2019).

Clinopodium macrostemum es un arbusto aromático endémico de México que se distribuye en los estados de Hidalgo, Guerrero, Oaxaca y Veracruz (Calvo-Díaz *et al*., 2023; Esquivel-García *et al*., 2018). En el estado de Oaxaca es ampliamente utilizado en festividades como bodas y mayordomías durante todo el año (Alvarado *et al*., 2020; García-Reyes *et al*., 2023; Silva-Castellanos *et al*., 2021), además, su uso medicinal se ha transmitido de generación en generación desde épocas prehispánicas, para tratar trastornos gastrointestinales como vómitos, dolor de estómago y resaca por el consumo de alcohol; también es usado para aliviar el dolor de muelas, nerviosismo y como parte de los baños postparto (Rojas-Olivos *et al*., 2018).

Comercialización de *L. glaucescens* y *C. macrostemum*

Debido a la popularidad de ambas especies, no fue sorprendente encontrar que se comercializan frescas en los cuatro mercados tradicionales estudiados, sin embargo, se recopilaron datos muy reveladores respecto a su aprovechamiento. Por ejemplo, la mayor parte del material vegetal de ambas especies provienen de 19 comunidades rurales, que comparten características similares, como contar con territorios boscosos ubicados a más de 1782 m de altitud donde crecen ambas especies. En cuanto al aspecto social la mayoría tienen un grado de marginación alto (CONAPO, 2020). Lo anterior concuerda con Molina-Luna *et al*., (2015) quienes, al estudiar la comercialización de orquídeas en cinco mercados tradicionales de los Valles Centrales de Oaxaca, identificaron que más de la mitad de las comunidades de origen de los vendedores presentan alto grado de marginación mientras que únicamente el 8% muestra un grado de marginación bajo.

En este contexto permite deducir que la venta de estas especies vegetales responde en gran medida a la necesidad de generar ingresos mediante el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles, particularmente de la vegetación local. Cabe resaltar que la venta responde también a la demanda de las especies, en el caso de este estudio, existe una tradición arraigada en cuanto a sus usos, en especial para el cultural-religioso que es el que demanda mayor cantidad de plantas, como pasa con algunas especies de orquídeas en Zaachila Oaxaca que su uso está estrechamente relacionado con ceremonias culturales-religiosas (Solano-Gómez *et al.,* 2010).

Para las comunidades reportadas en este estudio, los ingresos generados por esta actividad representan una contribución crucial para la economía local, ya que ayudan a la supervivencia de la población más vulnerable debido a que más de tres cuartas partes de ellas, tienen un grado alto de marginación. En este estudio se pudo identificar que las mujeres adultas con edades que van de los 24-59 años son las encargadas de la comercialización de *L. glaucescens* y *C. macrostemum* frescas, lo que también reportó Molina-Luna & Cancino, (2016) en el estado de Oaxaca, México y Bussmann *et al,* (2016), en mercados tradicionales de Bolivia, donde las mujeres de 40 años son las encargadas de la comercialización de plantas medicinales.

Es importante mencionar que ellas juegan un papel primordial en la economía familiar ya que se encargan de diversas actividades como el mercadeo de manera paralela a la producción y al trabajo doméstico debido a que son el pilar para lograr la seguridad alimentaria de las familias y por ende del desarrollo rural comunitario (Morcillo Casas *et al*., 2024).

Usos e importancia de *L. glaucescens* y *C. macrostemum*

L. glaucescens es un arbusto ampliamente utilizado en México para fines alimenticios como condimento; medicinales para tratar problemas ginecológicos y antiinflamatorias y cultural-religiosos para adornar templos y altares (Hernández-Flores S D & G Vargas-Licona, 2020; Tepixtle-Colohua *et al*., 2023). En este estudio se identificó que su uso más frecuente fue el

alimenticio con un índice de valor de uso de 0.5; seguido por el cultural-religioso de 0.33 y por último el medicinal con un valor de 0.11. Existen reportes que coinciden en su uso alimenticio en diferentes lugares de México; es importante puntualizar que en Aguascalientes e Hidalgo también lo usan con fines medicinales y ceremoniales (Mares-Guerrero & Ocampo, 2020; Ortega-Meza *et al*., 2021).

Llama la atención que en Nuevo León se reportaron más de diez usos incluidos el alimenticio y medicinal. A pesar de que el índice de uso cultural-religioso no presenta el valor más alto, es el que demanda la mayor cantidad de plantas y determina el volumen de ellas que llegan al mercado en diferentes épocas. Así, antes y durante la Semana Santa se realiza el mayor aprovechamiento de brotes, para ser usados como parte de los ramos florales del domingo de ramos; los adornos de los pozos el día de la samaritana en particular en Oaxaca y los altares tanto caseros como eclesiásticos durante la Semana Santa. Dávila-Figueroa *et al*., (2011) reporta que estas actividades han limitado su reproducción en Aguascalientes; de manera qué, es posible que ocurra lo mismo en Oaxaca.

C. macrostemum es un arbusto aromático utilizado de forma popular en la medicina, en ceremonias culturales-religiosas, como alimento y ornato (García-Reyes *et al*., 2023). En el presente estudio se identificaron los usos medicinal y cultural-religioso como los más importantes, sus índices de valor de uso fueron de 0.33, seguidos del alimenticio y por último el ornamental con valor de 0.11. Lo anterior coincide con García-Reyes *et al*., (2023) y Calvo-Díaz *et al*., (2023) quien reporta su uso ornamental, medicinal y alimenticio, además, describe el uso cultural en Ocotlán y Sola de Vega, Oaxaca, en bodas, mayordomías y navidad.

A pesar de la importancia de su usos medicinal y cultural-religioso en el estado de Oaxaca y en el país (Rojas-Olivos *et al*., 2018; Silva-Castellanos *et al*., 2021; Pérez-Ochoa *et al*., 2024), la cantidad usada para cada uno, es diferente, destacando el uso cultural-religioso que es el que utiliza un mayor volumen, por lo que durante la época navideña se observa un incremento en la cantidad de planta presente en los mercados; mientras que ésta disminuye en fechas previas a la Semana Santa y durante ella debido a que se suspenden las bodas, bautizos y mayordomías donde la especie es usada.

Índices de importancia etnobotánica de *L. glaucescens* y *C. macrostemum*

El índice de importancia cultural de *L. glaucescens* y *C. macrostemum* calculados en este estudio fueron mayores para *C. macrostemum* en todos los mercados, sobresale la Central de abastos en donde se obtuvo el valor más alto (3.46) lo que pudo deberse a que en este mercado se concentran comunidades de diferentes regiones del estado. Lo que provoca el intercambio de conocimientos generados por diferentes interacciones entre el entorno, la cultura y la diversidad biológica de los territorios, cabe resaltar que en este mercado fue donde se reportaron más usos para ambas especies.

Martínez-López, (2022) calculó el índice de importancia cultural para especies medicinales en Capulálpam de Méndez en donde *C. macrostemum* y *L. glaucescens* obtuvieron los valores más altos con 3.083 y 2.655 respectivamente, mientras que en Santa María Jaltianguis *L. glaucescens* tuvo un valor ligeramente más alto (1.309) que *C. macrostemum* (1.304), ambas comunidades se localizan en Oaxaca.

Estas especies obtuvieron mayor valor económico en el mercado de la Central de Abastos y en la Villa de Zaachila, en cambio, los precios son más bajos en los mercados de Tlacolula y Ocotlán, aunque no se identificó de forma específica los motivos de lo anterior, pueden influir los costos del transporte para llegar desde los lugares de origen hasta los mercados, ya que en algunos casos las limitantes de transporte elevan sus costos, también puede influir el hecho de que los comerciantes sean vendedores directos o intermediarios; o la cuota que deben cubrir por el derecho de venta en cada mercado, ya que tienen diferentes sistemas administrativos. A diferencia de otras especies como las orquídeas que se comercializan en los mercados donde el precio se determina por la vistosidad de sus flores (Jiménez-López *et al*., 2019).

El índice de importancia relativa de las especies reveló que *C. macrostemum* tiene una mayor importancia relativa con valores que van de 0.88 a 1 en comparación con *L. glaucescens* que va de 0.46 a 0.77, para calcular en estos valores influye el número de usos, que en este caso fueron

menos para *L. glaucescens* que para *C. macrostemum*. El mercado en el que los valores de importancia para ambas especies fueron más altos fue en la Central de Abastos. Según los índices mencionados con anterioridad, *C. macrostemum* tiene una mayor importancia cultural y relativa, como consecuencia, hay una mayor demanda porque se comercializa en mayor cantidad que *L. glaucescens* y que otras especies. Lo anterior, advierte la vulnerabilidad de la especie debido a la presión antropogénica a la que está sometida.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio hicieron evidente que ambas especies son recolectadas en comunidades rurales con altos índices de marginación, lo que sugiere que su comercialización se ha convertido en un medio de vida. De la misma forma, se identificó que las mujeres adultas juegan un papel importante en la comercialización, ya que son ellas las que realizan esta actividad. Los índices etnobotánicos obtenidos en este estudio muestran que uno de los elementos que influyen en la comercialización de *L. glaucescens* y *C. macrostemum* en los cuatro mercados estudiados son los usos que tienen; en particular, el cultural-religioso el cual impulsa significativamente la demanda de estas especies, puesto que cantidad de *L. glaucescens* que se comercializa se incrementarse en fechas cercanas y durante la Semana Santa, en el caso de *C. macrostemum* aunque se encuentra presente en los mercados estudiados todo el año, su comercialización se incrementa de forma notoria al final del año lo que probablemente esté ligado a su uso cotidiano en eventos sociales. Cabe destacar que al considerar los resultados de forma integral es evidente que *C. macrostemum*, juega un papel fundamental en la vida cultural-religiosa y social de la región estudiada.

AGRADECIMIENTOS

A la SECIHTI por el apoyo para realizar estudios de Doctorado en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas a través del programa de becas nacionales con número CVU: 870679.

LITERATURA CITADA

Alvarado, A. M., García-Trejo, F., Cardador-Martínez, A., & Magallán-Hernández, F. (2020). *Clinopodium mexicanum: potential and difficulties for the sustainable use of a Mexican medicinal plant. Review*. https://doi.org/10.37360/blacpma.20.19.2.8

Argueta-Villamar, A. (2016). The ethno-bioecological study of the popular markets el estudio etnobioecológico de los tianguis y mercados en México. *Revista Etnobiologia*, *14*, 38–46.

Asra, R., Ihsan, M., Andriani, F., Silalahi, M., Fijridiyanto, I. A., & Maryani, A. T. (2023). Diversity of medicinal plants sold in the traditional markets in Jambi, Indonesia. *Biodiversitas*, *24*(3), 1544–1550. https://doi.org/10.13057/biodiv/d240326

Badger, C., & Macrory, R. (2022). Environment Act 2021. In *Environment Act 2021*. Hart Publishing. https://doi.org/10.5040/9781509951055

Brown, T. C. (1984). Board of Regents of the University of Wisconsin System The Concept of Value in Resource Allocation. In *Source: Land Economics* (Vol. 60, Issue 3). http://www.jstor.orgURL:http://www.jstor.org/stable/3146184

Bussmann, R. W., Paniagua Zambrana, N. Y., Moya Huanca, L. A., & Hart, R. (2016). Changing markets – Medicinal plants in the markets of La Paz and El Alto, Bolivia. *Journal of Ethnopharmacology*, *193*, 76–95. https://doi.org/10.1016/J.JEP.2016.07.074

Calvo-Díaz, D. Y., Aguilar-Hernández, L., Jiménez-Noriega, M. S., & Torres-Montúfar, A. (2023). Ritual use of Rosa de Borracho (*Clinopodium macrostemum* (Moc. & Sessé ex

Benth.) Kuntze, Lamiaceae) in Oaxaca, Mexico. *Biodiversitas*, *24*(9), 5105–5112. https://doi.org/10.13057/biodiv/d240955

Castañeda Sifuentes, R., & Albán Castillo, J. (2016). Importancia cultural de la flora silvestre del distrito de Pamparomás, Ancash, Perú. *Ecología Aplicada*, *15*(2), 151. https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.755

Chishaleshale, M., Chirwa, P. W., Zekeng, J. C., & Syampungani, S. (2024). How do socio-economic characteristics of communities influence resource use and forest cover in the *Cryptosepalum* forest of North-western Zambia. *Heliyon*, *10*(8). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28658

CONABIO. (2024, July 9). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.* 2024. http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/lamiaceae/clinopodium-mexicanum/fichas/ficha.htm

CONAPO. (2020, July 2). *Índice y grado de marginación. INEGI*. Consejo Nacional de Población. https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372

Davies, J., Blekking, J., Hannah, C., Zimmer, A., Joshi, N., Anderson, P., Chilenga, A., & Evans, T. (2022). *Governance of traditional markets and rural-urban food systems in sub-Saharan Africa*.

Dávila-Figueroa, C. A., Flores-Tena, F. J., Morales-Domínguez, F., Clark-Tapia, R., & Malphe-Balch, E. P. (2011, June 10). Estatus poblacional y niveles de aprovechamiento del laurel silvestre (*Litsea glaucescens* Kunth) en Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *2(4)*(Rev. Mex. Cien. For.), 50–59. https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v2n4/v2n4a5.pdf

Esquivel-García, R., Pérez-Calix, E., Ochoa-Zarzosa, A., & García-Pérez, M. E. (2018). Ethnomedicinal plants used for the treatment of dermatological affections on the Purépecha Plateau, Michoacán, Mexico. *Acta Botánica Mexicana*, *2018*(125), 95–132. https://doi.org/10.21829/abm125.2018.1339

Estrada. (1985). *Jardín Botánico de Plantas Medicinales Maximino Martínez*.

Fierros, I., & Ávila-Foucat, V. S. (2017). Sustainable Livelihoods and Vulnerability in Rural Mexican Households. *Revista Problemas Del Desarrollo*, *191*(48), 1–25. http://probdes.iiec.unam.mx

García-Reyes, E. M., Rojas-Olivos, A., Toral-Sánchez, E., & Cruz-García, G. (2023). Estudio etnobotánico y evaluación de la capacidad antioxidante de dos especies del género *Clinopodium* localizadas en el estado de Oaxaca, México. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, *26*. https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2023.577

Gómez-García, E., Sol-Sánchez, Á., García-López, E., & Pérez-Vázquez, A. (2016). Valor de uso de la flora del Ejido Sinaloa 1 a sección Cárdenas, Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *14*, 2683–2694.

González-Gallegos, J. G., Figueroa, D. S., & Velázquez-Ríos, P. (2023). *Clinopodium haraverianum* (Lamiaceae: Menthinae), a new species from San Sebastián del Oeste, Jalisco, Mexico. *Botanical Sciences*, *101*(2), 591–607. https://doi.org/10.17129/botsci.3214

Hernández-Flores S D, & G Vargas-Licona. (2020). Laurel (*Litsea glaucescens*) Endangered Species with High use Value. *Publicación Semestral*, *4*, 25–29. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa1/issue/archive

Hernández-Flores, S. D., & Vargas-Licona, G. (2023). The Food Plants Trade in The Kranggan Mas Traditional Market, West Java Province, Indonesia: Potential and Local Cuisine. *Journal of Ethnic Foods*, *10*, 1–25. https://doi.org/t https:// doi. org/ 10. 1186/ s42779-023- 00192-5.

INEGI. (2022). *Aspectos geográficos de Oaxaca*. www.inegi.org.mx

Jiménez-López, D. A., Pérez-García, E. A., Martínez-Meléndez, N., & Solano, R. (2019). Wild orchids traded in a traditional market in Chiapas, Mexico. *Botanical Sciences*, *97*(4), 691–700. https://doi.org/10.17129/botsci.2209

López-Romero, J. C., González-Ríos, H., Peña-Ramos, A., Velázquez, C., Navarro, M., Robles-Zepeda, R., Martínez-Benavidez, E., Higuera-Ciapara, I., Virués, C., Olivares, J. L., Domínguez, Z., & Hernández, J. (2018). Seasonal Effect on the Biological Activities of *Litsea glaucescens* Kunth Extracts. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, *2018*. https://doi.org/10.1155/2018/2738489

Mares-Guerrero, A., & Ocampo, G. (2020). Flora útil del área natural protegida Sierra del Laurel, Aguascalientes, México. *Revista Etnobiología*, *18*(1665–2703), 3–23.

Martínez-López, J., N.G. Molina-Luna, S. Rangel-Landa, C. Aquino-Vázquez, & A. Acosta-Ramos. (2022). Valor cultural de los recursos forestales no maderables en comunidades zapotecas de la Sierra Juárez de Oaxaca. *Polibotanica*, *53*(2395–9525), 239–259. https://doi.org/DOI: 10.18387/polibotanica.53.16

Molina-Luna, N. G., Arellanes-Cancino, Y., & Martínez-Ojeda, E. (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*, 1–16.

Molina-Luna, N. G., & Cancino, Y. A. (2016). Intercambio de productos en mercados semanales de los Valles Centrales de Oaxaca, México. *Revista Etnobiologia*, *14*, 92–99.

Moncayo, Y. W. P., & Diago, O. L. S. (2022). Plants and conservation practices of traditional medicine in the southeast of el Tambo, Cauca, Colombia. *Botanical Sciences*, *100*(4), 935–959. https://doi.org/10.17129/botsci.3056

Morcillo Casas, V., Carro San Cristóbal, L., & Madrigal Torres, B. E. (2024). Aportación de la mujer rural emprendedora a la economía: dos estudios de caso en el sur de Jalisco, México. *Revista de Estudios de Género, La Ventana*, *7*(59), 322–355. https://doi.org/10.32870/lv.v7i59.7716

Munsell. (2012). *Descripción Munsell plant tissue color book* _ (2012 year revised).

Newing, A., Clarke, G., Taylor, M., González, S., Buckner, L., & Wilkinson, R. (2023). The role of traditional retail markets in addressing urban food deserts. *International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, *33*(4), 347–370. https://doi.org/10.1080/09593969.2023.2198251

Pérez-Ochoa, M., Luis Chávez-Servia, J., Minerva Vera-Guzmán, A., Nora Aquino-Bolaños, E., & Cruz Carrillo-Rodríguez, J. (2019). Medicinal Plants Used by Indigenous Communities of Oaxaca, Mexico, to Treat Gastrointestinal Disorders. In *Pharmacognosy - Medicinal Plants* (pp. 1–36). IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.82182

Razo-Zarate, R., Retama-Cazares, L. B., Rodriguez-Laguna, R., Palacios-Romero, A., Meza-Rangel, J., Capulin-Grande, J., Fragoso-López, P. I., & Jesus Cortes-Blobaum, H. (2019). Laurel (*Litsea glaucescens* Kunth) Regeneration in the Presence of Disturbance Events: A Case Study. *Forest Science*, *65*(6), 688–692. https://doi.org/10.1093/forsci/fxz032

Rojas-Olivos, A., Solano-Gómez, R., Granados-Echegoyen, C., Santiago-Santiago, L. A., García-Dávila, J., Pérez-Pacheco, R., & Lagunez-Rivera, L. (2018). Larvicidal effect of *Clinopodium macrostemum* essential oil extracted by microwave-assisted hydrodistillation against *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *Revista Da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, *51*(3), 291–296. https://doi.org/10.1590/0037-8682-0284-2017

Romo-Lozano, J. L., López-Upton, J., Jesús Vargas-Hernández, J., & Ávila-Angulo, M. L. (2017). Valoración económica de la biodiversidad forestal en México, una revisión. In *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* (Vol. 23, Issue 1, pp. 75–90). Universidad Autónoma Chapingo. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.03.015

SEMARNAT. (2010). *Norma oficial MexicanaNOM_059_SEMARNAT_2010 Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.* https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf

Recibido:
4/junio/2025

Aceptado:
2/diciembre/2025

Serralta-Batun, L. P., Jiménez-Osornio, J. J., Munguía-Rosas, M. Á., & Rodríguez-Robayo, K. J. (2023). Threats to the traditional agricultural landscape of southern Yucatan, Mexico: a perspective from the socioecological analysis. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, *62*(1). https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.265073

Silva-Castellanos, A. P., Magallán-Hernández, F., Vergara-Pineda, S., Ramírez-Segura, O., & Queijeiro-Bolaños, M. (2021). Propagation Protocol By Seed Of *Clinopodium mexicanum*, A Native Medicinal Plant From Mexico. *Agrociencia*, *55*(5), 433–450. https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i5.2519

Solano-Gómez, R., Cruz-Lustre, G., Martínez-Feria, A., & Lagunez-Rivera, L. (2010). Plantas utilizadas en la celebración de la semana santa en Zaachila, Oaxaca, México. *Polibotanica*, *29*(1405–2768), 263–279. https://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n29/n29a12.pdf

Tardío, J., & Pardo-De-Santayana, M. (2008). *Cultural Importance Indices: A Comparative Analysis Based on the Useful Wild Plants of Southern Cantabria (Northern Spain) 1*. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12231-007-9004-5

Tepixtle-Colohua, V. V, M R Gonzalez-Tepale, D. Guerra-Ramirez, B. Reyes-Trejo, H. Zuleta-Prada, A.M. Borja-de la Rosa, & F. Reyes-Fuentes. (2023). Actividad antioxidante y citotóxica del aceite esencial de las hojas de laurel aromático (*Litsea glaucescens* Kunth). *Polibotanica*, *55*(2395–9525), 95–107. https://doi.org/DOI: 10.18387/polibotanica.55.7

Tinitana, F., Rios, M., Romero-Benavides, J. C., de la Cruz Rot, M., & Pardo-de-Santayana, M. (2016). Medicinal plants sold at traditional markets in southern Ecuador. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, *12*(1). https://doi.org/10.1186/s13002-016-0100-4

van der Werff, H., & Lorea, F. (1997). *Flora del Bajío 1997 Fascículo 56 Familia Lauraceae*.

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

SISTEMAS VERTICALES RÚSTICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN ESPACIOS LIMITADOS: UN APORTE A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA FAMILIAR

RUSTIC VERTICAL HOME GARDENS FOR FOOD PRODUCTION IN LIMITED SPACES: A CONTRIBUTION TO HOUSEHOLD FOOD SECURITY

Yax-Lopez, P., K.M. Noriega Elías, J.R. Sosof Vásquez

SISTEMAS VERTICALES RÚSTICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN ESPACIOS LIMITADOS: UN APORTE A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA FAMILIAR
RUSTIC VERTICAL HOME GARDENS FOR FOOD PRODUCTION IN LIMITED SPACES: A CONTRIBUTION TO HOUSEHOLD FOOD SECURITY

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 427-442 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.24

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

POLIBOTÁNICA

Núm. 61: 427-442 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Sistemas verticales rústicos para la producción de alimentos en espacios limitados: un aporte a la seguridad alimentaria familiar

Rustic vertical home gardens for food production in limited spaces: a contribution to household food security

Pablo Yax-Lopez / pyax@icc.org.gt
https://orcid.org/0000-0001-7719-1667
Kevin Manolo Noriega Elías / knoriega@icc.org.gt
Jorge Rubén Sosof Vásquez
Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático
Edificio 2 CENGICAÑA, km 92.5 carretera a Mazatenango, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala. C.P. 05002 Guatemala

Pablo Yax-Lopez, Kevin Manolo Noriega Elías , Jorge Rubén Sosof Vásquez

SISTEMAS VERTICALES RÚSTICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN ESPACIOS LIMITADOS: UN APORTE A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA FAMILIAR

RUSTIC VERTICAL HOME GARDENS FOR FOOD PRODUCTION IN LIMITED SPACES: A CONTRIBUTION TO HOUSEHOLD FOOD SECURITY

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 427-442. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.24

RESUMEN: La inseguridad alimentaria y nutricional de poblaciones humanas en regiones vulnerables como Guatemala, se ve afectada por diferentes factores como la pobreza estructural, malnutrición, acceso limitado a servicios de salud y alimentos, siendo agravada por fenómenos climáticos extremos y el limitado acceso a tierra para la producción de alimentos. En este estudio se evaluó el potencial productivo de sistemas verticales rústicos de producción de alimentos como una tecnología accesible para la producción de hortalizas en condiciones de espacio físico limitado, empleando recursos locales. Se probaron dos prototipos o diseños estructurales (Diseño 1: cajas de madera; diseño 2: con torres de PVC) y tres sustratos locales (gallinaza, lombricomposta y broza) en un diseño factorial para las tres especies comestibles: *Beta vulgaris*, *Spinacia oleracea* L. y *Brassica campestris* L.

Los resultados evidenciaron que el diseño estructural de producción y los sustratos influyeron en el rendimiento, observándose una interacción significativa ($p = < 0.05$) en la producción de *B. vulgaris*. El mayor rendimiento para esta especie fue de 329.6 kilogramos (kg) por metro cúbico (m^3) de sustrato, empleando el diseño D2 en combinación con gallinaza. Para *S. oleracea* y *B. Campestris,* la mayor producción se obtuvo con los sustratos de lombricomposta y gallinaza (193.4 kg/m3 y 143.8 kg/m3, respectivamente), independientemente del diseño estructural de producción, lo que destaca la relevancia del sustrato.

Se concluye que los sistemas verticales de producción de alimentos evaluados, construidos con materiales locales representan un alternativa viable y escalable para la producción de alimentos nutritivos en traspatios de hogares rurales y urbanos, que representa una oportunidad para diversificar la canasta básica alimentaria. Si bien, no sustituyen a la agricultura convencional, su implementación puede fortalecer la seguridad alimentaria y nutricional a nivel familiar, al proporcionar acceso a alimentos frescos en contextos de recursos limitados.

Palabras clave: Sistemas-agroalimentarios, innovación, producción-urbana, adaptación, desarrollo sostenible

ABSTRACT: Food and nutritional insecurity in vulnerable populations like Guatemala is affected by various factors, including structural poverty, malnutrition, and limited access to health services and food. This is exacerbated by extreme weather events and limited access to land for food production. This study evaluated the productive potential of rustic vertical food production systems as an accessible technology for vegetable production in space-constrained garden environments, utilizing local resources. Two structural prototypes or designs (Design 1: wooden boxes; Design 2: PVC towers) and three local substrates (chicken manure, vermicompost, and brushwood/mulch) were

tested in a factorial design for three edible species: *Beta vulgaris*, *Spinacia oleracea* L., and *Brassica campestris* L.
The results showed that the structural design of the vertical production system and the substrates influenced yield, with a significant interaction ($p < 0.05$) observed in the production of *B. vulgaris*. The highest yield for this species was 329.6 kilograms (kg) per cubic meter (m^3) of substrate, using design D2 in combination with chicken manure. For *S. oleracea* and *B. campestris*, the highest production was obtained with vermicompost and chicken manure substrates (193.4 kg/m^3 and 143.8 kg/m^3, respectively), regardless of the structural design, highlighting the importance of the substrate.
It is concluded that the evaluated vertical food production systems, built with local materials, represent a viable and scalable alternative to produce nutritious food in the backyards of rural and urban households, offering an opportunity to diversify the basic food basket. While they do not replace conventional agriculture, their implementation can strengthen food and nutritional security at the family level by providing access to fresh food in contexts of limited resources.
Kew words: agrifood systems, innovation, urban production, adaptation, sustainable development.

INTRODUCCIÓN

La inseguridad alimentaria es un desafío multifacético que afecta a millones de personas en muchos países y representa una de las preocupaciones del siglo XXI (Dawood & van Vuuren, 2023), particularmente aguda en regiones con alta vulnerabilidad socioeconómica y ambiental, como es el caso de Guatemala. En este contexto, la convergencia de factores como el crecimiento poblacional, la urbanización sin planificación la migración rural-urbana, el limitado acceso a tierras productivas o habitacionales y la alta exposición a fenómenos climáticos o geofísicos extremos, crean un contexto donde las familias, especialmente las de escasos recursos que pertenecen a grupos étnicos mayas, enfrentan grandes obstáculos para acceder a alimentos frescos y nutritivos (Canales, 2019); (Morales Gamboa, 2020); (Lal, 2020); (FAO, 2004); (FAO, 2023); (Bello *et al.*, 2021); (Sistema Guatemalteco de ciencias del Cambio Climático [SGCCC], 2019). Sumado a lo anterior, el retraso en el crecimiento, conocido como desnutrición crónica, es un importante problema para la salud de los niños mayas, derivado de una compleja interacción entre la malnutrición, acceso limitado a atención médica, la pobreza y la inseguridad alimentaria (Monroy-Valle *et al.*, 2025); (Lane *et al.*, 2024) Además, en Guatemala la actividad agrícola es uno de los medios de vida de mayor importancia, pero, es de los más sensibles y vulnerables ante fenómenos climáticos por su dependencia de las lluvias (SGCCC, 2019), esta dependencia puede agravar la inseguridad alimentaria y nutricional (Garrido Solano *et al.*, 2019); (FAO, 2022). El cambio climático trae consigo una diversidad de retos especialmente en el sector agroalimentario, (Acción contra el hambre, 2023) afirma que "Un clima más cálido y menos predecible significa menos alimentos en la mesa para hasta 80 millones de personas más de aquí a 2050 especialmente en lugares donde los conflictos, la inestabilidad económica y los fenómenos meteorológicos extremos recurrentes dificultan la capacidad de adaptación"
Frente a esta problemática, la agricultura en espacios reducidos emerge como una estrategia de resiliencia. En el altiplano occidental de Guatemala, por ejemplo, se estima que sólo el 17.7% de las familias cuenta con un área potencial para huertos de traspatio y la mayoría de estos tiene un espacio entre 5 a 14 metros cuadrados (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático [ICC], 2021). Esto resalta la necesidad de desarrollar sistemas de producción que no solo optimicen el uso del espacio, sino que sean tecnológica y económicamente viables, y que puedan emplear recursos locales.
Los sistemas verticales de producción de alimentos se presentan como una alternativa innovadora para aportar en la seguridad alimentaria de familias. Su potencial de eficiencia no se limita solo a la productividad por unidad de área, sino que se extiende al uso de recursos locales y de bajo costo, clave para su adopción y escalabilidad en contextos de subsistencia. Sin embargo, la

Núm. 61: 427-442 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

viabilidad de esta tecnología depende de su diseño estructural y de los insumos para su construcción para que estén al alcance de las poblaciones o familias vulnerables.
Para afrontar la inseguridad alimentaria existe una variedad de tecnologías agrícolas que pueden fortalecer los medios de producción, sin embargo, la asequibilidad es limitada. Principalmente para las familias con bajos ingresos económicos.
Para responder a algunos desafíos mencionados se optó por estudiar los sistemas verticales rústicos de producción de alimentos y la respuesta productiva de las siguientes especies comestibles: acelga *Beta vulgaris* var. Cicla; espinaca *Spinacia oleracea* y flor amarilla *Brassica campestris L.* Para ello se establecieron de manera paralela los tres ensayos, cada una se enmarcó bajo el diseño experimental bloques completamente al azar bifactorial con arreglo combinatorio y con tres repeticiones.
Este estudio analizó esta tecnología vertical de producción de alimentos, que no pretende competir con los rendimientos de la agricultura convencional (suelo), sino evaluar la funcionalidad productiva con base a prototipos rústicos de sistemas verticales, construidos con materiales locales y reutilizables (madera y tubería de PVC), y empleando sustratos de origen local (gallinaza, lombricomposta y broza).El objetivo fue determinar el potencial productivo de estos sistemas verticales de producción de alimentos, como una tecnología potencialmente apropiada y escalable para la producción de hortalizas (primordialmente las hojas o follaje) en condiciones de traspatio con espacio limitado. De esto modo, el estudio busca contribuir a la seguridad alimentaria desde una perspectiva de accesibilidad y adaptación local.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y temporalidad

La investigación se estableció a cielo abierto bajo condiciones climáticas de Santa Lucía Utatlán, departamento (provincia) de Sololá, Guatemala (14.815745 latitud norte y -91.269628 longitud oeste), desde el 20 de abril hasta el 19 de agosto de 2022. Con una duración de 121 (4 meses) días desde su establecimiento hasta la culminación (última cosecha). Durante la investigación se tuvo una precipitación acumulada de 725.1 mm; se registró una temperatura máxima de 19.76 °C y una mínima de 10.0 °C. La temperatura promedio fue 14.6 °C. Las temperaturas registradas a lo largo de esta investigación se mantuvieron dentro de los rangos diarios considerados favorables para el desarrollo de las especies evaluadas. Según la literatura, los rangos de temperatura son los siguientes: para e *Beta vulgaris*, entre 15 °C- 25 °C. (Jiménez *et al.*, 2010); (Idrissova *et al.*, 2023). Para la especie *Spinacia oleracea,* entre 14 °C a 24 °C (Iriany *et al.*, 2021). Para la especie *Brassica campestris* , entre 12°C a 30 °C (Eduarda Borges *et al.*, 2023), mostrando esta última la mayor plasticidad adaptativa de las tres.

Especies evaluadas

Se evaluó la producción kg de biomasa foliar obtenida por volumen de sustrato en m^3 de sustrato para las especies comestibles: Acelga *Beta vulgaris* L. var. *cicla*, espinaca *Spinacia oleracea* L. var Región F1 y la especie flor amarilla *Brassica campestris* L.; Las especies enlistadas fueron seleccionadas por su aporte nutricional (Macro y micronutrientes) y en el caso de *B. campestris* por su uso cultural alimenticio en la dieta de la población indígena en el altiplano occidental de Guatemala, los aportes nutricionales de estas especies se enlistan en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición nutricional de las tres especies comestibles empleadas en la investigación (consumidas en fresco). Fuente: (INCAP, 2012), (Azurdia, 2016)
Table 1. Nutritional composition of the three edible species used in the research (consumed fresh). Source: (INCAP, 2012), (Azurdia, 2016)

Composición 100 gramos en fresco														
Especie	Agua	energía	proteína	Grasa Total	Carbohidratos	Fibra Diet. Total	Ceniza	Calcio	Fósforo	Hierro	Tiamina	Riboflavina	Niacina	Vitamina C
	%	Kcal.	g	g	g	g	g	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
S. oleracea	91.4	23	2.86	0.39	3.63	2.2	1.72	99	49	2.71	0.08	0.19	0.72	28
B. vulgaris	91.1	27	2.9	0.3	4.8	-	-	62	-	3.9	0.05	0.23	0.5	6
B. campestris	91	27	1.7	0.1	6.2	3.6	1	24	46	0.4	0.05	0.02	0.4	62
S. oleracea	469	0.01	0.17	0.06	0	558	79	0.53	79	0.19	0	0	194	0.75
B. vulgaris	330	-	-	-	0	550	147	0.02	65	-	0	90	-	0.82
B. campestris	2	0.01	0.05	0.01	0	350	20	0.03	19	0.15	0	0	16	0.46

Factores de estudio

Diseño

Para el primer diseño estructural D1 (Figura 1a) se emplearon materiales maderables locales bajo condición de reúso como tarimas o pallets. También se emplearon cajas de madera (0.55 m x 0.30 m x 0.18 m) para transporte de verduras en Guatemala y soportes metálicos (ménsulas para repisas con capacidad de 25 kg).



Figura 1. Prototipos de diseños estructurales de producción de alimentos: a) Diseño 1 (D1 = cajas) y b) diseño 2 (D2 =torre).
Figure 1. Prototypes for food-production, a) Design 1(D1= wooden boxes type) and b) Design 2 (D2= tower type).

El segundo diseño estructural D2 (figura 1b) consistió en tubos de PVC (Policloruro de vinilo) de 15.2 cm de diámetro con un grosor de 0.28 cm y 150 cm de altura; (Martínez & Romero, 2015) afirman que la durabilidad teórica de este material es cercana a los 100 años. Además, para su degradación se requieren de condiciones de intemperie con temperaturas superiores a los 54 °C (Solorio, 2020) afirma que para su deformación total se requiere de 399 °C. Estos datos como durabilidad son indispensables para la toma de decisiones para su posible replicación.

Cada estructura ocupó un espacio superficial distinto (Figura 2). Ambos diseños ocupan un área superficial eficaz (trama) y un área necesaria para el manejo que corresponde (zona blanca). Dada la naturaleza de la investigación no se evaluaron estratos de cada diseño ya que la prioridad consistió en sistematizar el comportamiento de la producción por cada estructura completa como se observa en la sección de resultados.

Cada una de las plantas para el diseño no. 1 tuvo un volumen de sustrato de 3.4 litros y para el diseño 2 cada planta ocupó un volumen de 0.8 litros, la característica del diseño 1 con relación al volumen del sustrato se ve limitada a cada una de las cajas que ocuparon, sin embargo, en el diseño no. 2 al ser un sistema conectado cada planta pudo anclarse al sustrato en toda la estructura.

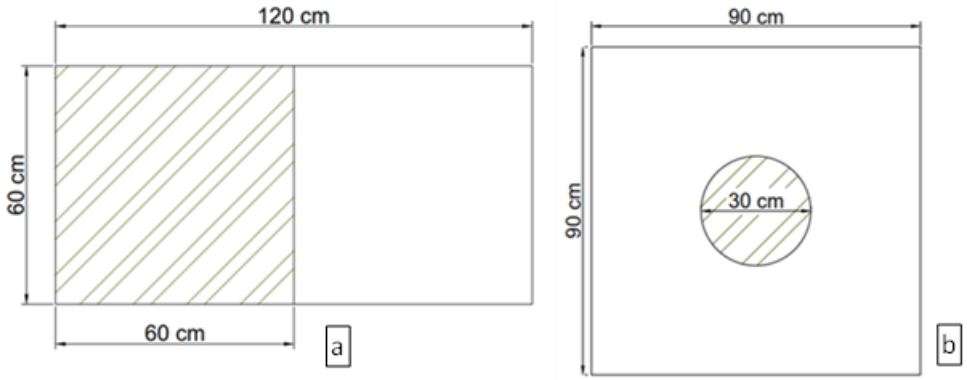


Figura 2. Espacio que ocupa cada uno de los diseños estructurales a) diseño D1 y b) diseño D2.
Figure 2. Space occupied by each food production prototype a) design D1 and b) design D2.

Tabla 2. Área superficial efectiva (trama) y área para manejo agronómico utilizada (zona blanca) por cada diseño de estructural de producción de alimentos.
Table 2. Effective surface area (cross-hatching) and area for agronomic management used (white area) for each food production structure design (prototype).

Diseño	Área efectiva superficial	Área efectiva superficial + área de manejo
Diseño 1	0.36 m^2	0.71 m^2
Diseño 2	0.07 m^2	0.81 m^2

Sustratos

Los sustratos se formularon en una mezcla en proporción de 3:1. El primer sustrato formulado con gallinaza + suelo; el segundo sustrato: compuesto de lombricomposta (a partir de estiércol de ganado vacuno) + suelo y el tercer sustrato fue una mezcla broza (hojarasca o mantillo de boques) + suelo. El suelo empleado provino de la misma zona de investigación y sus características físico/químico se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultado del análisis físico/químico del suelo empleado en la formulación de la mezcla de sustratos para ambos sistemas verticales.
Table 3. Physicochemical analysis of the soil is used to formulate the substrate mixture for both food production systems.

Conductividad Eléctrica	pH en agua	Materia orgánica	Ca	Mg	K	Na	Capacidad de inter-cambio catiónico	P	Cu	Zn	Fe	Mn	Textura	Punto de Marchitez Permanente	Capacidad de Campo	Densidad aparente
(dS m-1)		%	Meq intercambiables/100 g suelo					(ppm)						% H		g/cc
0.07	6.33	4.39	6.46	1.70	1.06	0.84	22.29	0.34	0.69	1.46	9.80	36.93	Franco Arenoso	16.67	36.36	0.96

Diseño y conformación de tratamientos
Se empleó un diseño factorial 2x3 = 6 tratamientos ensayados por cada especie comestible. El diseño experimental utilizado fue un bloque completo al azar con arreglo combinatorio que consistió en tres repeticiones.

Los tratamientos se designaron como:
* T1, T2…T6 = tratamiento (combinación de factores A y B)
Factor A: * D1 = Estructura vertical (cajas)
* D2 = Estructura vertical (torre)
Factor B: * S1 = Sustrato 3:1 (gallinaza y suelo convencional)
* S2 = Sustrato 3:1 (lombricomposta y suelo convencional)
* S3 = Sustrato 3:1 (broza/mantillo y suelo convencional)

Análisis estadístico
Los dos diseños de estructuras de producción de alimentos evaluados (tipo cajas y torre) presentaron una superficie ocupada y, consecuentemente, una capacidad de alojamiento de plantas diferente. Para comparar su productividad de manera equitativa, se normalizó la producción de ambos diseños a un volumen estándar de 1 m^3 de sustrato. Tras esta normalización, se determinó que el diseño "D1" puede alojar 294 plantas , mientras que el diseño "D2" 250 plantas. El análisis de los datos generados se empleó el software Infostat® en su versión estudiantil.
Los datos de producción se sometieron a un análisis de varianza. Los supuestos de normalidad y homogeneidad varianza se verificaron con anticipación y, cuando hubo diferencias estadísticas, se realizó una comparación de medias de Tukey ($p<0.05$). El análisis se efectuó por cada especie evaluada de manera separada.

Manejo experimental
Algunas consideraciones de manejo de las tres especies comestibles evaluadas, la temporalidad de siembra y cosecha entre otros aspectos se resumen en la Tabla 4. El riego se efectuó manualmente cada dos días, empleando un recipiente calibrado. El volumen de agua aplicado en cada riego fue proporcional al volumen del sustrato de cada diseño, con el fin de mantener la humedad cercana a la capacidad de campo. Para ello, se utilizó una relación de 196.9 litros de agua por cada metro cúbico de sustrato. Con base a dicha relación, el volumen de riego fue de 10 y 24 litros para el diseño D1 y diseño D2.

Núm. 61: 427-442 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Tabla 4. Resumen del manejo agronómico de la investigación
Table 4. Summary of agronomic management for research

Nombre común	**Acelga**	**Espinaca**	**Flor amarilla**
Nombre científico	*Beta vulgaris* L. var. *cicla*	*Spinacia oleracea* L.	*Brassica campestris* L.
Método de siembra	Siembra directa de plántulas		
Fecha de siembra	20 de abril de 2022		
Fecha de cierre	19 de agosto de 2022		
Órgano aprovechado	Hojas		
Consideraciones de cosecha	Hojas ≥ 25 cm	≥ 15 cm	
Número de cortes	5 cortes en intervalo de entre 9 a 29 días entre corte		
Plantas por estructura diseño D1	18		
Plantas por estructura diseño D2	22		
Control de malezas	1 control a los 60 días después de siembra		
Plagas de importancia	Chupadores pulgones (*Aphididae*)		Masticadores estado larval (especie no identificada)
Tipo de control	2 aplicación foliares en intervalo de 20 días (cloronicotinilo + Piretroide)		
Fertilización foliar	3 aplicaciones foliares a razón de 7.8 cc/litro de agua en intervalos de 20 días		

Cosecha

La cosecha de las tres especies se efectuó cuando las plantas alcanzaron la madurez foliar, determinada según los criterios indicados en la tabla 5, como longitud de hoja y estado fitosanitario libre de daños visibles. Para todas las especies, la primera cosecha se efectuó a los 49 días después de la siembra. Los cortes posteriores se efectuaron en un régimen de cinco cosechas con los siguientes intervalos: 9 días entre la primera y la segunda, 20 días entre la segunda y la tercera, 19 días entre la tercera y la cuarta, y 29 días entre la cuarta y la cuarta (última).

Los criterios de longitud foliar mínima para la cosecha fueron: B. *vulgaris* ≥ 25 cm; S.*oleracea* ≥ 15 cm y B. *campestris* ≥ 15 cm. Durante el estudio, se registró el peso fresco de cada tratamiento en cada uno de los cinco cortes.

RESULTADOS

Las especies *B. vulgaris* y *S. Oleracea* cultivadas en el diseño estructural D2 (tipo torre) mostraron una productividad superior con los sustratos de gallinaza y lombricomposta en comparación con el sustrato de broza/mantillo (Figura 3 y 4). Un comportamiento distinto se observó con la especie *B. campestris* (Figura 5); que presentó el mejor rendimiento en el diseño de estructura D1 (tipo cajas) en combinación con los sustratos de lombricomposta y gallinaza.

Núm. 61: 427-442 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

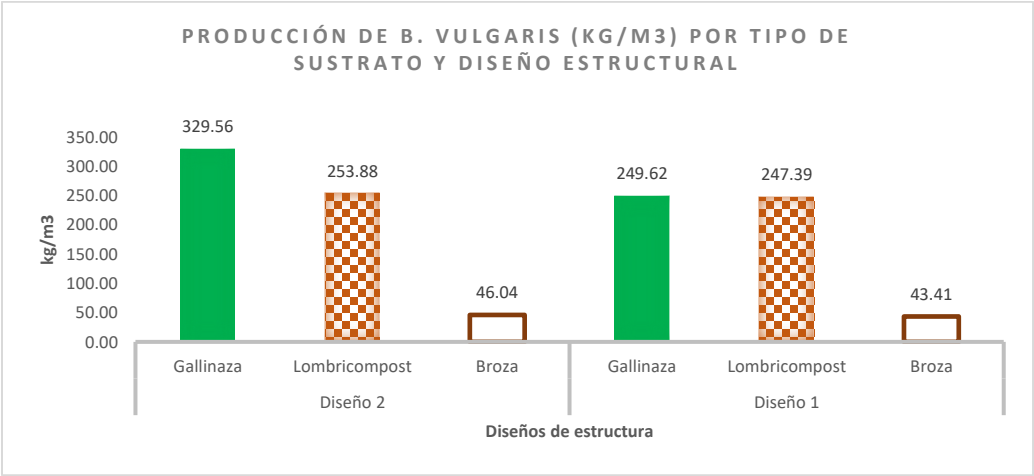


Figura 3. Producción promedio de biomasa de la especie acelga -*B. vulgaris* en kg/m^3
Figure 3. Average biomass yield of *B. vulgaris* (Swiss chard) in Kg/m^3

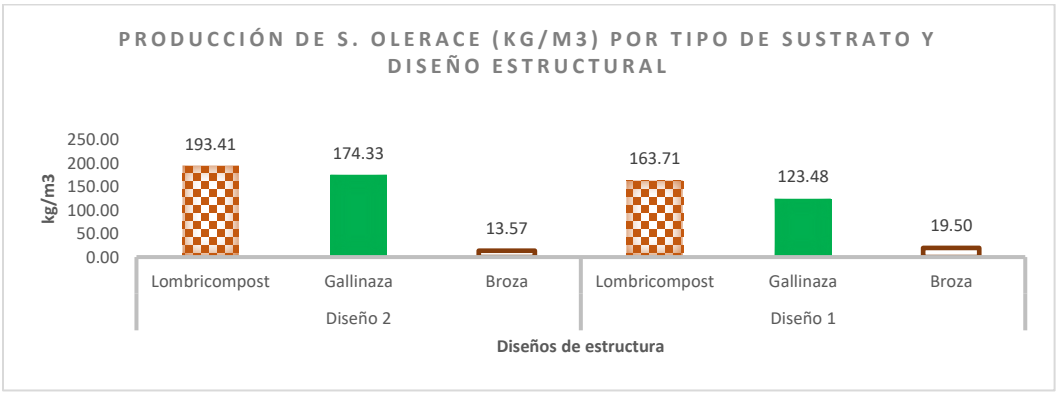


Figura 4. Producción promedio de biomasa de la especie espinaca -*S. oleracea* en kg/m^3
Figure 4. Average biomass yield of *S. oleracea* (Spinach) in Kg/m3.

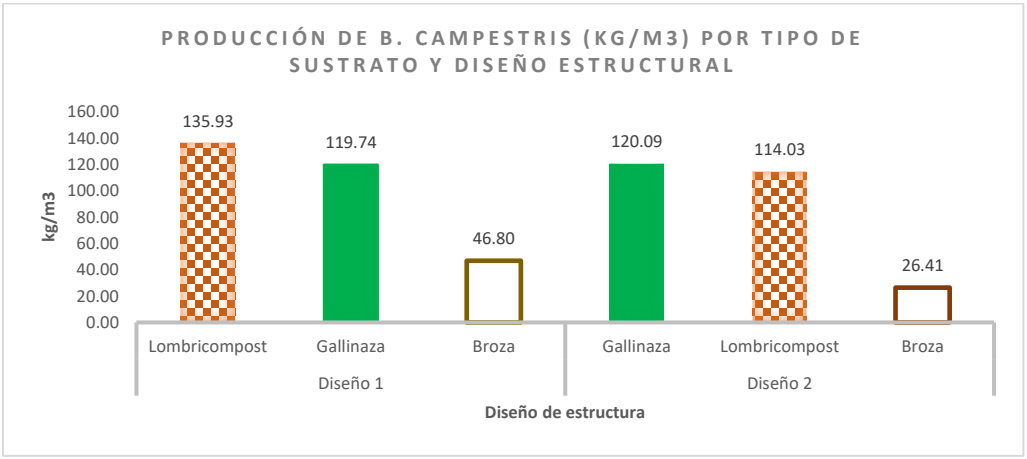


Figura 5. Producción promedio de biomasa de la especie flor amarilla -*Brassica campestris* L. kg/m^3
Figure 5. Average biomass yield of *Brassica campestris* L. in Kg/m^3.

Acelga *B. vulgaris*

El análisis de varianza reveló que la producción de *B. vulgaris* fue afectada de manera altamente significativa por el diseño estructural, el tipo de sustrato y la interacción entre ambos factores (Tabla 5). El factor que explicó la mayor variación fue el sustrato ($p<0.0001$), siendo la gallinaza el de mejor desempeño. Asimismo, se encontró un efecto significativo del diseño estructural ($p=0.0183$), con el diseño D2 mostrando la mayor producción promedio.

Tabla 5. Análisis de varianza para la producción de acelga *B. vulgaris.*
Table 5. Analysis of variance for the chard production of *B. vulgaris.*

Fuente de variación (F.V.)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad	Cuadrado Medio (CM)	F	p-valor
Modelo	230829.6	7	32975.66	98.27	<0.0001
Bloque	9393.39	2	4696.69	14	0.0013
Diseño	3021.49	1	3021.49	9	0.0133
Sustrato	214300.29	2	107150.14	319.31	<0.0001
Diseño*Sustrato	4114.43	2	2057.22	6.13	0.0183
Error	3355.72	10	335.57		
Total	234185.32	17			

Con base a la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha= 0.05$), la combinación entre el diseño estructural D2 con el sustrato de gallinaza produjo el rendimiento significativamente más alto de *B. vulgaris* alcanzando 329.6 kilogramos (Tabla 6), formando un conglomerado estadístico superior. Los tratamientos. que le siguieron en rendimiento, formando un grupo secundario, fue el diseño de D1 (cajas) combinado con gallinaza (260.94. kilogramos) y la lombricomposta en ambos diseños.

En contraste, el sustrato 3 (broza/mantillo) mostró los rendimientos más bajos y conformando un tercer grupo estadístico distinto e inferior (Clasificación C, Tabla 6b), independientemente del diseño estructural productivo empleado.

Tabla 6. Producción *B. vulgaris* prueba de medias para las variables: a) diseño, b) sustrato y c) interacción de factores en *B. vulgaris*.
Table 6. Yield of *B. vulgaris* Analysis of variance for the variables: a) design b) substrate and c) interaction between factors.

a) Diseño

Diseño	Medias (kg)	E.E.	Clasificación
D2	209.83	6.11	A
D1	183.92	6.11	B

b) Sustrato

Sustrato	Medias (kg)	E.E.	Clasificación
Gallinaza	295.25	7.48	A
Lombricomposta	250.64	7.48	B
Broza	44.73	7.48	C

c) Interacción

Diseño	Sustrato	Medias (kg)	E.E.	Clasificación
D2	Gallinaza	329.56	10.58	A
D1	Gallinaza	260.94	10.58	B
D2	Lombricomposta	253.88	10.58	B
D1	Lombricomposta	247.39	10.58	B
D2	Broza	46.04	10.58	C
D1	Broza	43.41	10.58	C

Espinaca *S. oleracea* L.

El análisis de varianza (Tabla 7) de la producción de *S. oleracea* no mostró un efecto significativo del diseño estructural ($p = 0.0544$), pero si reveló diferencias altamente significativas debidas con base al tipo de sustrato ($p < 0.0001$), donde la lombricomposta y la gallinaza superaron notablemente la broza/mantillo (Tabla 8). La interacción entre el diseño y el tipo de sustrato no fue significativa, lo que sugiere que la elección del sustrato es el factor determinante para maximizar la producción de esta especie comestible.

Tabla 7. Análisis de varianza para la producción de *S. oleracea*
Table 7. Analysis of variance for the spinach production *S. oleracea*

Fuente de variación (F.V.)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad	Cuadrado Medio (CM)	F	p-valor
Modelo	96605.46	7	13800.78	23.52	<0.0001
Bloque	2044.77	2	1022.39	1.74	0.2243
Diseño	2784.57	1	2784.57	4.75	0.0544
Sustrato	89305.99	2	44652.99	76.1	<0.0001
Diseño*Sustrato	2470.13	2	1235.07	2.1	0.1726
Error	5868.03	10	586.8		
Total	102473.49	17			

Nota: gl= grados de libertad; CM= cuadrado medio; F= estadístico F de Fisher.

Tabla 8. Prueba de medias para la variable sustrato en *S. oleracea.*
Table 8. T- test for variable substrate in *S. oleracea*.

Sustrato	Medias	E.E.	Clasificación
Lombricomposta	178.56	9.89	A
Gallinaza	148.91	9.89	A
Broza (mantillo)	16.54	9.89	B

Los resultados de producción de *S. oleracea* sugieren la especie *S. oleracea* se ajusta a condiciones confinadas, sin embargo, el sustrato que le proporcionó las mejores condiciones para alcanzar la producción reflejada en la Tabla 8 corresponde al uso de lombricomposta.

Núm. 61: 427-442 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Flor amarilla *B. campestris*

La producción de *B. campestris* con base al análisis de varianza, no presentó diferencias significativas entre las dos opciones de estructuras de producción de alimentos (tipo torre y cajas). Por el contrario, se observaron diferencias altamente significativas (p >0.0001) entre de los sustratos (Tabla 9). No obstante, no se detectó interacción significativa entre el diseño de estructura y el tipo de sustrato.

Tabla 9. Análisis de varianza para la producción de *B. campestris*.
Table 9. Analysis of variance for the yield of *B. campestris*.

Fuente de variación (F.V.)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad	Cuadrado Medio (CM)	F	p-valor
Modelo	30920.48	7	4417.21	13.57	0.0002
Bloque	24.45	2	12.23	0.04	0.9633
Diseño	879.9	1	879.9	2.7	0.1312
Sustrato	29552.6	2	14776.3	45.39	<0.0001
Diseño*Sustrato	463.52	2	231.76	0.71	0.514
Error	3255.67	10	325.57		
Total	34176.15	17			

Tabla 10. Prueba de Tukey para la variable producción de biomasa por el uso del sustrato en *B. campestris*.
Table 10. Tukey's mean test for the variable biomass production by using the substrate variable in *B. campestris.*

Sustrato	Medias	E.E.	Clasificación
Lombricomposta	124.98	7.37	A
Gallinaza	119.92	7.37	A
Broza	36.6	7.37	B

Con base en la prueba de medias de Tukey, se observó superioridad de la producción promedio de *B. campestris* empleando en los sustratos de lombricomposta y gallinaza sobre la broza/mantillo (Tabla 10).

DISCUSIÓN

El presente estudio demostró que, para alcanzar la optimización en los sistemas verticales de producción de alimentos, con referencia a las dos estructuras (diseños) y las especies *B. vulgaris* y *S. oleracea* en contextos de escasos recursos depende de la interacción entre el diseño y la calidad del sustrato, más que de factores aislados.

Los resultados confirman que el diseño estructural como el sustrato influyeron significativamente (p = 0.001) en la producción de *B. vulgaris*. Además, se observó una interacción significativa (p=0.0183) entre ambos factores, lo que indica que el efecto del sustrato en el rendimiento dependió del diseño de la estructura de producción empleado, y viceversa. La superioridad del diseño estructural D2 (tipo torre) puede atribuirse a una mejor optimización del espacio y una exposición lumínica más homogénea para las plantas. Si bien esta variable no fue medida cuantitativamente en el estudio, representa una línea de investigación prioritaria para futuros trabajos vinculado a los sistemas verticales.

De manera consistente, el sustrato surgió como el factor de mayor influencia en el rendimiento de las tres especies, estos resultados concuerdan con los argumentos de (Bárbaro *et al.*, 2019) quien a través de la caracterización de 15 tipos de composta comprobaron que estos mejoran las características físicas y químicas de un sustrato a comparación de un suelo convencional. En el presente estudio de los sustratos evaluados, la gallinaza y la lombricomposta fueron superiores sobre la broza/mantillo, concordando con lo reportado por (Libutti *et al.*, 2020). Para el caso de la gallinaza, la composición de este recurso es una alternativa ideal ya que al estabilizar la materia orgánica facilita el aprovechamiento de sus propiedades como fertilizante como afirman (Casas Rodriguez & Guerra Casas, 2020). Además, estos beneficios sobre la producción coinciden con los hallazgos de (Peñaloza Monroy *et al.*, 2019), quienes reportaron mayores rendimientos y tallos más vigorosos en tratamientos basado en gallinaza. (Wang *et al.*, 2017), también documentaron incrementos entre el 5 y 10% en cultivos de alta densidad mediante el uso de estiércol (abono orgánico).

En el caso específico de la especie *B. vulgaris*, el nitrógeno disponible (+17%) proporcionado por la gallinaza presentó una relación positiva sobre la producción de hojas frescas lo cual concuerda con las afirmaciones de (Puccinelli *et al.*, 2022), además, este sustrato mejoró significativamente el ratio de peso seco/peso húmedo de las hojas y en la variable de área foliar. De manera similar, el uso de compostaje enriquecido ha destacado como sustrato efectivo para las tres especies estudiadas, fundamentalmente para *S. oleracea* y *B. campestris*, en coincidencia con los estudios realizados por (Smith *et al.*, 2001) y validados por (Tognetti *et al.*, 2005).

En el presente estudio se observó que la producción de *B. vulgaris* (var. *cicla*) bajo los diseños estructurales D1 y D2 se redujo entre un 18% y un 46%, respectivamente, en comparación con una producción intensiva en suelo reportada por Seymor (1999), citado en Salas Espinoza, (2019). Ésta marcada reducción puede atribuirse fundamentalmente a la severa limitación en el volumen del sustrato, el cual se encuentra muy por debajo del mínimo recomendado de 7-10 litros/planta para esta especie (Morales *et al.*, 2021); (Elorza, 2019), sin embargo, (Lemaitre & Gallego, 2014) afirma que el volumen mínimo puede considerarse en los 5 litros. restringiendo drásticamente la disponibilidad de nutrientes y agua disponible para las plantas.

Para la especie *S. oleracea* el requerimiento es entre 2 - 4 litros de sustrato por planta, tal como lo afirman (Lemaitre & Gallego, 2014) y cuya afirmación es confirmada por la autora (Elorza, 2019). Con relación a la producción asociada a los sustratos para las especies *S. oleracea* y *B. campestris*, los mayores rendimientos se obtuvieron por medio los sustratos de lombricomposta y gallinaza, respectivamente. Los hallazgos sugieren que en los diseños evaluados la calidad de los sustratos es clave en el rendimiento de los cultivos aún más que el volumen de los recipientes.

Los resultados sistematizados en esta investigación permiten que, para los diseños de estructura evaluados, la calidad del sustrato fue un factor determinante en el rendimiento, que podría compensar parcialmente las limitaciones impuestas por el reducido volumen de los contenedores. No obstante, se identificaron desafíos técnicos, como la baja capacidad de retención de humedad en la sección superior del diseño D2, lo que implicó elevar la frecuencia de riego.

A pesar de estas limitaciones mencionadas, los sistemas verticales evaluados muestran un gran potencial para ser empleados por familias de bajos recursos en zonas con espacio limitado. Incluso en situaciones de crisis, como la pandemia de COVID-19, estos sistemas podrían ofrecer el acceso y disponibilidad de alimentos frescos ante la interrupción de las cadenas de suministro convencional. Estos resultados sugieren que los sistemas verticales de producción de alimentos representan una alternativa viable para complementar y fortalecer la seguridad alimentaria de familias con escasos recursos, sin la pretensión de reemplazar la producción convencional intensiva.

CONCLUSIONES

El presente estudio evidencia la importancia de optimizar conjuntamente el diseño estructural vertical de producción de alimentos y el tipo de sustrato para maximizar el rendimiento en los

sistemas verticales de producción destinados a condiciones de escasos recursos y espacios físicos reducidos.

La restricción en el volumen de sustrato, características de estos sistemas, es una limitante para alcanzar la producción de una agricultura convencional. Sin embargo, no se pretendió desplazar un sistema de agricultura convencional, sino aportar en la diversidad de la dieta alimentaria. Así mismo, el estudio resalta que el uso de sustratos de alto contenido nutricional para los cultivos, como lo gallinaza y la lombricomposta, es una estrategia clave para compensar esta limitación y maximizar el rendimiento en condiciones de confinamiento. Los resultados permiten atribuir mejores rendimientos de la especie *B. vulgaris* en el diseño estructural D2 (tipo torre), dado a su capacidad para optimizar el espacio y brindar mejores condiciones lumínicas para las plantas, una condición clave en agricultura vertical.

En perspectiva, estos sistemas verticales rústicos representan una herramienta innovadora para fortalecer la seguridad alimentaria en entornos con limitaciones de espacio y escasos recursos. Su implementación puede beneficiar a familias en contextos rurales, urbanos o periurbanos al proporcionar acceso a alimentos frescos.

AGRADECIMIENTOS

El estudio contó con el financiamiento la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo -AECID- y del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático – ICC-, en el marco del proyecto: Implementación de medidas de adaptación a la variabilidad y el cambio climático para contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional y la reducción de la desnutrición infantil en comunidades y municipios del Departamento de Sololá, Guatemala.

LITERATURA CITADA

Acción contra el hambre. (2023). *La crisis climática es una crisis de hambre llamamiento de acción contra el hambre sobre la crisis climática diciembre 2023*. https://accioncontraelhambre.org/sites/default/files/documents/lacrisisclimaticaesunacrisisdehambre02esp.pdf

Azurdia, C. (2016). *Plantas Mesoamericanas Subutilizadas en la Alimentación Humana. El caso de Guatemala: una revisión del pasado hacia una solución actual*. https://digi.usac.edu.gt/edigi/pdf/plantasmeso.pdf

Bárbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., & Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, *35*(2), 126–136. https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309

Bello, O., Peralta, L., Monett, Á., Rivas, J. C., & López, J. (2021). *Evaluación de los efectos e impactos de las depresiones tropicales Eta y Iota en Guatemala*. https://www.cepal.org/es/publicaciones/46681-evaluacion-efectos-impactos-depresiones-tropicales-eta-iota-guatemala

Canales, A. (2019). La centralidad de las migraciones en la reproducción de las sociedades avanzadas. *REMHU: Revista Interdisciplinar Da Mobilidade Humana*, *27*(57), 101–121. https://doi.org/10.1590/1980-85852503880005707

Casas Rodriguez, S., & Guerra Casas, L. D. (2020). La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización. *Revista de Producción Animal*, *32*(3). http://scielo.sld.cu/pdf/rpa/v32n3/2224-7920-rpa-32-03-87.pdf

Dawood, F., & van Vuuren, J. H. (2023). A multi-dimensional spatial index for the quantification of food insecurity. *Journal of Agriculture and Food Research*, *14*. https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2023.100768

Eduarda Borges, C., Von dos Santos Veloso, R., Alves da Conceição, C., Sampaio Mendes, D., Ramirez-Cabral, N. Y., Shabani, F., Shafapourtehrany, M., Carlota Nery, M., & Siqueira

da Silva, R. (2023). Forecasting Brassica napus production under climate change with a mechanistic species distribution model. *Scientific Reports* |, *13*. https://doi.org/10.1038/s41598-023-38910-3

Elorza, M. I. (2019). *Cultivo de un huerto y prácticas asociadas*. http://www.munistgo.info/medio_ambiente/biblioteca_digital/Cultivo_de_un_huerto.pdf

FAO. (2004). *La Mujer en la Agricultura, Medio Ambiente y la Producción Rural GUATEMALA*. http://www.fao.org/3/ad930s/ad930s01.htm

FAO. (2022). Urban and peri-urban agriculture sourcebook. In *Urban and peri-urban agriculture sourcebook*. FAO. https://doi.org/10.4060/CB9722EN

FAO. (2023). The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. In *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023*. FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO; https://doi.org/10.4060/CC3017EN

Garrido Solano, A. L., Ochoa, W., & Carrera, J. L. (2019). *Agricultura y seguridad alimentaria*. https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2019/07/1RepCCGuaCap6.pdf

ICC. (2021). *Informe de Línea base del proyecto Implementación de medidas de adaptación a la variabilidad y el cambio climático para contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional y la reducción de la desnutrición infantil en comunidades y municipios del departamento de Sololá, Guatemala MACC-SAN* .

Idrissova, A., Zhumaguloga, Z., Myrzabayeva, G., Abayeva, K., & Bekbauov, M. (2023). Adaptive abilities of chard cultivars. *Scientific Horizons*, *26*(7), 118–128. https://doi.org/10.48077/SCIHOR7.2023.118

INCAP. (2012). *Tabla de composición de alimentos de centro América* (H. Méndez, Ed.; 2a.). http://www.incap.int/mesocaribefoods/dmdocuments/TablaCAlimentos.pdf

Iriany, A., Hasanah, F., Roeswitawati, D., & Bela, M. F. (2021). Biodegradable mulch as microclimate modification effort for improving the growth of horenso; Spinacia oleracea L. *Global Journal of Environmental Science and Management*, *7*(2), 185–196. https://doi.org/doi.org/10.22034/gjesm.2021.02.03

Jiménez, J., Arias, L. A., Espinosa, L., Fuentes, L. S., Garzón, C., Gil, R., Niño, N., & Rodriguez, M. (2010). *El cultivo de la espinaca (Spinacia oleracea* L.*) y su manejo fitosanitario en Colombia*. UJTL. http://hdl.handle.net/20.500.12324/13123

Lal, R. (2020). Home gardening and urban agriculture for advancing food and nutritional security in response to the COVID-19 pandemic. *Food Security 2020 12:4*, *12*(4), 871–876. https://doi.org/10.1007/S12571-020-01058-3

Lane, G., Xinico, S., Monroy-Valle, M., Cordón-Arrivillaga, K., & Vatanparast, H. (2024). Intergenerational Food Insecurity, Underlying Factors, and Opportunities for Intervention in Momostenango, Guatemala. *Nutrients*, *16*(4), 470. https://doi.org/10.3390/NU16040470

Lemaitre, H., & Gallego, J. T. (2014). *El huerto ecológico en macetas - Hortensia Lemaitre* (tercera). RBA Libros S.A. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=sz3ODwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=espinaca,+maceta,+sustrato,+volumen,+litros&ots=jqLaCyHDkH&sig=Ng_iq60NFe1mYdIvYOJujZ21zZ8#v=onepage&q&f=false

Libutti, A., Trotta, V., & Rivelli, A. R. (2020). Biochar, Vermicompost, and Compost as Soil Organic Amendments: Influence on Growth Parameters, Nitrate and Chlorophyll Content of Swiss Chard (*Beta vulgaris* L. var. *cycla*). *Agronomy 2020, Vol. 10, Page 346*, *10*(3), 346. https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10030346

Martínez del Amo, Y., & Romero Montoya, M. (2015). Tuberias de PVC orientado: eficiencia, ahorro energético y sostenibilidad. *XXXIII Congreso Nacional de Riegos*, 373–379. https://doi.org/10.4995/CNRIEGOS.2015.1512

Monroy-Valle, M., Estrada, M. R., del Carmen Caamaño, M., Cordón-Arrivillaga, K., Lane, G., & Vatanparast, H. (2025). Preschoolers in severely food insecure Guatemalan Mayan households consume a monotonous grain-based diet. *BMC Public Health 2025 25:1*, *25*(1), 1–15. https://doi.org/10.1186/S12889-025-24111-2

Recibido:
27/mayo/2025

Aceptado:
2/diciembre/2025

Morales Gamboa, A. (2020). El círculo de la fragilidad: migración de sobrevivencia en Centroamérica. *Migración y Desarrollo*, *18*(35), 41–70. https://doi.org/10.35533/myd.1835.amg

Morales, L., Vilis, I., Jarri, L., Fontalvo, J., Alfonso, J., & Acosta, J. (2021). Cultivo de Acelga. In *Infografía*. https://www.uv.mx/hab/files/2021/10/Cultivo-de-Acelga.pdf

Peñaloza Monroy, J., Perez López, D., Reyes, A., González, A., & Sangermán, D. (2019). Fertilización orgánica con tres niveles de gallinaza en cuatro cultivares de papa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *10*(5), 1139–1149. https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V10I5.1759

Puccinelli, M., Carmassi, G., Botrini, L., Bindi, A., Rossi, L., Fierro-Sañudo, J. F., Pardossi, A., & Incrocci, L. (2022). Growth and Mineral Relations of *Beta vulgaris* var. *cicla* and *Beta vulgaris* ssp. *maritima* Cultivated Hydroponically with Diluted Seawater and Low Nitrogen Level in the Nutrient Solution. *Horticulturae*, *8*(7), 1–21. https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE8070638

Salas Espinoza, J. L. (2019). *Manejo de Nutrición Considerando Capacidad de Extracción de Fertilizantes en la Producción de Acelga (Beta vulgaris)* [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/46451/K%2066045%20Salas%20Espinoza%2C%20Jorge%20Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SGCCC. (2019). *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala: Resumen para tomadores de decisión*. https://sgccc.org.gt/resumen-para-tomadores-de-decision/

Smith, D. C., Beharee, V., & Hughes, J. C. (2001). The effects of composts produced by a simple composting procedure on the yields of Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *flavescens*) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L. var. nanus). *Scientia Horticulturae*, *91*(3–4), 393–406. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00273-4

Solorio, J. (2020, December 11). *¿Cuál es la diferencia entre el CPVC Cédula 80 y el PVC? | Corzan*. https://www.corzan.com/es-mx/blog-sp/diferencia-entre-cpvc-corzan-y-pvc

Tognetti, C., Laos, F., Mazzarino, M. J., & Hernández, M. T. (2005). Composting vs. vermicomposting: A comparison of end product quality. *Compost Science and Utilization*, *13*(1), 6–13. https://doi.org/10.1080/1065657X.2005.10702212;JOURNAL:JOURNAL:UCSU20;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:UCSU20;ISSUE:ISSUE:DOI

Wang, X., Ren, Y., Zhang, S., Chen, Y., & Wang, N. (2017). Applications of organic manure increased maize (*Zea mays* L.) yield and water productivity in a semi-arid region. *Agricultural Water Management*, *187*, 88–98. https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2017.03.017

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

ORQUÍDEAS SILVESTRES COMERCIALIZADAS EN CINCO MERCADOS TRADICIONALES DE OAXACA, MÉXICO

WILD ORCHIDS SOLD IN FIVE TRADITIONAL MARKETS IN OAXACA, MEXICO

Santos Escamilla, M.H., G.V. Campos Angeles, J.C. Carrillo Rodríguez, N.G. Molina Luna
ORQUÍDEAS SILVESTRES COMERCIALIZADAS EN CINCO MERCADOS TRADICIONALES DE OAXACA, MÉXICO
WILD ORCHIDS SOLD IN FIVE TRADITIONAL MARKETS IN OAXACA, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 443-456 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.25

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

POLIBOTÁNICA

Núm. 61: 443-456 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Orquídeas silvestres comercializadas en cinco mercados tradicionales de Oaxaca, México

Wild orchids sold in five traditional markets in Oaxaca, Mexico

María Hipólita Santos Escamilla https://orcid.org/0009-0003-8239-9122
Gisela Virginia Campos Angeles / gisela.ca@voaxaca.tecnm.mx
http://orcid.org/0000-0003-2258-7124
José Cruz Carrillo Rodríguez https://orcid.org/0000-0002-4170-224X
Nancy Gabriela Molina Luna https://orcid.org/0000-0001-8297-5925
TecNM/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex Hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, 71230

María Hipolita Santos Escamilla, Gisela Virginia Campos Angeles, José Cruz Carrillo Rodríguez, Nancy Gabriela Molina Luna

ORQUÍDEAS SILVESTRES COMERCIALIZADAS EN CINCO MERCADOS TRADICIONALES DE OAXACA, MÉXICO

WILD ORCHIDS SOLD IN FIVE TRADITIONAL MARKETS IN OAXACA, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 443-456. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.25

RESUMEN: Las orquídeas silvestres son fundamentales para la salud de los ecosistemas ya que actúan como bioindicadores, proporcionan refugio a la fauna, reducen los niveles de dióxido de carbono y almacenan agua en sus estructuras. En muchas regiones de México son un medio de vida para los habitantes de localidades rurales con algún grado de marginación. Estas especies son ofrecidas en mercados tradicionales debido a la vistosidad de sus flores, por lo que su presencia en ellos tiene temporalidad. El objetivo de este estudio fue analizar la comercialización de orquídeas en cinco mercados tradicionales del estado de Oaxaca. Se realizaron entrevistas semiestructuradas a vendedores en cuatro mercados de los Valles Centrales (registrados en dos temporadas) y uno de la Sierra Sur de Oaxaca (registrado en una temporada), esto con la finalidad de identificar los lugares de procedencia, el número de especies que comercializan y la cantidad en volumen. Se registraron un total de 13 especies de orquídeas, los mercados de Zaachila y la Central de Abastos presentan la mayor diversidad con 11 especies cada uno. En 2023 se estimó el número de especímenes que llegan a cada mercado, en la Central de Abastos 1,705 especímenes, Zaachila 740, Ocotlán 296 y Tlacolula 360. En 2024 se notó una disminución de 152 especímenes en los mercados de los Valles Centrales y en el mercado de la Sierra Sur se encontraron 505. Cabe destacar que la venta es dominada por mujeres de 16 localidades diferentes que pertenecen a cuatro regiones del Estado.

Palabras clave: diversidad, extracción, procedencia, recursos forestales.

ABSTRACT: Wild orchids play a vital role in ecosystem health by functioning as bioindicators, providing shelter for wildlife, reducing atmospheric carbon dioxide levels, and storing water within their structures. In many regions of Mexico, these species also serve as a livelihood for residents of rural communities experiencing varying degrees of marginalization. Due to the striking appearance of their flowers, orchids are sold in traditional markets, where their presence is seasonal. This study aimed to analyze the commercialization of orchids in five traditional markets in the state of Oaxaca. Semi-structured interviews were conducted with vendors in four markets located in the Central Valleys region (sampled during two seasons) and one market in the Sierra Sur region (sampled during one season). The objective was to identify the origins of the orchids, the number of species being sold, and the volume of specimens traded. A total of 13 orchid species were recorded, with the Zaachila market and the Central de Abastos market exhibiting the highest diversity, each with 11 species. In 2023, the estimated number of specimens arriving at each market was as follows: Central de Abastos – 1,705 specimens; Zaachila – 740; Ocotlán – 296; and Tlacolula – 360. In 2024, a decline of 152 specimens was observed across the Central Valleys markets, while 505 specimens were recorded in the Sierra Sur market. It is noteworthy that orchid sales are predominantly managed by women from 16 different localities spanning four regions of the state.

Key words: diversity, extraction, forest resources, origin.

Núm. 61: 443-456 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

INTRODUCCIÓN

En México la familia Orchidaceae es una de las más ricas en especies, superada sólo por Asteraceae y Fabaceae (Villaseñor, 2016). Se estima la presencia de 1,302 especies de las cuales el 40% son endémicas y se encuentran distribuidas en 167 géneros (Espejo-Serna, 2012; Solano-Gómez *et al*., 2020). En el estado de Oaxaca se reportan 750 especies de Orquídeas, en 150 géneros, por lo que es uno de los estados más diversos del país (Fortanelli-Martínez *et al*., 2021). El uso principal de las orquídeas es el de ornato, sin embargo, algunas especies también son utilizadas como medicina, alimento, cosmético y sociocultural (Barragán-Zarate *et al*., 2022; Bazzicalupo *et al*., 2023; Castillo-Pérez *et al*., 2024; Gantait *et al*., 2021; Gutiérrez-Rodríguez *et al*., 2022; Martínez-Morales *et al*., 2020; Rodríguez-Deméneghi *et al*., 2023; Tiwari *et al*., 2024); debido a lo anterior, existe una gran demanda en los mercados locales, nacionales e internacionales, la cual se satisface mediante la extracción indiscriminada de las poblaciones naturales (Bashyal *et al*., 2023; Hinsley *et al*., 2018). La venta de orquídeas en mercados tradicionales es una práctica extendida en todo México y otros países (Gale *et al*., 2019), donde estas especies son aprovechadas relativamente cerca del lugar donde se localizan los mercados (Liu *et al*., 2020). El aprovechamiento lo realizan personas de pequeñas comunidades rurales que por lo regular se dedican a la ganadería o agricultura, y que ofrecen sus productos como frutas de temporada, verduras, plantas medicinales o flores de ornato como las orquídeas, convirtiendo esta actividad en un medio de vida y de subsistencia para muchas familias (Martínez-López *et al*., 2022; Oldfield & Jenkins, 2012).

Emeterio-Lara *et al*. (2016), reportan que Oaxaca es uno de los estados con mayor extracción de especímenes de sus poblaciones naturales, ya que existen mercados principales en donde se concentran comerciantes de las comunidades cercanas, la gran diversidad de la familia Orchidaceae en el estado hace posible que en cada mercado se encuentran diferentes especies. Su presencia depende de su periodo de floración (Jiménez-López, *et al*., 2019b; Song *et al*., 2017), ya que muchas son apreciadas por la vistosidad y tamaño de sus flores (Cruz-García *et al*., 2015; Emeterio-Lara *et al*., 2016). Algunas de las orquídeas en floración son utilizadas en las festividades religiosas de las diversas comunidades dependiendo de la época, algunos ejemplos son la Navidad, Semana Santa y Día de Muertos (Jiménez-López *et al*., 2019a). Debido a lo anterior se estudió la comercialización de orquídeas silvestres las siete semanas previas a la fiesta de Navidad en los mercados tradicionales de Valles Centrales de Oaxaca. La estimación de la cantidad de especímenes comercializados puede dar una idea de su situación en las poblaciones naturales y qué especies son más frecuentes en cuanto a la extracción y por lo tanto más vulnerables; también se pueden proponer estrategias para su aprovechamiento sustentable ya que esta actividad es un medio de vida para las personas que las comercializan y es parte de su cultura e identidad. Además, es necesario identificar si hay una relación en la procedencia de los especímenes con los mercados en los que se comercializan, por lo tanto, el objetivo del estudio, fue analizar la comercialización de orquídeas en cinco mercados tradicionales del estado de Oaxaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en cinco mercados tradicionales de Oaxaca, cuatro de la región de los Valles Centrales y uno de la Sierra Sur, debido al importante aporte de la zona a la comercialización de orquídeas en los mercados de los Valles Centrales. La primera región comprende una superficie de 9,480 km^2 que se divide en 121 municipios. Cuya población acude a siete mercados tradicionales de los cuales destacan cuatro por su afluencia debido a su ubicación estratégica; la diversidad de productos que ofrecen y su papel como centros de encuentro y abastecimiento en donde se refleja tanto la movilidad cotidiana como el intercambio de saberes, y la dinámica económica regional. Su capacidad de convocatoria los convierte en espacios clave para observar las cadenas de comercialización de especies nativas. Es importante aclarar que debido a lo

anterior cada uno de ellos tiene asignado un día específico dentro de una semana: Central de Abastos de la ciudad de Oaxaca (martes y sábado), Tlacolula de Matamoros (domingo), Villa de Zaachila (jueves), Ocotlán de Morelos (viernes); el mercado de Miahuatlán de Porfirio Díaz (lunes) en la Sierra Sur de Oaxaca (Figura 1).

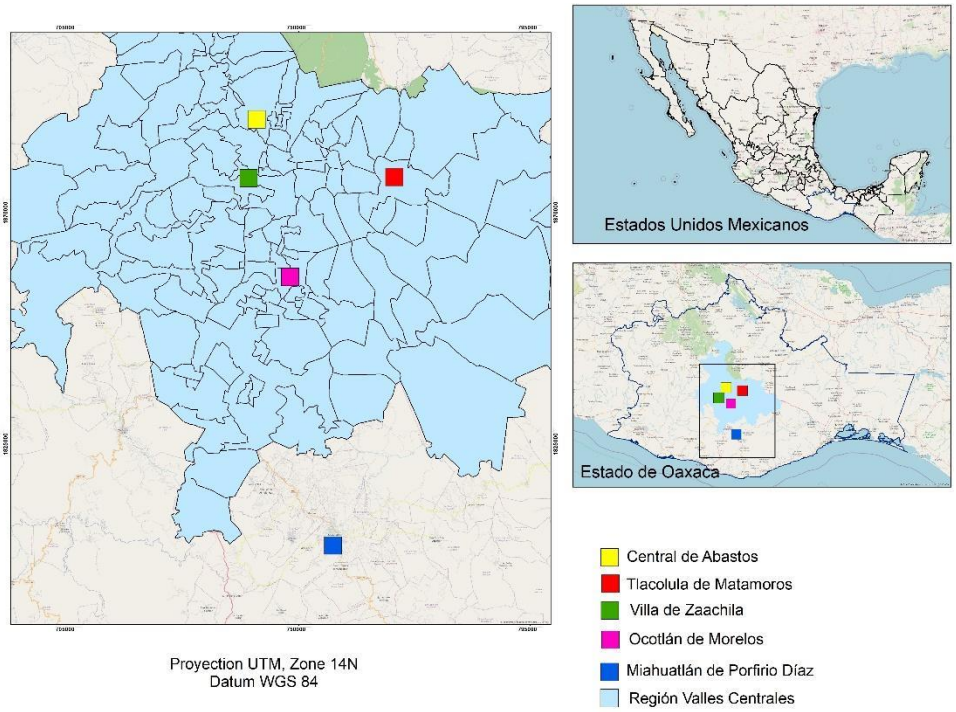


Figura 1. Ubicación geográfica de los mercados estudiados.
Figure 1. Location of the studied markets, where wild orchids are sold.

Registro de datos

En el año primer año de estudio (2023), se registró la comercialización de orquídeas en los cuatro mercados de los Valles centrales en el segundo año (2024), además de ellos se realizaron registros en Miahuatlán de Porfirio Díaz perteneciente a la región de la Sierra Sur. En ambos años el periodo de registro abarcó las seis semanas previas a la navidad para asegurar el registro del inicio de la temporada de comercialización de estudio.

Por observación directa y debido a que el número de vendedores de orquídeas silvestres en cada mercado es bajo, inicialmente se consideró entrevistar a todos, sin embargo, no todos aceptaron responder la entrevista o en algunos casos no respondieron todas las preguntas, por lo que finalmente se consideraron sólo 17 de 31 en la central de abastos de la ciudad de Oaxaca, 15 de 18 en la villa de Zaachila, 11 de 13 en Ocotlán de Morelos, 9 de 12 en Miahuatlán de Porfirio Díaz, en Tlacolula de Matamoros todos aceptaron responder la entrevista, pero sólo había 6 vendedores.

A todos los vendedores que aceptaron responder, se les aplicó una entrevista semiestructurada con la técnica reportada por Estrada, (1985). Donde se les preguntó su nombre, edad, procedencia, origen de las orquídeas (cultivado o silvestre), temporalidad de la comercialización y cantidad aproximada comercializada por día de plaza. De manera complementaria por observación directa se registró el número de vendedores y/o vendedoras, el número de especies y el número total de especímenes en cada uno de los puestos.

Núm. 61: 443-456 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Análisis de datos

La identificación de los especímenes que se encontraron con flor se determinó con guías ilustradas de campo (Nash & Criox, 2005) y fotografías tomadas en los mercados. Debido a que algunas especies se encuentran en situación vulnerable de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010, se evitó su compra, por lo que el registro de datos para su identificación se realizó por observación y se corroboró con ayuda de las claves taxonómicas Icones Orchidacearum (Hágsater & Salazar, 1990; Hágsater & Soto, 2003; Hágsater & Soto, 2008).

Se calculó la frecuencia absoluta y relativa de información como: sexo de los vendedores, origen de los especímenes y temporalidad de la venta. Además, se aplicó una prueba de bondad de ajuste (χ^2, $\alpha = 0.05$) para evaluar diferencias entre mercados en cuanto a la información registrada, utilizando el paquete estadístico SAS ver. 9.4 (SAS Institute, 2017). También se estimó la cantidad total de especímenes que se venden en cada mercado por día de plaza, mediante la suma de todas las orquídeas vendidas por todos los vendedores por cada mercado. Con las variables calculadas se realizaron cuadros y gráficas en el programa de Microsoft Excel 2019.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos mostraron que se comercializan diversas especies de orquídeas silvestres en las fiestas navideñas, las más comunes son las que coinciden con su periodo de floración ya que son apreciadas por su singular belleza debido a que son atractivas a la vista. Además, también es importante aclarar que se observó la comercialización de algunas plantas sin flores en los diferentes mercados que se analizaron, por lo anterior algunas no se lograron identificar. Se identificaron en total 13 especies en los cinco mercados, de las cuales cinco son endémicas de México y tres se encuentran en alguna categoría de riesgo, *Laelia furfuracea* en protección especial, *Prosthechea karwinskii* y *Rhynchostele cervantesii* ssp. *membranacea* en categoría de amenazadas (SEMARNAT, 2010). El mercado de Zaachila y la Central de Abastos fueron los que presentaron una mayor riqueza de especies (Cuadro 1) debido a que en ellos confluye la mayor cantidad de comerciantes, además de ser los más cercanos a la capital del estado de Oaxaca a diferencia de los mercados de Ocotlán, Tlacolula y Miahuatlán donde se encontraron ocho, siete y seis especies respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Especies de orquídeas silvestres que se comercializan en los diferentes mercados tradicionales de Oaxaca
Table 1. Species of wild orchids sold in the different Christmas markets of Oaxaca

Mercado	Número de especies	Especies	Frecuencia de venta
Central de Abastos	12	*Artorima erubescens* (Lindl.) Dressler & GEPollard	9
		Dichaea glauca (Sw.) Lindl.	3
		Encyclia sp.	2
		Epidendrum sp.	2
		Laelia albida Bateman ex Lindl.	3
		Laelia furfuracea Lindl.	13
		Prosthechea karwinskii (Mart.) J.M.H.Shaw	5
		Prosthechea michuacana (La Llave & Lex.) W.E.Higgins	3
		Rhynchostele cervantesii ssp. *membranacea* (Lindl.) Soto Arenas & Salazar	4
		Rhynchostele maculata (La Llave & Lex.) Soto Arenas & Salazar	2
		Sobralia macrantha Lindl.	1
Ocotlán de Morelos	8	*Artorima erubescens* (Lindl.) Dressler & GEPollard	9
		Epidendrum sp.	1

Núm. 61: 443-456 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Mercado	Número de especies	Especies	Frecuencia de venta
Tlacolula de Matamoros	6	*Laelia albida* Bateman ex Lindl.	2
		Laelia furfuracea Lindl.	7
		Prosthechea karwinskii (Mart.) J.M.H.Shaw	4
		Prosthechea michuacana (La Llave & Lex.) W.E.Higgins	5
		Rhynchostele cervantesii ssp. *membranacea* (Lindl.) Soto Arenas & Salazar	2
		Rhynchostele maculata (La Llave & Lex.) Soto Arenas & Salazar	2
		Dichaea glauca (Sw.) Lindl.	2
		Prosthechea michuacana (La Llave & Lex.) W.E.Higgins	2
		Rhynchostele cervantesii ssp. membranacea (Lindl.) Soto Arenas & Salazar	1
		Rhynchostele maculata (La Llave & Lex.) Soto Arenas & Salazar	2
Villa de Zaachila	15	*Artorima erubescens* (Lindl.) Dressler & GE Pollard	12
		Encyclia spp.	2
		Epidendrum spp.	4
		Laelia albida Bateman ex Lindl.	5
		Laelia furfuracea Lindl.	11
		Oncidium spp.	1
		Prosthechea karwinskii (Mart.) J.M.H.Shaw	4
		Prosthechea michuacana (La Llave & Lex.) W.E.Higgins	2
		Pleurothallis sp.	1
		Rhynchostele cervantesii ssp. *membranacea* (Lindl.) Soto Arenas & Salazar	4
		Rhynchostele maculata (La Llave & Lex.) Soto Arenas & Salazar	3
Miahuatlán	7	*Artorima erubescens* (Lindl.) Dressler & GEPollard	4
		Epidendrum sp.	2
		Laelia albida Bateman ex Lindl.	1
		Prosthechea michuacana (La Llave & Lex.) W.E.Higgins	5

Respecto a los comerciantes, se identificó que el 81.03% son mujeres que se dedican a las labores del hogar, en diferentes localidades indígenas y el 18.97% son hombres que se dedican principalmente a la agricultura. En el mercado de Tlacolula una persona mencionó cultivar algunas especies de orquídeas, otra en Ocotlán y dos en Zaachila, lo anterior representa 6.9% de la población total, sin embargo, solo dos personas llevaban las plantas que mencionan cultivar, estas corresponden al género *Epidendrum*. La mayoría de especímenes que se venden son recolectados en el bosque, lo que corresponde a un 93.1% de todas las especies. Se encontró que 96.55% de los vendedores comercializan por temporadas y solo 3.45% ofrecen especies silvestres todo el año (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje de vendedores en relación con sexo, manejo y tiempo de venta con los diferentes mercados.
Table 2. Percentage of sellers in relation to sex, management and sales time with the different markets.

Variable	Mercados					Total
	Central de Abastos	Ocotlán de Morelos	Tlacolula de Matamoros	Villa de Zaachila	Miahuatlán de Porfirio Díaz	
Sexo	GL = 4, $\chi^2 = 2.29^{ns}$					
Hombres	5.0 (20.69)	1.0 (1.72)	1.0 (1.72)	3.0 (5.17)	1.0 (1.72)	11.0 (18.97)
Mujeres	12.0 (8.62)	10.0 (17.24)	5.0 (8.62)	12.0 (20.69)	8.0 (13.79)	47.0 (81.03)
Origen	GL = 4, $\chi^2 = 3.86^{ns}$					
Silvestre	17.0 (29.31)	10.0 (17.24)	5.0 (8.62)	13.0 (22.41)	9.0 (15.52)	54.0 (93.1)
Cultiva	0.0 (0.0)	1.0(1.72)	1.0(1.72)	2.0(3.45)	0.0 (0.0)	4.0 (6.9)
Tiempo	GL = 4, $\chi^2 = 1.69^{ns}$					
Temporada	16.0 (27.59)	11.0 (18.97)	6.0 (10.34)	14.0 (24.14)	9.0 (15.52)	56.0 (96.55)
Todo el año	1.0 (1.72)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	1.0 (1.72)	0.0 (0.0)	2.0 (3.45)

Prueba de bondad de ajuste (χ^2, $\alpha = 0.05$). Los valores indican la frecuencia absoluta y relativa de vendedores de acuerdo con cada mercado.
Goodness-of-fit test ((χ^2, $\alpha = 0.05$). The values indicate the absolute and (relative) frequency of sellers according to each market.

En los mercados tradicionales de los Valles Centrales de Oaxaca llegan personas de 16 diferentes localidades, originarias de cuatro regiones del Estado, al mercado de Miahuatlán llegan cuatro localidades, pertenecientes a la Sierra Sur misma en la que se encuentra el mercado. Por otra parte, la localidad de Santiago Clavellinas está presente en tres mercados de los valles Centrales sin embargo las localidades con mayor frecuencia de mención fueron, San Miguel Peras y San Pablo Cuatro Venados, esto se relaciona con la cercanía a los mercados. Sin embargo, hay casos donde las personas tienen que recorrer grandes distancias para llegar a los mercados, por ejemplo, en el mercado de la Central de Abastos tres procedencias se encuentran alejadas Asunción Nochixtlán a 88.5 km, Sierra Juárez a 64.9 km y Ayutla a 127 km; en Tlacolula de Matamoros Ayutla y la Sierra Mixe se encuentran a 59 km y 94.4 km respectivamente; en el mercado de Villa de Zaachila cinco de seis procedencias fueron de localidades cercanas, sin embargo, la localidad de San Juan Xochiltepec está a 89 km de este mercado. De igual forma, para el mercado de Ocotlán de Morelos se registraron dos de cinco procedencias muy alejadas a este mercado las cuales fueron San José del Pacifico y San Andrés Paxtlán que están a 100.7 km y 90.4 km respectivamente.

Como se puede observar la distancia de algunas localidades a los mercados supera los 100 km, estos datos son particularmente reveladores, ya que refleja la necesidad de las familias para obtener ingresos para su subsistencia. Además, según la CONAPO, (2020) las localidades registradas encuentran con grado de marginación medio, alto y muy alto, debido a esto, los pobladores tienen la necesidad de aprovechar sus recursos forestales no maderables del bosque, como las orquídeas ya que la venta de estas se ha convertido en un medio de vida. Estas localidades se encuentran en un rango de altitud entre 1,500 y 3,250 m. (Cuadro 3).

Cuadro 3. Características de la procedencia de los especímenes de acuerdo con cada mercado navideño.
Table 3. Characteristics of the origin of specimens according to each Christmas market.

Mercado	Procedencia	Región	Altitud (m)	Grado de marginación
Central de Abastos	Nochixtlán	Mixteca	2080	Medio
	Sierra Juárez	Sierra Norte	3250	Alto
	Ixtlán de Juárez	Sierra Norte	2030	Medio
	San Miguel Peras	Valles Centrales	2080	Muy alto
	Santiago Clavellinas	Valles Centrales	2278	Medio
	San Pablo 4 venados	Valles Centrales	2359	Muy alto
Ocotlán de Morelos	El Punto, Ixtepeji	Sierra Norte	1885	Medio
	Sierra Juárez	Sierra Norte	3250	Alto
	San Pedro y San Pablo Ayutla	Sierra Norte	2180	Muy alto
	Santiago Clavellinas	Valles Centrales	2278	Medio
	San José del Pacífico	Sierra Sur	2350	Alto
	La Cumbre, Santiago Clavellinas	Valles Centrales	2771	Medio
	San Miguel Tilquiápam	Valles Centrales	2620	Muy alto
	San Andrés Paxtlán	Sierra Sur	2271	Alto
Tlacolula de Matamoros	Santo Domingo Tonaltepec	Mixteca	1578	Medio
	Santa María Tlahuitoltepec	Sierra Norte	2239	Alto
	San Pedro y San Pablo Ayutla	Sierra Norte	2180	Muy alto
Villa de Zaachila	San Miguel Peras	Valles Centrales	2080	Muy alto
	San Pablo 4 venados	Valles Centrales	2359	Muy alto
	Temascal, San Miguel Peras	Valles Centrales	2286	Muy alto
	Santiago Clavellinas	Valles Centrales	2278	Medio
	San Juan Xochiltepec	Valles Centrales	2340	Muy alto
Miahuatlán de Porfirio Díaz	Santa Lucía Miahuatlán	Sierra Sur	2049	Muy alto
	San Sebastián Río Hondo	Sierra Sur	2671	Alto
	San Andrés Paxtlán	Sierra Sur	2271	Alto
	Santa María Ozolotepec	Sierra Sur	1786	Alto

En los mercados visitados en el 2023, el número de vendedores y la cantidad estimada de los especímenes que se comercializan es diferente entre ellos, el mercado de la Central de Abastos fue el que presentó un mayor número vendedores y por lo tanto también un mayor número de especímenes; esto se debe a que es el lugar de venta más grande y diverso de la región, además de ser el lugar de distribución de todo tipo de productos para el interior del estado. Llama la atención que en el mercado de Tlacolula sólo fueron ubicados seis vendedores, pero con una cantidad alta de especímenes para comercializar, por el contrario, al mercado de Ocotlán acudieron 13 vendedores, pero con una cantidad menor que en todos los demás mercados. Lo anterior, hace evidente que el número de vendedores, puede dar una idea equivocada de la cantidad de especímenes que se comercializan en el sitio. Para la navidad del 2024 el número de vendedores permaneció sin cambio, pero el número de especímenes disminuyó ligeramente en especial en Ocotlán de Morelos y en Tlacolula de Matamoros. Cabe mencionar que, aunque el mercado de Miahuatlán de Porfirio Díaz sólo se tienen datos del 2024, el número de especímenes localizados es importante (Figura 2).

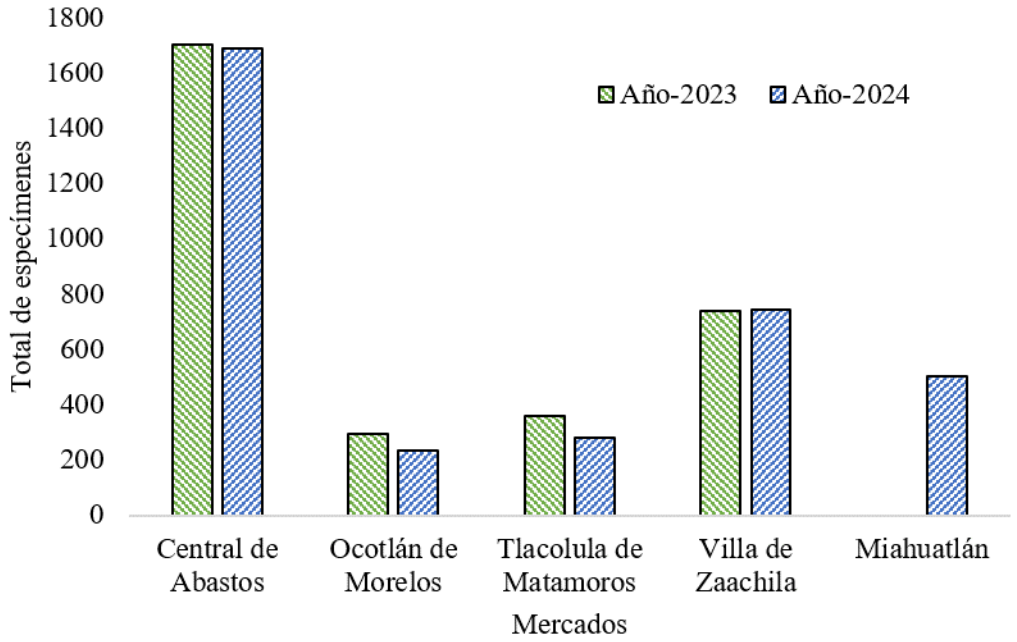


Figura 2. Cantidad estimada de especímenes que se comercializan en mercados tradicionales durante la época navideña en el año 2023 y 2024.
Figure 2. Estimated number of specimens traded in traditional markets during the Christmas season in 2023 and 2024.

DISCUSIÓN

El rango altitudinal de las procedencias de las orquídeas silvestres comercializadas en los mercados estudiados, coincide con los reportes para la familia Orchidaceae que señalan una mayor distribución en climas templados como selvas o bosques tropicales (Laguna-Cerda *et al*., 2022) en altitudes de 1,500 a 3,300 m en donde las especies son más diversas (Gutiérrez-Rodríguez *et al*., 2022).

El número de especies reportadas en este estudio es mayor a lo que reportan Emeterio-Lara *et al*. (2016) donde se realizaron visitas semanales durante un año a cinco mercados tradicionales ubicados en municipios del estado de México, donde se entrevistaron a 19 vendedores y se identificaron seis especies de las cuales la más comercializada fue *L. autumnalis*. Cabe destacar que la mayoría de investigaciones de este tipo encontraron un número de especies mayor o igual a las encontradas en este estudio por ejemplo Cruz-García *et al*. (2015), identificaron 37 especies de orquídeas en un mercado tradicional de Tlaxiaco Oaxaca, donde se realizaron visitas semanales durante todo un año, en el que se registraron 56 vendedores que provienen de 20 localidades cercanas al mercado, es importante mencionar que la mayoría de especies encontradas son endémicas de México lo que genera mucha preocupación.

Por otra parte Molina-Luna *et al*. (2015) reportaron 18 especies de orquídeas en cinco mercados tradicionales del estado de Oaxaca monitoreado durante tres años, la cantidad de especies reportadas fue igual a las encontradas en este estudio, esto refleja que la temperada donde se reporta mayor presencia de orquídeas es diciembre, como lo menciona (Jiménez-López *et al*. (2019b) donde identificó 60 especies de orquídeas en tres mercados tradicionales de Chiapas pertenecientes a dos municipios, que se visitaron el año 2014, una vez por semana, donde la época con más presencia de especies fue de diciembre a enero la cual representó un 51.66% del total de especies reportadas, el mismo autor en otro estudio en los mismos mercados reporta 28 especies solo en el mes de diciembre del año 2016, donde se entrevistaron a 16 vendedores, y se estimó un volumen de 738 especímenes completos (Jiménez-López *et al*., 2019a). De igual forma

en el mercado tradicional de Tenango de las Flores en Puebla se encontraron 137 especies de orquídeas procedentes de 19 diferentes estados de México monitoreado durante un año, según Velázquez-Juárez *et al*. (2024), dónde Oaxaca fue el estado con mayor número de especies comercializadas, esto indica que es el estado con mayor extracción de especímenes de sus poblaciones naturales para la venta (Emeterio-Lara *et al*., 2016).

Con lo anterior es notable que el número de especies encontradas y el número total de especímenes, no depende del tiempo que se monitorean los mercados, esto se relaciona más con el número de personas vendedoras, la ubicación y tamaño del mercado, así como la temporada de monitoreo de los mercados debido a que algunas épocas del año hay más especies en floración, también la distribución natural juega un papel importante ya que algunas son endémicas o tienen una distribución específica, por lo que sólo están presentes en mercados muy cercanos a la distribución natural de las plantas (Pérez-Escobar *et al*., 2024).

Las especies más comunes fueron *Artorima erubescens* y *Laelia furfuracea*, las cuales estuvieron presentes en cuatro mercados diferentes. Además, más de la mitad de las personas comercializan estas especies. Estos resultados son similares a lo que reporta Cruz-García *et al*. (2015), donde en un mercado de Tlaxiaco, Oaxaca, estas especies tuvieron la mayor frecuencia de venta siendo *Laelia furfuracea* la que representó la mitad de todas las orquídeas que se venden en la época de otoño, esto se debe a que son especies que tienen su periodo de floración de octubre a diciembre y presentan flores muy vistosas y llamativas por su color y tamaño (Leopardi, 2011; Vera-Aguilar *et al*., 2021), por lo tanto, las personas las adquieren para ofrecerlas como ofrendas en altares o tumbas o también para adornar sus nacimientos (Solano-Gómez *et al*., 2010), lo cual es parte del uso cultural-religioso en México (Ticktin *et al*., 2020). La venta de orquídeas silvestres en los mercados tradicionales de Oaxaca es dominada por mujeres (81.03%), como menciona Molina-Luna & Arellanes-Cancino, (2016) en los Valles Centrales de Oaxaca 86% de los vendedores propios de la región que acuden a las plazas son mujeres, también Jiménez-López *et al*. (2019a) reportan que en un mercado tradicional de Chiapas 73.4% son mujeres que se dedican a la venta de orquídeas, de igual forma en un mercado tradicional de Tlaxiaco Oaxaca 78.5% son mujeres (Cruz-García *et al*., 2015), esto refleja la importancia que tiene la mujer en la venta de orquídeas silvestres.

De acuerdo con Jiménez-López *et al*. (2019a), los meses que presentan una mayor venta de especies de orquídeas es mayo y diciembre, esto se relaciona con el periodo la floración de las orquídeas, lo cual es notable en los mercados visitados en este estudio ya que se encontró que 96.55% de los vendedores solo ofrecen orquídeas silvestres por temporadas. Por otra parte solo 6.9% de los vendedores mencionaron cultivar algunas especies para venta, lo cual es preocupante ya que la mayoría de vendedores comercializan la planta completa o la parte floral donde tiene las estructuras reproductivas, esto refleja la afectación a la estabilidad y abundancia de las poblaciones naturales (Bullough *et al*., 2021).

La Central de Abastos por estar en la capital del Estado es donde llegan más personas a vender sus productos (Molina-Luna & Campos-Ángeles, 2016), lo cual coincide con este estudio ya que es donde se encontró mayor número de vendedores. En este estudio se encontraron procedencias muy lejanas a más de 100 km, lo contrario ocurrió en un mercado tradicional de Chiapas donde Jiménez-López *et al*. (2019b), reportan que la procedencia más lejana al mercado está a 60 km; lo anterior indica que la venta de las orquídeas silvestres puede ser resultado de la necesidad que tienen las personas de pequeñas localidades, ya que para ellos esta actividad es un medio de vida para subsistir, como menciona (Solis-López *et al*., 2023).

Los mercados son espacios cruciales para el beneficio de la economía local ya que es donde llegan personas de diferentes localidades la mayoría rurales e indígenas a vender sus productos, esta actividad ayuda a su supervivencia, además, todos los municipios a los que pertenecen las localidades se encuentran en un grado de marginación de medio a muy alto (CONAPO, 2020). Molina-Luna *et al*. (2015), en una investigación realizada en cinco mercados tradicionales de los Valles Centrales de Oaxaca mencionan que más de la mitad de las personas que comercializan orquídeas y bromelias pertenecen a comunidades que tienen grado de marginación alto, lo cual es similar a lo que se encontró ya que 74% de las localidades tienen un grado de marginación alto y muy alto, mientras que 26% tiene un grado medio.

En los mercados tradicionales se venden grandes cantidades de plantas silvestres entre ellas las orquídeas, las cuales se pueden encontrar en diferentes temporadas (Gale *et al*., 2019). En diciembre de 2023 en cuatro mercados tradicionales de los Valles Centrales de Oaxaca el número estimado de orquídeas silvestres a la venta fue diferente, la mayor cantidad se presentó en la Central de Abastos con 1,705 especímenes y la menor fue para Ocotlán con 296 especímenes; para Zaachila y Tlacolula fue de 740 y 360 respectivamente; se estimó un total 3,101 especímenes para esta región, comparada con otras investigaciones este número es bajo, por ejemplo (Cruz-García *et al*., 2015), mencionan que en un mercado tradicional de Tlaxiaco Oaxaca se encontraron 18,740 unidades de orquídeas. Sin embargo, para este caso se monitoreó el mercado durante todo un año. Para la presente investigación la estimación sólo representa a un día de plaza, no obstante, la venta de orquídeas en época navideña es de mínimo cuatro semanas previas, si se hace el registro en todo este periodo, esta cifra se elevaría a más de 12,000 especímenes solo para esta época. Por el contrario Emeterio-Lara *et al*. (2016), señalan que la suma de especímenes en cinco mercados del sur del Estado de México fue de 359, lo cual es menor a lo que se encontró en Valles Centrales de Oaxaca, esto se relaciona con la diversidad y distribución de las especies (Castillo-Pérez *et al*., 2019), así como con grado de marginación de los municipios en los diferentes estados. Por otro lado, en los datos encontrados en el 2024, se reflejó una pequeña disminución en la estimación de especímenes que llegan a tres mercados tradicionales visitados, a pesar de que el número de vendedores fue similar, esto refleja que la disponibilidad de las orquídeas en su medio natural ha disminuido, sumando a esto, algunos vendedores mencionan que en algunos casos tienen que caminar más que antes para encontrar las especies y traerlas al mercado.

CONCLUSIONES

Este estudio documenta la comercialización de 18 especies de orquídeas silvestres en mercados tradicionales de los Valles Centrales y la Sierra Sur del estado de Oaxaca, aunque solo se identificaron 13 de las cuales, algunas de ellas son endémicas y se encuentran en alguna categoría de riesgo, lo que subraya su relevancia ecológica y cultural. En los cinco mercados tradicionales estudiados llegan una cantidad estimada de 3,454 especímenes de diferentes especies, que son comercializadas en su mayoría por mujeres indígenas de comunidades rurales con altos grados de marginación, quienes dependen de esta práctica como un medio de vida.

Los resultados muestran que la venta se concentra en la temporada navideña y se basa principalmente en la extracción directa del bosque, lo que implica riesgos para la sostenibilidad de las poblaciones naturales. La presencia de vendedores que comienzan a cultivar ciertas especies, aunque es minoritaria, abre oportunidades para fomentar alternativas productivas que reduzcan la presión sobre los ecosistemas.

LITERATURA CITADA

Barragán-Zarate, G. S., Lagunez-Rivera, L., Solano, R., Carranza-Álvarez, C., Hernández-Benavides, D. M., & Vilarem, G. (2022). Validation of the traditional medicinal use of a Mexican endemic orchid (*Prosthechea karwinskii*) through UPLC-ESI-qTOF-MS/MS characterization of its bioactive compounds. *Heliyon*, *8*(7), e09867. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09867

Bashyal, R., Paudel, K., Hinsley, A., & Phelps, J. (2023). Making sense of domestic wildlife and CITES legislation: The example of Nepal's orchids. *Biological Conservation*, *280*, 109951. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.109951

Bazzicalupo, M., Calevo, J., Smeriglio, A., & Cornara, L. (2023). Traditional, therapeutic uses and phytochemistry of terrestrial European orchids and implications for conservation. *Plants*, *12*(2), 1–46. https://doi.org/10.3390/plants12020257

Bullough, L. A., Nguyễn, N., Drury, R., & Hinsley, A. (2021). Orchid obscurity: understanding domestic trade in wild-harvested orchids in Vietnam. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *9*. https://doi.org/10.3389/fevo.2021.631795

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. *Biologia*, *74*(1), 1–13. https://doi.org/10.2478/s11756-018-0147-x

Castillo-Pérez, L. J., Ponce-Hernández, A., Alonso-Castro, A. J., Solano, R., Fortanelli-Martínez, J., Lagunez-Rivera, L., & Carranza-Álvarez, C. (2024). Medicinal Orchids of Mexico: A Review. *Pharmaceuticals*, *17*(907), 1–28. https://doi.org/10.3390/ph17070907

CONAPO. (2020). *Índice y grado de marginación*. Consejo Nacional de Población. INEGI. https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372

Cruz-García, G., Lagunez-Rivera, L., Chavez-Angeles, M. G., & Solano-Gomez, R. (2015). The wild orchid trade in a Mexican local market: diversity and economics. *Economic Botany*, *69*(4), 291–305. https://doi.org/10.1007/s12231-015-9321-z

Emeterio-Lara, A., Palma-Linares, V., Vázquez-García, L. M., & Mejía-Carranza, J. (2016). Usos y comercialización de orquídeas silvestres en la región sur del Estado de México. *Polibotánica*, *0*(42), 197–214. https://doi.org/10.18387/polibotanica.42.10

Espejo-Serna, A. (2012). El endemismo en las Liliopsida mexicanas. *Acta Botanica Mexicana*, *100*, 195–257.

Estrada, L. (1985). *Jardín botánico de plantas medicinales*. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia.

Fortanelli-Martínez, J., Salazar, G. A., Castillo-Lara, P., García-Pérez, J., Alfaro-Medina, C. S., Castillo-Gómez, H. A., Ramírez-Palomeque, T. L., Morales-de la Torre, J. I., & De Nova-Vázquez, J. A. (2021). Orchidaceae de San Luis Potosí, México: riqueza y distribución. *Botanical Sciences*, *100*(1), 223–246. https://doi.org/10.17129/botsci.2875

Gale, S. W., Kumar, P., Hinsley, A., Cheuk, M. L., Gao, J., Liu, H., Liu, Z.-L., & Williams, S. J. (2019). Quantifying the trade in wild-collected ornamental orchids in South China: Diversity, volume and value gradients underscore the primacy of supply. *Biological Conservation*, *238*, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108204

Gantait, S., Das, A., Mitra, M., & Chen, J.-T. (2021). Secondary metabolites in orchids: Biosynthesis, medicinal uses, and biotechnology. *South African Journal of Botany*, *139*, 338–351. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.03.015

Gutiérrez-Rodríguez, B. E., Vásquez-Cruz, M., & Sosa, V. (2022). Phylogenetic endemism of the orchids of Megamexico reveals complementary areas for conservation. *Plant Diversity*, *44*(4), 351–359. https://doi.org/10.1016/j.pld.2022.03.004

Hágsater, E., & Salazar, G. A. (1990). Icones Orchidacearum. Fascicle 1, Orchids of Mexico, Part 1. Asociación Mexicana de Orquideología.

Hágsater, E., & Soto, A. (2003). Icones Orchidacearum. Fascicle 5 y 6, Orchids of Mexico, Part 2 y 3. Asociación Mexicana de Orquideología.

Hágsater, E., & Soto, A. (2008). Icones Orchidacearum. Fascicle 10, Orchids of Mexico, Part 4. Asociación Mexicana de Orquideología.

Hinsley, A., de Boer, H. J., Fay, M. F., Gale, S. W., Gardiner, L. M., Gunasekara, R. S., Kumar, P., Masters, S., Metusala, D., Roberts, D. L., Veldman, S., Wong, S., & Phelps, J. (2018). A review of the trade in orchids and its implications for conservation. *Botanical Journal of the Linnean Society*, *186*(4), 435–455. https://doi.org/10.1093/botlinnean/box083

Jiménez-López, D. A., Pérez-García, E. A., Martínez-Meléndez, N., & Solano, R. (2019). Orquídeas silvestres comercializadas en un mercado tradicional de Chiapas, México. *Botanical Sciences*, *97*(4), 691–700. https://doi.org/10.17129/botsci.2209

Jiménez-López, D. A., Solano-Gómez, R., Peralta-Carreta, C., Solórzano, J. V., & Chávez-Angeles, M. G. (2019). Species Richness May Determine the Income from Illicit Wild

Orchid Trading in Traditional Markets in Mexico. *Economic Botany*, *73*(2), 171–186. https://doi.org/10.1007/s12231-019-09460-5

Laguna-Cerda, A., Aguilar-Morales, M. A., & López-Sandoval, J. A. (2022). Orchid species richness of Mexico: opportunities for use and conservation. *Acta Horticulturae*, *1340*, 241–252. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1340.38

Leopardi, C. (2011). *Artorima erubescens*: una curiosidad de la orquídeo flora mexicana. *CICY*, *3*, 87–88.

Liu, H., Liu, Z., Jin, X., Gao, J., Chen, Y., Liu, Q., & Zhang, D.-Y. (2020). Assessing conservation efforts against threats to wild orchids in China. *Biological Conservation*, *243*, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108484

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*, *0*(53), 239–259. https://doi.org/10.18387/polibotanica.53.16

Martínez-Morales, A., Pérez-Olvera, Ma. A., Ortíz-Medel, M., Hernández-Pérez, M. L., & Rojas-Moguel, Á. (2020). Usos, festividades religiosas y conocimiento local de las orquídeas *Laelia autumnalis* y *Oncidium sphacelatum*. *Ra Ximhai*, *16*(4), 251–272. https://doi.org/10.35197/rx.16.04.2020.12.am

Molina-Luna, N. G., & Arellanes-Cancino, Y. (2016). Intercambio de productos en mercados semanales de los Valles Centrales de Oaxaca, México. *Revista Etnobiologia*, *14*, 92–99.

Molina-Luna, N. G., Arellanes-Cancino, Y., & Martínez-Ojeda, E. (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*.

Molina-Luna, N. G., & Campos-Angeles, G. V. (2016). Historia y situación actual de los mercados semanales en los Valles Centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, *3*(2), 272–290.

Nash, N.& Croix, I. (2005). Orquídeas. Ediciones Omega, Barcelona.

Oldfield, S., & Jenkins, M. (2012). *Wild flora for improved rural livelihoods: Case studies from Brazil, China, India and Mexico*. Botanic Gardens Conservation International.

Pérez-Escobar, O. A., Bogarín, D., Przelomska, N. A. S., Ackerman, J. D., Balbuena, J. A., Bellot, S., Bühlmann, R. P., Cabrera, B., Cano, J. A., Charitonidou, M., Chomicki, G., Clements, M. A., Cribb, P., Fernández, M., Flanagan, N. S., Gravendeel, B., Hágsater, E., Halley, J. M., Hu, A., Jaramillo, C., Mauad, A. V., Maurin, O., Müntz, R., Leitch, I. J., Li, L., Negrão, R., Oses, L., Phillips, C., Rincon, M., Salazar, G. A., Simpson, L., Smidt, E., Solano-Gomez, R., Parra-Sánchez, E., Tremblay, R. L., Van den Berg, C., Villanueva-Tamayo, B. S., Zuluaga, A., Zuntini, A. R., Chase, M. W., Fay, M. F., Condamine, F. L., Forest, F., Nargar, K., Renner, S. S., Baker, W. J. &Antonelli, A. (2024). The origin and speciation of orchids. *New Phytologist*, *242*(2), 700–716. https://doi.org/10.1111/nph.19580

Rodríguez-Deméneghi, M. V., Aguilar-Rivera, N., Gheno-Heredia, Y. A., & Armas-Silva, A. A. (2023). Vanilla cultivation in Mexico: Typology, characteristics, production, agroindustrial prospective and biotechnological innovations as a sustainability strategy. *Scientia Agropecuaria*, *14*(1), 93–109. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.009

SAS Institute Inc. (2017). SAS® 9.4 Global statements: Reference [Computer software]. Cary, NC: SAS

SEMARNAT. 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio Lista de especies en riesgo. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación.

Solano-Gómez, R., Chávez-Salazar, G. A., Machorro-Jiménez, R., Hágsater-Gartenberg, E., & Cruz-García, G. (2020). *Actualización del Catálogo de Autoridades Taxonómicas para Orchidaceae de México*.

Recibido:
27/junio/2025

Aceptado:
19/diciembre/2025

Solano-Gómez, R., Cruz-Lustre, G., & Martínez-Feria, A. (2010). Plantas utilizadas en la celebración de la Semana Santa en Zaachila, Oaxaca, México. *Polibotánica*, *29*, 263–279.

Solis-López, M. K., Flores-López, M. de L., & Valdés-Padilla, G. (2023). Los mercados tradicionales en México. *Cuyonomics. Investigaciones En Economía Regional*, *7*(12). https://doi.org/10.48162/rev.42.057

Song, Y., Liu, Z., Willian, S., & Gao, J. (2017). Characteristics of the orchid trade at public markets and implications for conservation in Xishuangbanna, Yunnan, China. *Biodiversity Science*, *25*(5), 531–539. https://doi.org/10.17520/biods.2017022

Ticktin, T., Mondragón, D., López-Toledo, L., Dutra-Elliott, D., Aguirre-León, E., & Hernández-Apolinar, M. (2020). Synthesis of wild orchid trade and demography provides new insight on conservation strategies. *Conservation Letters*, *13*(2). https://doi.org/10.1111/conl.12697

Tiwari, P., Sharma, A., Bose, S. K., & Park, K.-I. (2024). Advances in orchid biology: biotechnological achievements, translational success, and commercial outcomes. *Horticulturae*, *10*(2). https://doi.org/10.3390/horticulturae10020152

Velázquez-Juárez, Z. B., Alanís-Méndez, J. L., Lozano-Rodríguez, M. A., & Raya-Cruz, B. E. (2024). Diversidad y conservación de orquídeas comercializadas en Tenango, Puebla, México. *UVserva*, *16*, 120–137. https://doi.org/10.25009/uvs.vi16.2972

Vera-Aguilar, A., Murguía-González, J., & Llarena-Hernández, R. C. (2021). Las orquídeas mexicanas: Laelias. *Ciencia*, *72*(1), 88–94.

Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *87*(3), 559–902. https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

PROCESO ARTESANAL DE ELABORACIÓN DE JABÓN DE COROZO (*Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer) EN LA REGIÓN DE LA CHONTALPA, TABASCO, MÉXICO

ARTISANAL PROCESS OF MAKING COROZO SOAP (*Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer) IN THE CHONTALPA REGION, TABASCO, MEXICO

Chávez-García, E.

PROCESO ARTESANAL DE ELABORACIÓN DE JABÓN DE COROZO (*Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer) EN LA REGIÓN DE LA CHONTALPA, TABASCO, MÉXICO
ARTISANAL PROCESS OF MAKING COROZO SOAP (*Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer) IN THE CHONTALPA REGION, TABASCO, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 457-478 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.26

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

POLIBOTÁNICA

Núm. 61: 457-478 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Proceso artesanal de elaboración de jabón de corozo (*Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer) en la región de la Chontalpa, Tabasco, México

Artisanal process of making corozo soap (*Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer) in the Chontalpa region, Tabasco, Mexico

Elsa Chávez-García / elsa@colpos.mx
https://orcid.org/0000-0001-9125-1021
Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados
C.P. 86500. Cárdenas, Tabasco, México

Elsa Chávez-García

PROCESO ARTESANAL DE ELABORACIÓN DE JABÓN DE COROZO (*Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer) EN LA REGIÓN DE LA CHONTALPA, TABASCO, MÉXICO

ARTISANAL PROCESS OF MAKING COROZO SOAP (*Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) IN THE CHONTALPA REGION, TABASCO, MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 457-478. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.26

RESUMEN: La familia Arecaceae o palmas cuenta con alrededor de 200 géneros y 3000 especies distribuidas principalmente en las regiones tropicales. En México se encuentran 22 géneros que representan el 11% del total mundial. En Tabasco, se han reportado 17 géneros y 30 especies, de las cuales 11 se encuentran amenazadas o en peligro de extinción. La identificación taxonómica de palmas presenta dificultad debido a los pocos o incompletos ejemplares de herbario y a la hibridación presente en algunas especies. En Tabasco es cada vez menos frecuente la elaboración artesanal de jabón utilizando el fruto de una palma llamada corozo; con la modificación del entorno natural, las poblaciones de esta planta disminuyeron sin registro de los saberes involucrados en dicho proceso. Por ello, los objetivos del presente trabajo fueron identificar taxonómicamente la palma utilizada para la elaboración artesanal de jabón de corozo en la región de la Chontalpa, Tabasco, México, ampliar el registro de usos de la especie y replicar el proceso artesanal de elaboración de jabón de corozo para su registro cuali y cuantitativo, mediante colecta botánica, entrevistas, recorridos de campo, revisión de herbarios y observación participante. Se determinó que la especie de interés es *Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer, la cual está asociada en la región a pastizal de uso ganadero, acahual y cultivo de cacao. Se registraron 16 usos diferentes para 10 partes de esta palma, de los cuales siete representan nuevos registros. Solo en Tabasco, México se utiliza para la elaboración artesanal de jabón, para lo cual se requieren diversos saberes campesinos, tecnología local, tiempo y esfuerzo. Se registró una merma de materia prima de cerca del 94% en el proceso.

Palabras clave: *Attalea butyracea*, jabón de corozo, saberes campesinos.

ABSTRACT**:** The Arecaceae family, or palm, comprises approximately 200 genera and 3,000 species distributed primarily in tropical regions. Twenty-two genera are found in Mexico, representing 11% of the world total. In Tabasco, 17 genera and 30 species have been reported, 11 of which are threatened or in danger of extinction. Taxonomic identification of palms is difficult due to the few or incomplete herbarium specimens and the hybridization present in some species. In Tabasco, Mexico, the artisanal production of soap using the fruit of a palm tree called corozo is becoming less common. With the modification of the natural environment, populations of this plant declined, with no record of the knowledge involved in this process. Therefore, the objectives of this study were to taxonomically identify the palm used for artisanal corozo soapmaking in the Chontalpa region of Tabasco, Mexico; expand the registry of use of the species and replicate the artisanal process of making corozo soap for its qualitative and quantitative registration through botanical collection, interviews, field trips, herbarium reviews, and participant observation. The species of interest was determined to be *Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer, which is associated in the region with pastureland used for livestock, secondary vegetation, and cacao cultivation. Sixteen different uses were recorded for 10 parts of this palm, of which seven represent new records.

In Tabasco, Mexico alone, it is used for artisanal soapmaking, which requires diverse peasant knowledge, local technology, time, and effort. A waste of approximately 94% was recorded during the process.
Key words: *Attalea butyracea*, corozo soap, peasant knowledge.

INTRODUCCIÓN

La familia botánica Arecaceae, cuenta con alrededor de 200 géneros y 3000 especies de palmas distribuidas en todo el Mundo, principalmente en las regiones tropicales. En México se encuentran 22 géneros que representan el 11% del total mundial (Quero, 1994). En Tabasco, se han reportado 17 géneros y 30 especies (Pérez *et al*., 2005), de las cuales diez tienen estatus de amenazadas o protegidas y una en peligro de extinción. El género *Attalea*, además de la dificultad para realizar la colecta botánica debido a la altura que alcanzan muchas especies, el gran tamaño de hojas e inflorescencias, a su fenología estacional y su naturaleza dioica, se agrega la dificultad de su correcta clasificación taxonómica a causa de la hibridación entre especies de los géneros *Attalea*, *Orbygnia*, *Scheelea* y *Maximiliana*, lo cual genera una estrecha afinidad en las características botánicas (Pintaud, 2008). La especie *Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer registra una amplia sinonimia; en Tabasco es denominada como palma de corozo. Esta especie tiene una amplia distribución desde el noreste de México en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Chiapas y Campeche, hasta América Central y noreste de Sudamérica en Colombia, Venezuela y oeste del Amazonas (Hernández-X, 1949; Quero, 1994a; Smith, 2015). Existe evidencia arqueobotánica de esta especie en asentamientos prehispánicos de la Venta, Tabasco, Tres Zapotes (Peres, *et al*., 2010) y San Carlos (Kruger, *et al*., 2019), Veracruz, durante el periodo formativo olmeca de 1400 a.C. a 300 d.C. El uso ancestral de esta palma por los primeros pobladores de la actual región de la Chontalpa, Tabasco, formó parte del aprovechamiento de los recursos del entorno para la supervivencia (Riverón, 2001). Colombia es uno de los países de Centroamérica con más registros de uso de *Attalea butyracea* (Bernal *et al*., 2010). En Tabasco, existen también diferentes registros de uso para el autoconsumo, así como del aprovechamiento industrial del aceite de frutos y semillas durante la primera mitad del siglo XX (Hernández-X, 1947; Vazquez-Dávila, 2001), pero escasa información sobre el proceso de elaboración artesanal de jabón de corozo (Maldonado *et al*., 2004; Ramírez, 2007; Chávez, 2010). Las poblaciones de *Attalea butyracea* llamadas corozales, que hasta la primera mitad del siglo XX fueron abundantes, han menguando notablemente debido al auge modernizador que en los años setenta eliminó considerablemente la vegetación natural (Vazquez-Dávila, 2001). Actualmente los saberes y la tecnología campesina generada para dicho proceso artesanal se encuentran en desuso y en riesgo de perder su transmisión a las nuevas generaciones. Por lo anterior, los objetivos del presente trabajo fueron, identificar taxonómicamente la palma utilizada por los pobladores de la región de la Chontalpa, Tabasco, México para la elaboración artesanal de jabón de corozo, compilar sus usos y replicar el proceso artesanal de elaboración de jabón de corozo para su registro cuali y cuantitativo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La región de la Chontalpa, Tabasco está conformado por los municipios de Cárdenas, Huimanguillo, Comalcalco, Paraíso y Cunduacán. En 1970, se conformaron 22 ejidos en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo como resultado de la implementación del proyecto modernizador Plan Chontalpa con el cual se deforestó la vegetación natural de selva alta perennifolia para promover la agricultura de monocultivo y la ganadería extensiva (Barkin, 2018) El presente trabajo se realizó en el Poblado C-28 (Ejido Coronel Gregorio Méndez Magaña), del municipio de Cárdenas, Tabasco, el cual formó parte de dicho Plan; ubicado en las coordenadas 18°1′20.83″ N, 93°29′50.06″ W y 10 m.s.n.m., a 13.2 kilómetros de la ciudad de Cárdenas

(Figura 1), tiene una población mestiza de 6, 373 habitantes (INEGI 2020), con ganadería y cultivo de caña de azúcar como principales actividades económicas (OIEDRUS, 2009).

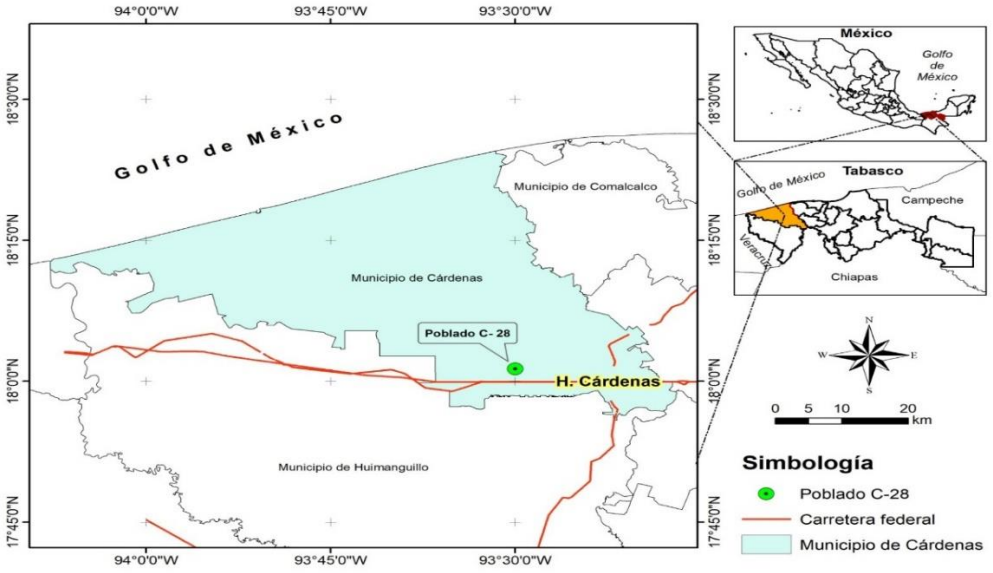


Figura 1. Localización del Poblado C-28, Cárdenas, Tabasco, México.
Figure 1. Location of settlement C-28, Cardenas, Tabasco, Mexico.

La identificación de la palma utilizada para la elaboración artesanal de jabón se realizó mediante colecta de un ejemplar, en un cultivo diversificado de cacao, en julio de 2017 para hojas y fruto (18º 03' 3" N; 93º 29' 4" W), y en mayo de 2018 para inflorescencia (18º 00' 14" N; 93º 29' 36" W). La colecta fue depositada e identificada en el herbario UJAT (registro número 036506). Para compilar los usos registrados de la especie y su distribución en México y Tabasco, se realizó revisión bibliográfica y de herbarios. Se consultaron, de forma presencial, los herbarios del CSAT (Colegio de Postgraduados-Tabasco) y UJAT (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco); en forma virtual, MEXU (Catálogo digital del Herbario Nacional del Instituto de Biología UNAM) y se recibió información vía correo electrónico de XAL (Instituto de Ecología A. C.), CICY (Centro de Investigación Científica de Yucatán), CH (ECOSUR), CHAPA (Colegio de Postgraduados Campus-Montecillo), XALU de la Universidad Veracruzana y del Jardín Botánico Regional del Soconusco (ECOSUR-Tapachula) (Tabla 1).

Tabla 1. Herbarios consultados y registro de *Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer o sinónimos
Table 1. Herbaria consulted and specimens of *Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer or synonyms

HERBARIO	Núm. Ejemplar	Estado
UJAT	15327	TABASCO
	11189	TABASCO
	10082	TABASCO
	033234	TABASCO
MEXU	655894	VERACRUZ
	103670	OAXACA
	1258327	VERACRUZ
	1282545, 1282547, 1282548	CHIAPAS
CYCI	s.d.	CAMPECHE
XAL	26194	VERACRUZ

Núm. 61: 457-478 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

JARDIN BOTANICO ECOSUR-TAPACHULA	*Attalea rostrata*	CHIAPAS
CHAPA	72309 (XAL) *Scheelea liebmannii*	VERACUZ

Para el registro de usos de la especie en el área de estudio se realizaron entrevistas estructuradas, mediante muestreo opinático (Ruiz, 2003), a 20 informantes voluntarios del Poblado C-28, Cárdenas, Tabasco, con edades de 40-85 años quienes participaban en la transición agroecológica del cultivo de cacao dentro del proyecto Núm. 381 del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados. Replicar el proceso de elaboración artesanal del jabón de corozo fue la propuesta de los campesinos entrevistados con el fin de transmitir los saberes de las personas de mayor edad a los de los de mediana edad (40-50 años); implicó elaborar y adaptar utensilios de trabajo, registrar la memoria evocada por los participantes de mayor edad y cuantificar insumos y producto obtenido. Se realizó mediante observación participante con 11 personas, 9 hombres y dos mujeres, se realizó registro fotográfico, grabación de conversaciones y se utilizaron básculas de capacidad de 10 y 100 kg, durante junio-julio del 2015 y julio-agosto de 2016, en vivienda de participantes. Se realizaron las transcripciones de las grabaciones para la sistematización de la información.

RESULTADOS

Identificación de la especie

La especie denominada corozo, cuyos frutos son utilizados para la elaboración artesanal de jabón en la Chontalpa, Tabasco, México, fue identificada como *Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer. Con base en los ejemplares de herbario consultados, *Attalea butyracea* se ha colectado en los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas, Oaxaca y Campeche, asociada a duna, pastizales, vegetación secundaria (matorral, acahual), selva mediana subperennifolia y selva alta perennifolia. En Tabasco se encontraron registros de herbario de sitios ubicados en los municipios de Comalcalco (herbario XALU), Macuspana (herbario UJAT), Balancán (herbario UJAT) y Centro (herbario UJAT). En los recorridos de campo se observaron individuos aislados asociados a pastizal con uso ganadero y plantaciones de cacao en los Poblados C-28, C-29 y C-27 del municipio de Cárdenas, Tabasco, a pastizal con uso ganadero y acahual en La Isla, Ejido Paredón, El Mulato, La Esperanza y Poblado C-33 del municipio de Huimanguillo, Tabasco, en la región de la Chontalpa, Tabasco.

Nombre común y usos

El nombre común registrado en la región fue corozo, palma de corozo y guano para designar a *Attalea butyracea*. Se registraron 17 usos: hojas para techar casa y elaboración de abanicos, bráctea de inflorescencia como recipiente, fruto como forraje, alimento y elaboración de jabón, semilla como alimento y para obtención de aceite, retoño apical en formación (palmiche o corazón de palma) como alimento, savia para elaboración de bebida fermentada, bráctea de la inflorescencia como cuna-mecedora; inflorescencia masculina como insecticida, la cual se dispersa sobre el piso para ahuyentar pulgas; efecto garrapaticida y herbicida del agua obtenida por remojo del fruto durante el proceso de elaboración de jabón de corozo, cascarilla (exocarpo) del fruto utilizada para encender el fuego y al ser quemada como repelente de mosquitos; y uso medicinal del jabón de corozo para problemas en la piel como granos, salpullido, caspa, hongos, además de su utilización para la limpieza; los últimos siete representan nuevos registros de uso. La bibliografía revisada reportó 45 diferentes usos en América Latina, de los cuales 18 se registraron para México. Con los siete nuevos registros aportados con el presente estudio se tiene un total de 52 usos diferentes para 18 partes y la planta completa (Tabla 2).

Núm. 61: 457-478 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Tabla 2. Usos de *Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer en América registrados en la literatura complementados con el trabajo de campo realizado.
Table 2. Uses of *Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer in America recorded in the literature complemented by fieldwork.

Parte de la planta	Usos	País	Fuente
Hoja	Techo de casas	Colombia, Ecuador, Perú, Panamá, **México** (Tabasco, Campeche y Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca, Quintana Roo).	Sosa, 1985; Vazquez-Dávila, 2001; Castillo-Campos, 2003; Maldonado *et al*., 2004; Pennington & Sarukhán, 2005; Maimone *et al*., 2006; Bernal *et al*., 2010; Chávez, 2010; Mariaca, 2012; Smith, 2015; Chávez & Zavala , 2021 Herbarios UJAT, CICY, Jardín botánico ECOSUR. **Trabajo de campo**
	Techo de embarcaciones	Colombia	Smith, 2015
	Escobas	Colombia	Bernal *et al*., 2010; Smith, 2015
	Cestas tejidas	Colombia, Amazonas	Bernal *et al*., 2010; Smith, 2015
	Tapetes tejidos para separar estancias	Amazonas	Smith, 2015
	Tapetes tejidos para protección y control de erosión en suelos	Colombia	Carvajal, 2021
	Abanico	Colombia **México** (Tabasco)	Bernal *et al*., 2010; Chávez & Zavala , 2021 **Trabajo de campo**
	Muro y cerca	Colombia, **México** (Tabasco)	Vazquez-Dávila, 2001; Maldonado *et al*., 2004; Bernal *et al*., 2010; Chávez & Zavala , 2021
	Colchón	Colombia	Bernal, *et al*., 2010
	Ceremonial: bendición de palmas en Semana Santa	Colombia, **México** (Tabasco)	Bernal *et al*., 2010; Chávez & Zavala , 2021
	Nido para gallinas	Colombia	Bernal *et al*., 2010
	Artesanías	Colombia	Cocomá, 2010; Bernal *et al*., 2010
Raquis de hoja	Puertas y ventanas	Colombia	Bernal *et al*., 2010
	Palo guía para fuegos pirotécnicos	Colombia	Bernal *et al*., 2010
	Sellado para cajas de fruta	Colombia	Bernal *et al*., 2010
Inflorescencia	Aromática	**México** (Tabasco)	Mariaca, 2012
	Insecticida	**México** (Tabasco)	**Trabajo de campo**
Inflorescencia (pistilada)	Espanta moscos	Colombia	Bernal *et al*., 2010
Inflorescencia (estaminada)	Decorar santos en semana santa	Colombia	Bernal *et al*., 2010
Perianto	Construcción de sujetadores para recipientes	Colombia	Bernal *et al*., 2010

Parte de la planta	Usos	País	Fuente
Bráctea de inflorescencia	Utensilio (recipiente)	**México** (Tabasco)	**Trabajo de campo**
	Mueble (cuna)	**México** (Tabasco)	**Trabajo de campo**
Fruto	Forraje bovinos, puercos, animales de caza silvestres	Colombia, Amazonas, **México** (Veracruz, Oaxaca, Tabasco)	Hernández-X, 1947; Vazquez-Dávila, 2001; Maimone *et al*., 2006; Bernal *et al*., 2010; Smith, 2015; Chávez & Zavala, 2021 Herbario XALU. **Trabajo de campo**
	Alimento	Venezuela, Colombia, **México** (Tabasco)	Narváez & Staffeur, 1999; Centurión-Hidalgo *et al*., 2003; Maldonado *et al*., 2004; Smith, 2015 **Trabajo de campo**
	Promisoria oleaginosa uso industrial	Colombia	Cordero *et al*., 2009; Salazar *et al*. 2023
	Medicinal (diabetes, herpes, hongos y tifoidea)	**México** (Tabasco)	Magaña A. , 2010; Mariaca, 2012; Álvarez-Quiroz *et al*., 2016
Fruto (exocarpio)	Favorece encender la leña	**México** (Tabasco)	**Trabajo de campo**
	Se quema para ahuyentar los mosquitos	**México** (Tabasco)	**Trabajo de campo**
Fruto (mesocarpio)	Bebida fermentada (Chicha)	Colombia	Bernal *et al*., 2010
	Jabón limpiador	**México** (Tabasco)	Maldonado *et al*., 2004; Ramírez, 2007; Chávez, 2010 Herbarios UJAT y XALU. **Trabajo de campo**
	Jabón medicinal (granos, salpullido, caspa, hongos y otros males de la piel)	**México** (Tabasco)	**Trabajo de campo**
	Aceite	Colombia, **México** (Tabasco)	Vazquez-Dávila, 2001; Bernal *et al*., 2010
Fruto (mesocarpio): Agua donde se remojó el fruto para la extracción de la grasa	Anti garrapatas	**México** (Tabasco)	**Trabajo de campo**
	Herbicida ligero	**México** (Tabasco)	**Trabajo de campo**
Fruto (endocarpio)	Se pulen para cuentas de asiento tejido de carro	Colombia	Bernal *et al*., 2010
Infrutescencia seca	Árbol de Navidad	Colombia	Bernal *et al*., 2010
Semilla	Aceite	Colombia, **México** (Puebla, Veracruz, Tabasco, Chiapas, Oaxaca, Campeche y Quintana Roo)	Pennington & Sarukhán, 2005; Bernal *et al*., 2010) **Trabajo de campo**

Parte de la planta	Usos	País	Fuente
	Aceite con potencial para elaborar biodiesel	Colombia, Panamá	Mendonça & Ferreira , 2010; Arosemena *et al*., 2015; Nieto & Cárdenas, 2017;Vega-Contreras *et al*., 2023
	Aceite cosmético para el cabello	Colombia	Bernal *et al*., 2010
	Alimento (agregado a masa de maíz)	Colombia, **México** (Tabasco)	Bernal *et al*., 2010 **Trabajo de campo**
	Medicinal (aceite para problemas bronquiales, pasta de semilla para tratar el bocio)	Colombia	Bernal *et al*., 2010
Savia	Bebida fermentada (Vino)	Colombia	Beltrán, 2010; Bernal *et al*., 2010; Smith, 2015; Granados & Cruz , 2020 **Trabajo de campo**
	Medicinal (savia fermentada para limpiar vagina en incrementar la fertilidad)	Colombia	Bernal *et al*., 2010
Retoño apical en formación	Comestible	Colombia, **México** (Tabasco)	Vazquez-Dávila, 2001; Chávez, 2010; Bernal *et al*., 2010; Smith, 2015 **Trabajo de campo**
Tallos	Construcción (poste)	Colombia	Bernal *et al*., 2010
	Alimento: recolección de larvas de *Rhynchophorus palmarum*	Colombia, Ecuador, Colombia, Perú	Bernal *et al*., 2010; Smith, 2015
Tallos (derribados o muertos)	Fertilizante orgánico	Colombia	Bernal *et al*., 2010
	Leña	**México** (Tabasco)	Vazquez-Dávila, 2001
Raíz	Medicinal	**México** (Tabasco)	Magaña, 2010; Mariaca, 2012
Planta	Ornamental	Colombia	Bernal *et al*., 2010
	Ritual/mitológico	**México** (Tabasco)	Vazquez-Dávila, 2001
	Promisoria Fitorremediación	**México** (Tabasco)	Ochoa-Gaona *et al*., 2011

Elaboración artesanal de jabón de corozo

La elaboración artesanal de jabón a partir de la grasa contenida en el mesocarpio del fruto de *Attalea butyracea* solo ha sido reportado en Tabasco, México, con testimonios de campesinos de Comalcalco y Cárdenas, quienes lo describen como parte del pasado rural (Ramírez, 2007; Chávez, 2010).

Recolección del fruto

El proceso de elaboración de jabón de corozo inicia con la recolección del fruto, que debe realizarse cuando se desprende del racimo y cae al suelo. No deben cortarse en racimo ya que, debido a su propiedad no climatérica, los frutos no madurarán adecuadamente ni lograrán un contenido máximo de grasa requerida para elaborar jabón (Sozzi, 2007). Se eligen los de color naranja y se evita los que presentan manchas café oscuro.

Núm. 61: 457-478 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

Recogimos el corozo que cae al suelo, el amarillo, ya maduro. También cortamos un racimo entero de la palma. Ya en la casa esperamos una semana para que el corozo se fuera despegando del racimo para pelarlo, pero creo que no fue lo mejor porque la manteca la tiene todavía muy pegada. Es como todo, es como el mango, si lo cortas cuando no está mero maduro no tiene agua, así el corozo, no tienen tanta manteca si lo cosechas antes de caer (Sr. Eraclio. Julio del 2015).

Los frutos recolectados se transportaron en cubetas de plástico de 19 litros (Figura 2) pero antes se utilizaban costales o arpillas. Los frutos fueron transportaron a la casa.

Antes nos íbamos en la montaña (selva) *y de esos costales de zosquil* (fibra de henequén) *los llenábamos y los traíamos a mecapal. A veces los puercos ya lo habían comido, pero como son golosos solo estaban chupados, estaban buenos y así los traíamos. También lo comía el puerco de monte ¡Es que ibas a la montaña y te aburrías de estar recogiendo el corozo! En junio empieza a caer el corozo, es casi mes y medio que dura la cosecha de corozo.* (Sr. Eraclio. Julio del 2015).



Figura 2. Recolección del fruto de *Attalea butyracea*.
Figure 2. Harvesting the fruit of *Attalea butyracea*.

Eliminación de la cáscara (exocarpo)

La eliminación de la cáscara del fruto o corozo se realizó con un instrumento llamado palo "pela corozo, "quiebra corozo" o "machaca corozo" elaborado por el campesino participante de mayor edad. El primer elemento de dicha herramienta consiste en el tallo del árbol mulato (*Bursera simaruba* (L.) Sarg) o jobo (*Spondias mombin* L.), cuya madera blanda permite el tallado. Debe tener un diámetro de 9 centímetros y 0.75 m de longitud aproximadamente para usarlo sentado, o bien con 1.25 m de longitud para utilizarlo de pie. En el extremo superior, a 23 cm de la punta, se realizó una hendidura en forma rectangular de 5 x 4 cm (Figura 3a). El extremo inferior se talla en punta para poder fijarlo enterrado al suelo de tierra o en forma plana para piso de cemento. El segundo elemento de la herramienta es un palo del mismo tipo de madera, de 45 cm de largo, tallado en su totalidad o solo en un extremo en forma cuadrada de 3 x 2.5 cm, el cual se coloca

Núm. 61: 457-478 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

dentro del orificio del primer elemento, para ejercer presión tipo palanca sobre el fruto y quitar la cáscara. El palo pela corozo se amarró a un poste del patio, usando olotes de maíz para mejor sujeción y evitar que se moviera durante su uso (Figura 3b).



Figura 3a. Vista frontal del palo pela corozo. 3b. uso del palo pela corozo y complemento para eliminar la cáscara del fruto.
Figure 3a. Front view of the palo pela corozo. 3b. use of the palo pela corozo and accessory for removing the fruit's peel.

El palo pela corozo se hace en un ratito con un cincel (herramienta) *para hacerle un hoyito. Del palo mulato se hace facilito, es blandito. Antes lo hacíamos de jobo. Mis hermanas, mi papá y mi mamá, se ponían a quebrar corozo con un solo palo, cuando uno se cansaba el otro le seguía. Don José nos trajo un machaca corozo de más de 50 años de su suegro. Cuando andaban de novios vio cómo el papá de Chepina* (su esposa) *elaboraba el jabón de corozo. Luego se casó y llegaba con el suegro a ayudar a hacer el jabón. Se hace bajo para poder sentarse en una sillita. Antes ahí se quedaba uno todo el día, cuando ya no aguantábamos, nos levantábamos a descansar un ratito, pero cada sentada era un tambao* (cubeta) *de corozo que se pelaba. Para apretar el palo quiebra corozo se utiliza unos olotes, para que no gire o se mueva de su lugar en el momento de trabajar* (Sr. Eraclio. Julio del 2015).

Usar el palo pela corozo requiere destreza. La técnica recomendada es tomar dos frutos con la mano izquierda, colocar uno a uno para presionarlos y eliminar la cáscara, tomar cada fruto sin cáscara con la mano derecha y arrojarlos al recipiente, cubeta o canasto.

Se toman de dos en dos para no perder el tiempo, para que no entretenerse. Cuida de no batirte (ensuciarte) *las dos manos con la manteca de corozo cuando lo pelas, porque si no, luego se te resbala el palo; solo una mano debe batirse. Cuando el corozo está fresco no está talludo* (duro), *esta aguadito y revienta bonitísimo, nada más medio lo aprieta uno y se sale fácil, pero cuando ya está zocato* (sin madurar) *es más difícil* (Sr. Eraclio. Julio del 2015).

Obtención de la grasa o manteca de corozo

El fruto sin cáscara se colocaba antiguamente en un cayuco (embarcación de madera). En el presente trabajo se usó un recipiente de plástico con capacidad de 60 litros en el cual se colocó 99.62 kilos de frutos y se agregó suficiente agua hasta 8 cm sobre el nivel de los frutos (Fig. 4a). Se removieron los frutos con una paleta de madera y se pisaron con los pies para separar la grasa del fruto (Fig. 4b). Se tapó el recipiente y se dejó reposar en un lugar sombreado y fresco por 72 horas.



Figura 4a. Preparación del fruto de corozo en agua, removido con paleta de madera. 4b. Pisado del fruto de corozo en agua para separar la grasa.
Figure 4a. Preparation of corozo fruit in water, stirred with a wooden paddle. 4b. Crushing the corozo fruit in water to separate the fat.

Ya quebrado, se le echa agua y se bate. Es mejor batirlo con los pies, pero ahora lo hicimos con la paleta. Son cuatro días que se deja fermentar ¡Ay, como huele! ¡Un olor de hace 50 años! ¡En la casa olía la casa a corozo! (Sr. Porfirio. Julio del 2015).

Si está espeso como pozol no te va a soltar la manteca, hay que echarle cuatro cubetadas de agua para ver cómo va engruesando la manteca. Se deja reposar por dos días. Después de ese tiempo ya está agrio, ya soltó la manteca y se saca. A veces requiere agregarle más agua para poder sacar la grasa, aquí le decimos manteca de corozo (Sr. Eraclio. Julio del 2015).

Después de dicho período, la manteca de corozo se separó del fruto y subió a la superficie del agua (Fig. 5a). Los frutos se sacan del recipiente, eliminando el exceso de agua y la grasa adherida a los mismos con las manos. Finalmente, la grasa obtenida se separó del agua con las manos colocándola en un recipiente por separado (Fig. 5b).



Figura. 5a. Grasa de corozo después de 72 horas de remojo en agua. 5b. Separación de la grasa de corozo del agua.
Figure 5a. Corozo fat after 72 hours of soaking in water. 5b. Separation of the corozo fat from the water.

Se aprietan los frutos con las manos para que queden bien lavaditos, restregando unos con otros. Se van sacando los frutos y también la manteca que flota sobre el agua pero separadamente. Cuando hace calor la manteca esta blandita, cuando hace frío, está dura como grasa de tractor, pero no se pega. Se echa en un traste y una vez sacado ya no tiene problema (Sr. Eraclio. Julio del 2015).

La grasa de corozo se colocó al sol para eliminar los restos de agua. Antes la colocaban sobre el tapanco (estructura de madera ubicado sobre el fuego para cocinar) o se calentaba en el fuego para eliminar el agua y evitar hongos durante su almacenamiento. Eliminado los restos de agua, puede conservarse durante un año.

Puede freírse la manteca o bien se pone en un traste grueso al sol, todo el día, para que brote el agua. A eso se le llamaba manteca frita. La pagaban a 25 pesos (aproximadamente en el año 1942) *y una batea grandísima de caoba llena de manteca la pagaban a 30 pesos. Bien seca y tapada dura hasta el año. Puede tener una cascarita por encima, pero no le pasa nada. Si le cae un hongo por encima, no se toca, sirve para hacer el jabón. Si la guarda hasta el siguiente año va a estar dura, pero si la troza con machete verá que ahí no le entró nada, no la persigue ninguna polilla. Eso lo come el perro, el puerco y el ganado, pero otro animal no la come, ni la mosca* (Sr. Eraclio. Julio del 2015).

Aprovechamiento de los residuos

La cáscara del fruto se aprovecha para encender la leña gracias a la grasa que contiene, también es quemada para que el humo que produce ahuyente a los mosquitos y se utiliza para la alimentación del ganado bovino y animales domésticos.

La cáscara se recoge para quemar la leña ¡viera lo bueno que es! Antes se guardaba para hacer humo y espantar al mosquito, porque le huye al tujo (tufo) (Sr. Eraclio. Julio del 2015).

Los puercos tragan todo el fruto. Ahora Don José utilizó la cáscara para dársela a su ganado. Don Javier la tiro en el patio y los perros empezaron a comerla.(Sr. Maclovio. Julio del 2015).

El agua donde se remojó el fruto al separar la manteca, se regaba en el piso de tierra de la casa rural para eliminar pulgas. En este trabajo los campesinos la utilizaron para bañar a los perros con el mismo fin. También se observó su uso herbicida de bajo efecto y medicinal para combatir hongos, salpullido y granos en la piel, así como caspa en el cuero cabelludo.

Núm. 61: 457-478 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

El agua que queda después de obtener la manteca sirve para matar la pulga, se regaba adentro de las casas pues teníamos piso de tierra. Para bañar al perro cuando tiene pulgas. También funciona como herbicida, pero nada más quema el follaje, la raíz no la mata, es un herbicida orgánico. Voy a dejar un poquito porque me voy a bañar con esta agua (Sr. Porfirio. Julio del 2015).

Los frutos ya sin grasa, se secaron al sol por 20 días; antes se colocaban en el tapanco. Ya secos, se quebraron para obtener la semilla. Esta semilla se muele con maíz cocido y cacao tostado para la preparación de la bebida tradicional denominada chorote. También se agrega a la masa de maíz utilizada para elaborar tortillas y se obtiene aceite comestible.

Mi mamá la secaba embolaita (en forma de bola)*, la subía arriba donde hacia el fuego ¡Ay padre, esos corozos se secaban, pero bonito!* (Sra. Tula. Julio del 2015).

Luego con una piedra, se quiebran para sacarle la almendra. La almendra se utilizaba para hacer tortillas y totoposte (tortilla grande, delgada y tostada*), se agregaba al pozol y para sacar aceite, para comer es muy bueno, sirve para freír o para preparar los tamalitos de maíz nuevo ¡ahhhh, sabe buenísimo! Un kilo de semilla de corozo da más de 300 ml de aceite* (Sr. Eraclio. Julio del 2015).

Preparación de la lejía

La lejía debe prepararse un día antes de la elaboración del jabón. Para ello se requiere juntar la ceniza de fogón. Las maderas de teslele (*Inga* sp.), jolocín (*Heliocarpus donellsmithii* Rose), chichón (*Cupania dentata* Moc. & Sessé), guásimo (*Guazuma ulmifolia* Lam.), cedro (*Cedrela odorata* L.) y caoba (*Swietenia macrophylla* King) se recomiendan para obtener la ceniza y una lejía con pH=12. En este trabajo se utilizó ceniza de naranjo (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) con buenos resultados.

Para elaborar la lejía usamos ceniza fuerte de guácimo, cedro y caoba. La calidad de la ceniza favorece tener una lejía fuerte. La lejía se prueba con la punta de la lengua y se escupe. De esta forma se comprueba si está fuerte. Hace años pasó una señora vendiendo pancitos de jabón de corozo prietos, simples, no echaban ni espuma. Si el jabón es bueno entonces la lejía estuvo fuerte, pero cuando el jabón no es bueno, esta simple. La ceniza de leña de cacao no sirve, es muy podrida, tiene que ser madera buena, jolosín para que este buena" (Sr. Eraclio. Julio del 2015).

En un recipiente suspendido del techo se colocaron 10 kilos de ceniza. Mediante un orificio en la parte inferior del recipiente, en donde se colocó un pedazo de tela, se procedió a percolar 10 litros de agua de pozo, caliente (80^0 C), también puede utilizarse agua de lluvia porque no contiene cloro. Se agregó poco a poco el agua a la ceniza y se recuperó por goteo (Figura 6). El agua obtenida se depositó nuevamente en la ceniza por dos ocasiones más, hasta obtener un líquido sin residuos y con un pH=12. . Los campesinos ponen un poco de lejía en la punta de la lengua para verificar la fuerza de la misma (pH).

El aparato que adecuamos para colar la lejía fue el recipiente de una lavadora vieja pero puede ser también una olla. Lo colgamos con una lía (cuerda) *como una piñata. El recipiente debe tener un hueco donde se le coloca un zosquil* (malla en tela o red de plástico*) a modo de colador. Se llena el recipiente de ceniza, se pone a hervir una cacerola de agua y se le va agregando el agua caliente a la ceniza, poco a poco, no de chingadazo. Por el agujero del recipiente va a salir el agua con ceniza turbia, se recolecta en una cubeta. Se le vuelve agregar el agua turbia a la ceniza hasta que salga clarita: esa lejía está fuertísima. A veces lleva todo el día para echarle agua caliente a esa olla, desde la mañana se está filtrando. Cuando el agua sale clara quiere decir que ya se lavó la ceniza* (Sr. Eraclio. Julio del 2015).

Hay que usar agua natural de pozo o de lluvia, no usar agua que lleva cloro. La lejía sirve para matar los hongos ¡Viera como es buenísima para el sabañón (hongo)*! Las mujeres de antes le ponían un poquito de lejía a una pailadita* (carga) *de ropa, dejaban que hirviera tantito, luego la tendían, la dejaban en el sereno y al otro día la lavaban con jabón de corozo, así sacaban la mancha. Porque a la ropa de campo se le pegan manchas de diferente mezcla de monte como la lengua de vaca* (Sr. Eraclio. Julio del 2015).



Figura 6. Tecnología casera realizada para percolar y obtener la lejía de ceniza.
Figure 6. Homemade technology made to percolate and obtain ash lye.

Proceso de saponificación

Antiguamente se utilizaba una cazuela grande de barro para el proceso artesanal de saponificación. En el presente trabajo se utilizó una cacerola de aluminio colocada sobre un soporte de metal y ladrillos de cemento que conformaron el fogón a nivel de piso (Figura 7a). Para encender la leña se utilizó un poco de manteca de corozo. En la cacerola se colocaron 5 litros de lejía al fuego, cuando inició la ebullición se agregó en porciones pequeñas la grasa de corozo. Se requirió mover constantemente la mezcla con una paleta de madera, controlar el fuego y agregar lejía para evitar derrames al inicio de la cocción. Después de media hora la mezcla se estabilizó y solo demandó moverla de vez en vez. Con esta cocción, la mezcla pasó de amarillo claro a café claro y logró una consistencia moldeable (Figura 7b).

*El fuego se hizo en el suelo y se colocó una parrilla. Se utilizó un poco de manteca de corozo para prender el fuego. Primero se pone a hervir la lejía en una cacerola grande o paila, es mejor si el recipiente es de barro porque se le puede poner bastante fuego. Luego se le agrega la grasa o manteca moviendo la mezcla con una paleta en una sola dirección. Cuando ya ha hervido bastante se espesa, se pone bien gruesa (*consistencia*), deja de subirse, ya no hay riesgo de*

Núm. 61: 457-478 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

derrame, pero aun así se le debe agregar más lejía. Cuando ya mermó se puede dar vuelta a la pelota de manteca con la paleta, significa que ya está seca, entonces se saca del fuego y del recipiente. Tiene que quedar sólida la mezcla, para que cuando enfríe se endurezca el jabón (Sr. Eraclio. Julio del 2015).



Figura 7a. Mezcla inicial. 7b. mezcla final del proceso artesanal de saponificación.
Figure 7a. Initial mix. 7b.Final mixture of the artisanal saponification process.

El proceso de saponificación se realizó "al tanteo" conforme al método campesino, con una inversión en tiempo de 24 horas de combustión dividida en seis días. El método "al tanteo" consistió en ir agregando la lejía de ceniza a la grasa de corozo, en pequeñas cantidades para el proceso de saponificación (cocción), hasta lograr el color y la consistencia requerida.
Una vez que se está espesando, se debe ver si tiene lejía más de la cuenta o le falta. El cocimiento puede llevar desde la mañana hasta las dos de la tarde. Si tiene exceso de lejía, esta prieta y no va a endurar el jabón. En este caso se le deja en la tina de cocimiento y se espera unos 8 días, hasta tener más manteca. Se le agrega a la mezcla ya cocida, se pone al fuego y se le echa otro poquito de lejía para lograr la proporción adecuada. Si le falta, hay que agregarle más lejía. Si hay una mujer embarazada, ella tiene que mover la olla sino se pone chicloso, se hace una pelota, son secretos (Sr. Eraclio. Julio del 2016).

Moldeado del jabón
Una vez que se obtuvo una pasta, se retiró del fuego y se extendió sobre una tela o mantel. Se colocó otra tela encima de la pasta y con ayuda de una tabla de madera se presionó para extenderla y obtener un grosor de aproximadamente 1.5 cm (Figura 8). Después se cortó con cuchillo en rectángulos de aproximadamente 12 x 6 cm.



Figura 8. Pasta de jabón extendida sobre la tela.
Figure 8. Soap paste spread on the fabric.

Después de dos horas, la pasta se enfrío y solidificó. Cada porción se envolvió en una hoja seca de maíz, similar a la envoltura utilizada para los tamales (Fig. 9). Los campesinos de mayor edad reiteraron, durante todo el proceso de elaboración artesanal de jabón de corozo, las cualidades del jabón y el esfuerzo requerido hasta su obtención.

Pasas al lado de una persona ¡y huele la ropa a jabón! Sirve para lavar ropa y para bañarse. La ropa que esta manchada, se le pone un poco de jabón, se deja toda la noche para que le dé el sereno, al otro día se vuelve a lavar y le saca la mancha. Si tienes sarna te la quita, te quita los hongos en la cara y el pelo te queda bonito. Hacer el jabón era un trabajo que mandaban a hacer los papás para que los chamacos no anduvieran de ociosos o maleantes. Mientras los hombres grandes gastaban el jabón, los muchachos dándole al trabajo de prepararlo: recogerlo, pelarlo, traer la leña, hervir la lejía, cocerlo. Ahorita al chamaco ¡le vale!, todo el día está descansadísimo, por eso en la noche no puede dormir (Sr. Eraclio. Julio del 2016).

Núm. 61: 457-478 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525



Figura 9. Algunos campesinos participantes en la elaboración artesanal de jabón de corozo del Poblado C-28, Cárdenas, Tabasco, México.
Figure 9. Some farmers participating in the artisanal production of corozo soap from Poblado C-28, Cárdenas, Tabasco, Mexico.

Replicar el proceso artesanal de jabón de corozo en el presente trabajo, permitió la integración de jóvenes de las familias participantes a dicha actividad y generó una inmediata demanda local de jabón de corozo entre familiares y amistades de los campesinos y campesinas participantes, con un precio de venta de 50 pesos por 100 gramos. Así mismo, durante la venta de productos agroecológicos que los campesinos realizaron en la ciudad de Villahermosa, incluyeron el jabón de corozo a razón de 100 pesos por 100 gramos.

Cuantificación del proceso artesanal
La cuantificación del proceso artesanal de elaboración de jabón de corozo permitió calcular la merma de la materia prima hasta el producto final (Tabla 3). Para el cálculo de la merma en kg y porcentaje de frutos frescos recolectados hasta su preparación previa a la extracción de grasa (M1), se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$M1 = (PT) - (Pe + Cex) \qquad (1)$$

$$M1\% = \frac{M1 \times 100}{PT} \qquad (2)$$

Donde:
M1= Merma en kg de frutos frescos recolectados hasta su preparación previa a la extracción de grasa
M1%= porcentaje que representa M1, con PT como 100%.
PT = peso total de frutos recolectados
Pe = peso de frutos dañados o sin la madurez adecuada eliminados
Cex= peso de cascara (exocarpo) eliminada

Para el cálculo de la merma en kilos y porcentaje durante la extracción de la grasa (M2) se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$M2 = Ped \qquad (1)$$

$$M2\% = \frac{M2 \times 100}{PT} \qquad (2)$$

Donde:
M2= Merma en kilos durante la etapa de extracción de la grasa
M1%= porcentaje que representa M2, con PT como 100%.
Ped = peso del endocarpo con semilla eliminada.
PT = peso total de frutos recolectados

En promedio, la merma de la materia prima (frutos recolectados) hasta la obtención de grasa requerida para el proceso de saponificación fue de 93.86. Se calcula que para obtener una barra de jabón de corozo de 200 se requiere 3.02 Kg de fruto recolectado (Tabla 3).

Tabla 3. Registro cuantitativo de elaboración artesanal de jabón de corozo (2015-2016).
Table 3. Record of artisanal corozo soap production (2015-2016).

Año	Fruto recolectado (Kg)	Merma1 (Kg)	Merma1 (%)	Fruto óptimo sin cáscara (Kg)	Agua (l)	Merma2 (Kg)	Merma2 (%)	Manteca obtenida (Kg)	Jabón obtenido (Kg)
2015	137.18	43.70	31.80	93.48	45	85.16	62.07	9.96	9.13
2016	143.68	44.06	30.60	99.62	60	90.9	63.26	10.26	9.41
x̄	140.43	43.88	**31.20**	96.55	52.5	88.03	**62.66**	**10.11**	**9.27**

DISCUSION

Conforme a los registros de herbario consultados, se aportó un sitio de colecta de *Attalea butyracea* (Mutis ex L.F.) Wess. Boer en el municipio de Cárdenas, Tabasco. Varios autores registraron la presencia de esta especie en Tabasco, en los municipios de Comalcalco, Paraíso, Centro, Jalpa de Méndez, Tacotalpa, Tenosique (Magaña, 2006), Macuspana (Magaña & González, 2017), Paraíso (Magaña, 2006; Magaña, 2010), Huimanguillo (Magaña, 2006; Sol-Sánchez *et al*., 2016) y Cárdenas (Ochoa-Gaona *et al*., 2011; Ramírez-Meneses *et al*., 2013; Sol-Sánchez *et al*., 2016).
El periodo de floración de *Attalea butyracea* ha sido reportado de enero a mayo (Hernández-X, 1947; Quero, 1994a; Maldonado *et al*., 2004; Pennington & Sarukhán, 2005; Ochoa-Gaona *et al*., 2011), sin embargo, en los recorridos de campo realizados se encontraron especímenes en floración en Octubre de 2018. La maduración de frutos solo fue reportada por Hernández-X (1947) para el periodo de marzo-mayo; en el presente trabajo se encontraron frutos maduros en junio de 2015, julio de 2016 y durante el periodo de julio-octubre de 2017; los informantes entrevistados afirmaron que la recolección de fruto maduro en la región de la Chontalpa, puede realizarse de junio a septiembre. Es necesario enfocar nuevos estudios para el registro de la fenología de esta especie y analizar el posible efecto del cambio climatológico.
Existe evidencia de que el aprovechamiento de *Attalea butyracea* en la región de la Chontalpa, Tabasco, México, se realiza desde los primeros grupos de pobladores sedentarios en la región (Riverón, 2001; Peres *et al*., 2010; Kruger *et al*., 2019). Su uso cotidiano y simbolismo persistió en el grupo indígena maya Yokotán de Tabasco de manera importante hasta la mitad del siglo XX (Vazquez-Dávila, 2001). Los resultados muestran que en la región de la Chontalpa ha sido un importante elemento del entorno para la construcción e higiene de la vivienda, lavado de ropa, higiene personal, salud, utensilios y alimento, esto último referido a la obtención de aceite para preparar diferentes comidas y el consumo del palmiche o corazón de palma crudo o hervido en condiciones de escases de alimento (Chávez, 2010). Lo anterior contribuyó al autoabasto de la población rural hasta antes de la devastación de la selva y la eliminación de poblaciones de dicha especie (corozales), ocurrida en los años setenta del siglo XX. Actualmente la presencia de la palma de corozo se limita a algunos individuos tolerados en pastizales de uso ganadero y

cacaotales, formando parte de la diversidad florística de este último agroecosistema campesino de origen precolombino que aún persiste en la región. Todos los usos registrados en el presente trabajo fueron poco frecuentes o en desuso. La demanda de la compra de jabón de corozo fue generada, además de sus propiedades limpiadoras y medicinales, también fue debido a una carga de nostalgia y evocación de recuerdos de la infancia y el pasado en los consumidores, cuando éste era de uso frecuente en el medio rural, por lo que la elaboración de jabon de corozo puede representar lo que en la actualidad es denominado como "producto de nostalgia" (Pollan, *et al*., 2021). En el contexto de los campesinos participantes en transición agroecológica, este recurso puede representar un ingreso extra que favorezca la conservación de un sistema diversificado como es el cacaotal.

El método "al tanteo" utilizado para el proceso de saponificación en el presente trabajo requirió mucho tiempo, esfuerzo y leña debido a que se desconoce la proporción óptima requerida entre lejía y la grasa (índice de saponificación). Al replicar el método artesanal de saponificación en junio de 2016 bajo este método, se quemó la mezcla y requirió la intervención del campesino con mayor edad para corregir el proceso y la preparación de lejía adicional. Por lo anterior, es necesario generar estudios de laboratorio que permitan determinar el índice de saponificación utilizando los insumos y pasos del proceso artesanal para hacer más eficiente la obtención del jabón. Así mismo, se requiere cuantificar el trabajo humano invertido en horas y las calorías invertidas para el cálculo de los costos de producción y comercialización del jabón de corozo, ya que puede tener un mercado de consumo vigente.

CONCLUSIONES

La palma llamada corozo o guano, cuyos frutos son utilizados para la elaboración artesanal de jabón en la Chontalpa, Tabasco, México, es la especie *Attalea butyracea* o sinonimia. En el sureste de México se le encuentra asociada a duna, pastizales, vegetación secundaria (matorral, acahual), selva mediana subperennifolia y selva alta perennifolia; en la región de la Chontalpa se le encontró asociada además con cultivo de cacao. Se registraron 16 usos diferentes para 10 partes de esta palma, de los cuales siete representan nuevos registros. Con ello se contribuye al registro de 52 usos diferentes para 18 partes y planta completa en América Latina. Con base en entrevistas y recorridos de campo en la región, la recolección del fruto maduro en el suelo puede realizarse de junio a septiembre. El uso del fruto para la elaboración artesanal de jabón de corozo solo ha sido registrado en Tabasco, México. El proceso de elaboración artesanal de jabón de corozo implica la generación de saberes sobre la fenología de la especie y la fisiología de la maduración del fruto, así como la generación de tecnología local para la separación del exocarpio y la extracción de la grasa del fruto, el adecuado pH de la lejía obtenida de la ceniza del fogón y el proceso artesanal de saponificación. En la elaboración artesanal de jabón de corozo son aprovechados la cáscara del fruto, el agua residual y la nuez, obtenidos como residuos. La elaboración de jabón de corozo demanda tiempo, trabajo y saberes específicos; la merma es de 93% durante el proceso. Al replicar el proceso artesanal de elaboración de corozo con la participación activa de campesinos y campesinas de edad avanzada, permitió el registro, y la transferencia de saberes y tecnología local a campesinos de mediana edad y jóvenes, con lo cual se contribuyó a preservar la riqueza biocultural en la región.

AGRADECIMIENTOS

A Gertrudis Estrada Vázquez, Maclovio Olán Domínguez, Uriel Lara Mena, Silvia Jiménez Mena, Isaías Olan Quiroga, Armando Rodríguez Sánchez y Azael Mena Hernández; en memoria de Eracleo Naranjo Palma†, Porfirio Mena Quiroga†, Cornelio Méndez Acosta†, Santos Jiménez Hernández†, campesinos y campesinas participantes. A René Brondo Ricárdez por su apoyo en campo.

LITERATURA CITADA

Álvarez-Quiroz, V., Caso-Barrera, L., & Aliphat, F. (2016). *Plantas medicinales en los solares de Nacajuca y Ayapa en Jalpa de Méndez en el estado de Tabasco.* Colegio de Postgraduados.

Arosemena, R., Castillo, A., Castillo, M., Castillo, V., Chen, R., Fuentes, A., & Jaramilo, B. (2015). Obtención de Etanol a base de la savia de la Palma de Corozo Attalea Butyracea. *Revista de Iniciación Científica,, 1*(2), 66-72. Obtenido de https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/451

Barkin, D, (2018). De la protesta a la propuesta. 50 años imaginando y construyendo el futuro. Siglo XXI editores, México.

Beltrán, B. (2010). *Obtención de savia azucarada a través de la inflorescencia en la palma de vino (Attalea butyracea).* Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias. Obtenido de https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/17904

Bernal, R., Galeano, G., García, N., Olivares, I.L., & Cocomá, C. (2010). Uses and commercial prospects for the wine palm, Attalea butyraceae, in Colombia. *Ethnobotany research and applications*(8), 255-268. Obtenido de https://ethnobotanyjournal.org/index.php/era/article/view/432

Carvajal, C. (2021). *Potencial de mallas tejidas en fibras de hoja de palma de vino (Attalea butyracea) para la protección del suelo y el control de erosión en taludes. Tesis profesional.* Bogotá: Universidad De la Salle. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/945/

Castillo-Campos, G. (2003). Flora y vegetación de la Sierra Cruz Tetela, Veracruz, México. *Polibotánica*(15), 41-87. Obtenido de https://polibotanica.mx/index.php/polibotanica/article/view/684/914

Centurión-Hidalgo, D., Espinosa, M., Poot, M., & Cázares, C. (2003). *y Cultura alimentaria tradicional de la región Sierra, Tabasco. , México: .* Villahermosa: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Chávez, G. (2010). *De la selva a la frontera. Relatos campesinos del Plan Chontalpa.* Cárdenas: Colegio de Postgraduados.

Chávez, G., & Zavala , C. (2021). Unidades de paisaje y flora útil: persistencia y devastación del patrimonio biocultural maya Yokoyinik'ob en Tabasco, México. *Sociedad y ambiente*(24), 1-35. doi:https://doi.org/10.31840/sya.vi24.2405

Cocomá, R. (2010). *Uso y manejo de la palma real (Attalea butyracea) para la elaboración de artesanías en el departamento del Tolima. Tesis profesional.* Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias. Obtenido de ias, Bogotá, Colombia. https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8506

Cordero, J., Alemán, W., Torrellas , F., Ruíz, R., Nouel, G., De Sousa, N.M., Espejo, M., Sánchez, R. y Molina, E. (2009). Características del fruto de la palma yagua (*Attalea butyracea*) y su potencial para producción de aceites. *Bioagro, 21*(1), 49-55. Obtenido de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612009000100006

Granados, B., & Cruz , B. (2020). *Formulación y elaboración de una bebida espirituosa a partir de savia de palma de vino fermentada (Attalea butyracea).* Bogotá: Universidad de los Andes. Obtenido de https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/1016173e-91b6-458d-b29b-f657cb175cd5

Hernández-X, E. (1947). La Scheelea liebmanii Becc. (coyol real o corozo): sus distribución y producción. *An. Inst. Biól. Mex., XVIII*(1), 43-70. Obtenido de https://anales.ib.unam.mx/index.php?journal=anales&page=article&op=view&path%5B%5D=724

Hernández-X, E. (1949). Estudio botánico de las palmas oleaginosas de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*(9), 13-19. doi:10.17129botsci.957

INEGI (2020). Principales resultados por localidad (ITER). Obtenido de https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9

Kruger, R., VanderWarker, A., & Gárate, L. (2019). Variación regional en la importancia y usos del maíz en el Formativo temprano y medio en la región olmeca: nuevos datos aqueobotánicos del asentamiento rural de San Carlos, Veracruz. *Arqueología, 56*, 56-76. Obtenido de https://revistas.inah.gob.mx/index.php/arqueologia/article/view/14916/15917

Magaña, A. (2006). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas de Tabasco.* Villahermosa: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Magaña, A. (2010). *Vegetación y Flora del municipio de Paraíso.* . Villahermosa: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Magaña, A., & González, H. (2017). Estudio taxonómico de la familia Arecacea en el municipio de Macuspana, Tabasco, México. *Kuxulka'b, 23*(47), 5-15. doi:https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a23n47.2621

Maimone, C., Aliphat, M., Martínez, C., Ramírez, V., Valdez, J., & Macías, L. (2006). Manejo tradicional de humedales y su análisis mediante sistemas de información geográfica (SIGS): el caso de la comunidad maya-chontal de Quintín Araruz, Centla, Tabasco. *Universidad y Ciencia , 22 (1), ., 22*(1), 27-49. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/154/15402203.pdf

Maldonado, M., Vargas, S., Molina , M. & Sol, S. (2004). *Frutales Tropicales de Tabasco.* Villahermosa: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Obtenido de https://www.scribd.com/document/403629102/109024901-Frutales-Tropicales-de-Tabasco-pdf

Mariaca, M. (2012). La complejidad del huerto familiar maya del Sureste de México. En M. Mariaca, *El huerto familiar en el sureste de México* (págs. 7-97). San Cristobal de las Casas: Sernapam del Estado de Tabasco-Colegio de la Frontera Sur.

Mendonça, C., & Ferreira , L. (2010). Potencial da palmeira "Jaci" (*Attalea butyracea*) para a produção de biodiesel em Rio Branco, Acre.. *XIX Jornada de Iniciação Científica* (pág. 5). Manaus: PIBIC INPA-CNPq/FAPEAM. Obtenido de https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/39532/1/Cleison%20Cavalcante%20de%20Mendonca.pdf

Narváez, A., & Staffeur, F. (1999). Products Derived from Palms at the Puerto Ayacucho Markets in Amazonas State, Venezuela. *Palms, 43*(3), 122-129. Obtenido de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612009000100006

Nieto, A., & Cárdenas, H. (2017). *y Evaluación del aceite obtenido del fruto de palma real (Attalea butyracea) como alternativa de aprovechamiento en la obtención de biodiesel* . San José Cucúta: Universidad Francisco de Pula Santander. Obtenido de https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/2177

OEIDRUS, (2008). Oficina Estatal De Información Para El Desarrollo Rural Sustentable, Padrón de productores. Base de Datos. Gobierno del Estado de Tabasco, Villahermosa, Tabasco.

Ochoa-Gaona, S., Pérez, H., Frías , H., Jarquín , S., & Méndez, V. (2011). *Estudio prospectivo de especies arbóreas promisorias para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos.* Villahermosa: Secretaria de Recursos NaturalesSecretaria de Recursos Naturales y Protección Ambiental-El Colegio de la Frontera Sur.

Pennington, T., & Sarukhán, J. (2005). *Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de las principales especies.* México: UNAM y Fondo de Cultura Económica.

Peres, T., VanderWarker, A., & Pool, C. (2010). The Farmed and the Hunted: Integrating Floral and Faunal Data from Tres Zapotes, Veracruz. En A. VanDerwarker , & T. Peres, *Integrating Zooarchaeology and Paleoethnobotany: A Consideration of Issues, Methods, and Cases.* New York: Springer Science+Business Media. doi:doi.org/10.1007/978-1-4419-0935-0_12

Pérez, L.A., Souza, S.M., Hanan, A.M., Chiang, F., Tenorio, P., Pérez, L.A., Sousa, S.M., Hanan, A.M., Chiang, F, Tenorio, P. (2005). Vegetación terrestre. En J. Bueno, F. Álvarez, & S. Santiago, *Biodiversidad del estado de Tabasco. México* (págs. 65-110). Instituto de Biología, UNAM-CONABIO.

Recibido:
24/julio/2025

Aceptado:
5/diciembre/2025

Pintaud, J. (2008). An overview of the taxonomy of Attalea (Arecaceae). *Revista Peruana de Biología, 15*(1), 53-61. Recuperado el 06 de 04 de 2024, de ttp://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v15s1/a06v15s1.pdf

Pollán, M. E. M., Picatoste-Novo, X., & de Jesús Faustino, J. P. (2021). Comportamiento del consumidor y nostalgia. *Atlantic Review of Economics*, *4*(1).

Quero, H. (1994). Las palmas de México: presente y futuro. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 123-127. DOI:10.17129/botsci.1455

Quero, H. (1994a). *Palmae. Flora de Veracruz* (Vol. Fascículo 81). Xalapa: Instituto de Ecología A.C., University of California.

Ramírez, M. (2007). *Ambiente, Cultura y sociedad: los productores de cacao a pequeña escala de José María Pino Suarez, Comalcalco, Tabasco.* Editorial Académica Española.

Ramírez-Meneses, A., García-López, E., Obrador, O., Ruiz-Rosado, o., & Camacho-Chiu, W. (2013). Diversidad florística en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia, 29*(3), 215-230. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/

Riverón, J. (2001). El escenario se trasforma. Del mar al arroyo, del mangle a la ceiba, de las pequeñas comunidades agrícolas al alba de la civilización. En L. Ochoa, *Tabasco prehispánico.* Villahermosa: Gobierno del Estado de Tabasco.

Ruiz. O.J.I. (2003). Metodología de la investigación cualitativa. Universidad de Desuto, Bilbao.

Salazar, B., Saavedra, C., Montoya , H., Carreño, C., & Montesino, R. (2023). Extracción y caracterización fisicoquímica del aceite del fruto de la palma de vino (*Attalea butyracea*), para su aplicación en el sector industrial. *Revista de Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente, 15*(25), 28-36. Obtenido de https://revistas.unipaz.edu.co/index.php/revcitecsa/article/view/346/280

Smith, N. (2015). *Palms and People in the Amazon, Geobotany Studies.* Switzerland: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-05509-1_12

Sol-Sánchez, A., Pérez-Flores, J., Hernández-Melchor, G., Zenteno-Ruiz, C., Baquero-Ballón, F., & Zúniga-González, C. (2016). Flora arbórea y usos en la Cuenca baja del río Tonalá, Tabasco, México. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio ClimáCambio Climático, 2*(1), 20-42. doi: https://doi.org/10.5377/ribcc.v2i1.5675

Sosa, C. (1985). *El papel socioeconómico del huerto familiar con énfasis en la comercialización en la comunidad La Ceiba 1ª sección, Cunduacán, Tabasco. Tesis profesional.* Cárdenas: Colegio Superior de Agricultura Tropical.

Sozzi , G. (2007). Fisiología de la maduración de los frutos de especies leñosas. En G. Sozzi , *Árboles frutales. Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento* (págs. 667-687). Buenos Aires: Facultad de Agronomía.

Vazquez-Dávila, M. (2001). Etnoecología chontal de Tabasco, México. *Etnoecológica, 6*(8), 42–60. Obtenido de https://www.academia.edu/996242/VASQUEZ_DAVILA_2001_Etnoecolog%C3%ADa_Chontal_de_Tabasco_M%C3%A9xico

Vega-Contreras, N., Villada-Castillo, D., & Pabon-Mora , C. (2023). Evaluación del aceite de *Attalea butyracea* como alternativa en la obtención de biodiesel. *Ingeniería y Competitividad, 25*(1), e-21912208. doi:https://doi.org/10.25100/iyc.v25i1.12208

Polibotánica
ISSN electrónico: 2395-9525
polibotanica@gmail.com
Instituto Politécnico Nacional
México
http://www.polibotanica.mx

LA COMERCIALIZACIÓN DE PLANTAS DEL BOSQUE TROPICAL CADUCIFOLIO Y SU IMPORTANCIA CULTURAL EN EL CENTRO DE MÉXICO

THE COMMERCIALIZATION OF TROPICAL DECIDUOUS FOREST PLANTS AND THEIR CULTURAL IMPORTANCE IN CENTRAL MEXICO

Sotelo-Caro, O., A. Flores-Palacios, S. Valencia-Diaz, D.O. Salinas-Sánchez, R. Figueroa-Brito

LA COMERCIALIZACIÓN DE PLANTAS DEL BOSQUE TROPICAL CADUCIFOLIO Y SU IMPORTANCIA CULTURAL EN EL CENTRO DE MÉXICO
THE COMMERCIALIZATION OF TROPICAL DECIDUOUS FOREST PLANTS AND THEIR CULTURAL IMPORTANCE IN CENTRAL MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. **61**: 479-502 México. Enero 2026
DOI: 10.18387/polibotanica.61.27

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

POLIBOTÁNICA

Núm. 61: 479-502 Enero 2026 ISSN electrónico: 2395-9525

La comercialización de plantas del bosque tropical caducifolio y su importancia cultural en el centro de México

The commercialization of tropical deciduous forest plants and their cultural importance in central Mexico

Ofelia Sotelo-Caro / ofelia.sotelo@uaem.mx
https://orcid.org/0000-0001-8649-7203
Escuela de Estudios Superiores del Jicarero, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Carretera. Galeana-Tequesquitengo s/n, El Jicarero, Jojutla, Morelos, C.P, 62909, México

Alejandro Flores-Palacios https://orcid.org/0000-0002-2000-9964
Paseo del Conquistador 314-18, Lomas de Cortes, Cuernavaca, Morelos, México. C.P. 62240

Susana Valencia-Díaz https://orcid.org/0000-0002-0089-226X
Centro de Investigación en Biotecnología (CEIB), Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, C.P. 62209, México

David Osvaldo Salinas-Sánchez https://orcid.org/0000-0003-0183-4560
Laboratorio de Fitoquímica y Productos Naturales, Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad No. 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca C.P. 62209, Morelos, México
Escuela de Estudios Superiores del Jicarero, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Carretera. Galeana-Tequesquitengo s/n, El Jicarero, Jojutla, Morelos, C.P, 62909, México

Rodolfo Figueroa-Brito https://orcid.org/0000-0002-2435-1425
Departamento de Interacciones Planta-Insecto, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, Carretera Yautepec-Jojutla Km 6, Col. San Isidro, Yautepec C.P. 62731, Morelos, México

Ofelia Sotelo-Caro, Alejandro Flores-Palacios, Susana Valencia-Diaz, David Osvaldo Salinas-Sánchez, Rodolfo Figueroa-Brito

LA COMERCIALIZACIÓN DE PLANTAS DEL BOSQUE TROPICAL CADUCIFOLIO Y SU IMPORTANCIA CULTURAL EN EL CENTRO DE MÉXICO

THE COMMERCIALIZATION OF TROPICAL DECIDUOUS FOREST PLANTS AND THEIR CULTURAL IMPORTANCE IN CENTRAL MEXICO

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 479-502. Enero 2026

DOI: 10.18387/polibotanica.61.27

RESUMEN: Se analizó el proceso de comercialización de las plantas útiles del bosque tropical caducifolio (BTC), en tres municipios aledaños con diferencias culturales (Xoxocotla: rural e indígena, Puente de Ixtla: semiurbano y mestizo y Jojutla urbano y mestizo), midiendo la importancia cultural de estas especies. A través de recorridos etnobotánicos en mercados y puestos fijos y ambulantes se identificaron las especies comercializadas procedentes del BTC, se realizaron entrevistas abiertas a los vendedores para conocer formas y tiempos de colecta, usos, partes usadas y frecuencia de venta, con esta información se estimó el índice de valor cultural y se generó el listado de plantas útiles. Para probar si la composición de plantas comercializadas cambia entre los poblados, se realizaron dos análisis de escalamiento multidimensional. En el primero, se usó una matriz de similitudes pareadas entre los poblados con el índice de Jaccard y en el segundo con el índice de Morisita-Horn. Se encontraron 56 especies de plantas comercializadas provenientes del BTC, pertenecientes a 31 familias y 49 géneros. Las familias más diversas fueron Fabaceae (13 especies), y Asteraceae (9). Las similitudes basadas en el índice de Jaccard fueron entre un 22.2% y un 30.4% más bajas que las calculadas con el índice de Morisita-Horn indicando que la diversidad de plantas que se ofertan entre poblados se diferencia por la identidad de las especies, pero se homogeniza por el valor cultural de las mismas. Se observa que, a pesar de sus diferencias, por la

cercanía de los municipios se mantienen formas de vida rural tradicional, principalmente en los municipios de Xoxocotla y Puente de Ixtla; Jojutla a pesar de ser un municipio
urbano armoniza patrones de uso originario como el uso de plantas medicinales y comestibles con elementos modernos.
Palabras clave: Bosque tropical caducifolio, extracción, comercialización, valor cultural, Morelos.
ABSTRACT The commercialization process of useful plants from the tropical dry forest (TDF) was analyzed in three neighboring municipalities with distinct cultural characteristics (Xoxocotla: rural and Indigenous; Puente de Ixtla: semi-urban and mestizo; and Jojutla: urban and mestizo), assessing the cultural importance of these species. Through ethnobotanical surveys conducted in markets and both fixed and mobile stalls, useful plant species originating from the TDF were identified. Open interviews with vendors were carried out to gather information on harvesting methods and seasons, uses, plant parts utilized, and frequency of sale. Based on this information, a cultural value index was estimated, and a list of useful plants was compiled. To test whether the composition of commercialized plants differed among towns, two multidimensional scaling analyses were performed: the first using a pairwise similarity matrix based on the Jaccard index, and the second using the Morisita–Horn index. A total of 56 species of commercialized plants from the TDF were recorded, belonging to 31 families and 49 genera. The most diverse families were Fabaceae (13 species) and Asteraceae (9). Similarities based on the Jaccard index were 22.2% to 30.4% lower than those obtained with the Morisita–Horn index, indicating that the diversity of plants offered among towns differs in species identity but becomes homogenized when considering their cultural value. Despite cultural differences, the proximity of the municipalities contributes to maintaining traditional rural lifestyles, particularly in Xoxocotla and Puente de Ixtla. Jojutla, although urban, integrates traditional practices such as the use of medicinal and edible plants with modern elements.
Key words: Tropical deciduous forest, extraction, commercialization, cultural value, Morelos.

INTRODUCCIÓN

La etnobotánica mexicana es una disciplina que estudia las relaciones históricas, ecológicas, culturales y sociales entre los pueblos de México (indígenas, rurales y urbanos) y las plantas. Explora los usos tradicionales de la flora (medicinales, alimenticios, religiosos, materiales, ornamentales), los saberes indígenas y populares, la transmisión intergeneracional de ese conocimiento, los procesos de transformación, pérdida o recuperación de esas prácticas en el marco de cambios ambientales, económicos y culturales. También considera la conservación biocultural, la gestión del territorio y las implicaciones políticas de reconocimiento de los saberes locales (Xolocotzi, 2012).

De tal modo que la etnobotánica da las bases teóricas para entender las relaciones entre cultura, y conocimientos ecológicos y biológicos de las relaciones entre planta-humano y en el espacio sociogeográfico (Bye T. P., 1993). Se vincula con áreas diversas como la medicina, nutrición, agronomía, farmacología, antropología (Martin, 2001). En las últimas décadas, la etnobotánica ha ayudado en la búsqueda de respuesta para el uso y conservación de la biodiversidad porque puede establecer estrategias que amortigüen tanto la pérdida del conocimiento tradicional de pueblos originarios como el deterioro de hábitats naturales (Prance, 1991).

Los productos del bosque se pueden clasificar en dos tipos: Productos Forestales Maderables (PFM), entre los que se incluye toda la materia prima leñosa (madera, virutas, carbón y leña); y Productos Forestales No Maderables (PFNM), que son recursos biológicos que no provienen de la madera y pueden aprovecharse con diversos fines, como alimenticios, medicinales, ornamentales, cosméticos o culturales (Matta & Schweitzer Meins, 2012). La relación entre los productos forestales no maderables (PFNM) y la etnobotánica es estrecha, ambos conceptos se sustentan en el aprovechamiento sostenible de los recursos vegetales y en el conocimiento tradicional asociado a ellos. Los PFNM incluyen una amplia variedad de bienes como frutos,

resinas, fibras, plantas medicinales, colorantes, hongos y materiales ornamentales, cuya extracción no implica la tala de árboles, lo que los convierte en elementos clave para la conservación de los ecosistemas y el desarrollo rural (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2020).

De acuerdo a Alburquerque y colaboradores (2019) los PFNM constituyen una expresión tangible del conocimiento etnobotánico, ya que su aprovechamiento y comercialización reflejan prácticas culturales, ecológicas y económicas transmitidas entre generaciones. El comercio de los productos no maderables del bosque, pueden fortalecer la relación entre la etnobotánica y las comunidades locales al revalorizar el conocimiento tradicional sobre las especies útiles y fomentar su manejo sostenible. Por ejemplo, la recolección y venta de plantas medicinales, fibras o frutos silvestres suele basarse en criterios empíricos de cosecha, temporalidad y regeneración aprendidos por observación y experiencia, los cuales reflejan una comprensión profunda del entorno natural (Toledo & Barrera-Bassols, 2009)

Sin embargo, la comercialización sin una base comunitaria o sin reconocimiento de los saberes locales puede generar sobreexplotación y pérdida de especies. Por ello, el fortalecimiento de la relación entre los PFNM y la etnobotánica requiere políticas públicas que reconozcan los derechos de las comunidades sobre sus conocimientos tradicionales y fomenten cadenas de valor éticas y sostenibles (Belcher & Schreckenberg, 2007). Un caso concreto es la alerta roja que se visualizó en el estado de Morelos en septiembre 2025, por la extracción con fines de comercialización de la especie *Tagetes lucida* (pericón) para la celebración de San Miguel Arcángel. Esta celebración incluye la elaboración y venta de cruces de flor de pericón; ante la demanda del recurso, municipios como Ayala y Tepoztlán difundieron a través de redes sociales la recomendación de no colectar dicha especie con fines de comercialización para evitar su sobreexplotación.

En México existe un amplio uso y conocimiento tradicional acerca de las especies vegetales. Esto se debe a dos factores fundamentales. En primer lugar, a la alta riqueza de plantas que se encuentran dentro del territorio nacional, ya que el país ocupa el quinto lugar a nivel mundial en diversidad vegetal (Villaseñor, 2003). En segundo término, la diversidad lingüística, México posee una gran diversidad lingüística, con 68 lenguas indígenas originarias, además del español. De acuerdo a Maffi (2005) los patrones de distribución de la diversidad lingüística en México muestran una estrecha correspondencia con los de la biodiversidad, lo que evidencia una interdependencia entre las formas de vida humana y los ecosistemas.

Se estima que en México se utilizan más de 5,000 especies de plantas con diferentes fines, por lo que la gran mayoría de los PFNM no están sujetos a regulación oficial. Al no contar con un marco de regulación adecuado en donde se incluyan todas las especies aprovechadas, sumado al desconocimiento que hay sobre la diversidad biológica y cultural, los usos comunes y las especies más comercializadas en algunas regiones, puede agravar la problemática de conservación de los bosques y sus recursos (Tapia-Tapia & Reyes-Chilpa, 2008).

En el estado de Morelos (centro de México), el bosque tropical caducifolio (BTC) (Rzedowski & Huerta, 1978), es el ecosistema con mayor distribución, constituyendo una fuente amplia de recursos maderables y no maderables. También es considerado uno de los ecosistemas con mayor diversidad de especies, se calcula que alberga cerca de 6,000 especies de plantas vasculares, es decir un quinto de la flora del país (Ceballos & García, 1995); además, el 40% de las especies de plantas que contiene son endémicas de México (Trejo & Dirzo, 2002). A pesar de ser el bosque más extenso en Morelos, se encuentra sometido a presiones como el cambio de uso de suelo, se ha calculado en algunas zonas que la tasa de deforestación anual es de 0.13% y está crónicamente fragmentados (Sotelo-Caro, Chichia-González, Sorani, & Flores-Palacios , 2015). En la zona centro de Morelos, los fragmentos de BTC están sujetos a la presencia del ganado y extracción de NTFP lo que hace que bosques con disturbio sigan así, y algunos fragmentos de bosque maduro se estén convirtiendo en bosques perturbados (Sotelo-Caro, Valencia-Diaz, Infante-Mata, Castillo-Campos, & Flores-Palacios, 2023).

En el estado de Morelos se han registrado 3,686 especies de plantas vasculares (Bonilla Barbosa & Villaseñor Ríos , 2003). De acuerdo con una revisión que abarca el periodo de 1979 a 2001, se reporta la existencia de 608 especies útiles, pertenecientes a 128 familias y 400 géneros, las cuales

presentan algún tipo de manejo tradicional (Monroy-Ortiz & Monroy, 2004). En conjunto, estas especies útiles representan aproximadamente el 16.5% de la flora del estado. El BTC es un ecosistema muy heterogéneo (Trejo & Dirzo, 2002), lo que hace imposible generalizar con respecto al uso de sus recursos, así que a pesar de los estudios previos son necesarios más. Especialmente, estudios que cubran comunidades humanas diferentes y zonas de BTC no estudiadas, y que ayuden a entender las presiones por disturbio antropogénico crónico a que están sujetos los NTFP del BTC. Por ejemplo, documentar como diferentes poblaciones humanas valoran las plantas de manera distinta por su cultura (i.e., reflejada en su lengua), historia y entorno ecológico y si esto influye en la forma en que perciben, usan (e.g., comercializan) y otorgan significado al entorno natural. Según Maffi (2005), la diversidad biocultural se basa en la interrelación entre la diversidad biológica, lingüística y cultural, de modo que las comunidades con distintas lenguas y tradiciones desarrollan percepciones y valoraciones diferenciadas sobre las plantas. Cuando se comparan los usos de la flora en diferentes culturas y en contextos específicos, se plantea un patrón global de conocimiento humano, esto puede estar vinculado a la transferencia cultural de conocimientos a través del tiempo y del espacio (Moerman, Pemberton, Kiefer,, & Berlin, 1999)

La comercialización de plantas extraídas de los ecosistemas mexicanos tiene raíces profundas en la historia socioecológica del país, estrechamente vinculada al conocimiento tradicional y al bienestar humano (Bye R. A., 1983). En las últimas décadas, los estudios etnobotánicos y etnoecológicos han documentado de manera sistemática la riqueza de especies utilizadas con fines medicinales y su importancia en economías locales. De acuerdo a Lucia y colaboradores (2021), en regiones como Oaxaca, se han registrado centenares de especies silvestres que aún se recolectan de bosques templados y zonas montañosas, manteniendo su valor cultural y comercial. El aprovechamiento de productos forestales no maderables (NTFPs) ha impulsado transformaciones en las prácticas de uso y manejo tradicional. Investigaciones recientes realizadas en comunidades nahuas por Miranda-Gamboa, M. A. (2024) muestran que la recolección, tolerancia, protección y propagación de especies dependen tanto de su disponibilidad ecológica como de su relevancia cultural. Sin embargo, la intensificación del aprovechamiento también ha generado impactos negativos. En el caso de los agaves silvestres empleados en la producción de mezcal, se han observado declives poblacionales significativos, lo que ha motivado estrategias de manejo sustentable y reproducción *ex situ* (Delgado-Lemus, Casas, & Téllez, 2014).

Alducin-Martínes (2023), advierten que el riesgo de pérdida de diversidad en el género *Agave* varía entre especies, dependiendo de la presión extractiva y del avance de los monocultivos. En conjunto, estos antecedentes muestran que la creciente demanda comercial puede impulsar tanto acciones de conservación (como el establecimiento de bancos de semillas y programas comunitarios) como procesos de degradación ambiental, si no se implementan medidas de manejo adecuadas. A pesar del aumento de plantas cultivadas o provenientes de ambientes antropizados, muchas especies de bosques y áreas silvestres continúan siendo extraídas y comercializadas, sobre todo para usos medicinales y rituales (Lucía, Barrera-Ramos, Bernal-Ramírez, Bravo-Avilez, & Rendón-Aguilar, 2021). La presente investigación, tiene el objetivo de identificar las especies provenientes del bosque tropical caducifolio de tres localidades del estado de Morelos (Xoxocotla, Puente de Ixtla y Jojutla) que son extraídas con fines de comercialización, analizando sus principales usos y patrones culturales de aprovechamiento, así como la similitud florística ponderada por su valor cultural y las diferencias en la composición de especies entre las poblaciones estudiadas.

En este trabajo las poblaciones humanas que se estudiaron difieren en su proporción de hablantes de náhuatl, además de que Xoxocotla, es una población rural, Puente de Ixtla, es una comunidad semirrural, mientras que Jojutla es una comunidad urbana (la tercer más grande del estado de Morelos). La hipótesis que se propone es que la diversidad de plantas utilizadas seguirá un gradiente descendiente desde la población con mayor proporción de población indígena hasta aquella con mayor proporción de población mestiza, además de que la composición de plantas cambiará y el valor de importancia cultural que estas tienen entre las diferentes poblaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en tres municipios del sur de Morelos: Jojutla de Juárez (57,682 habitantes; 0.43% de hablantes de náhuatl), Puente de Ixtla (40,018 habitantes; 0.42%) y Xoxocotla (27,805 habitantes; 8.35%) (Reyes Zepeda, 2022). Mientras que Jojutla y Puente de Ixtla presentan población mayoritariamente mestiza, Xoxocotla se distingue por su proporción significativamente mayor de población indígena.

Xoxocotla fue decretado como municipio indígena el primero de enero del 2019. Es considerado rural porque predominan actividades primarias como la agricultura, ganadería, y los servicios públicos son limitados (agua potable, drenaje, energía eléctrica, transporte, educación, salud, etc.). Además de tener una fuerte presencia de prácticas tradicionales y conocimiento local. Puente de Ixtla es un municipio periurbano que combinan rasgos rurales y urbanos, donde la población trabaja aspectos ganaderos y agrícolas, así como en actividades comerciales o de servicios. Jojutla tiene una mayor densidad poblacional (más de 2,500 habitantes, según el INEGI), con infraestructura y servicios públicos más desarrollados, y donde predominan las actividades terciarias (comercio, servicios, transporte, educación, administración, etc.). El tipo de vegetación predominante de los tres municipios es el BTC, la temperatura anual de la zona de estudio es de 28^0 C y su periodo de lluvia es de junio a septiembre.

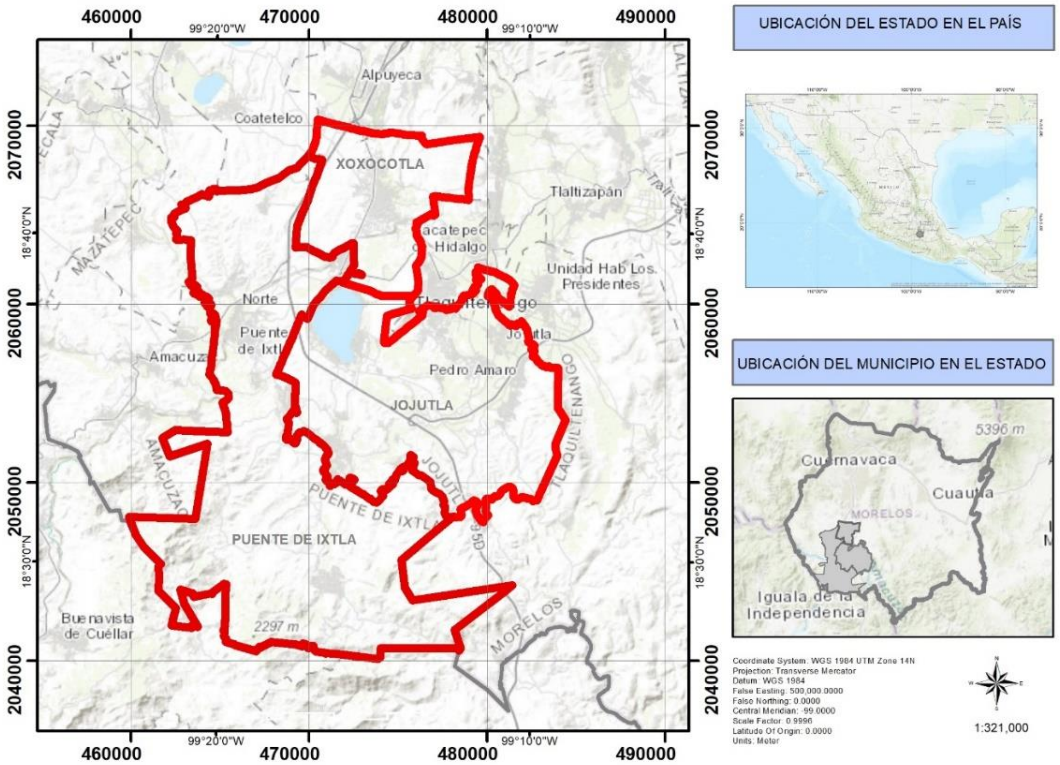


Figura 1. Zona de estudio, incluye tres municipios del sur del estado de Morelos (Centro de México), donde la vegetación primaria dominante es bosque tropical caducifolio. Dos de los municipios tienen una población mayormente mestiza, y uno indígena (Xoxocotla). Xoxocotla es un municipio rural, Puente de Ixtla semirrural y Jojutla urbano.

Figure 1. Study area**,** encompassing three municipalities located in the southern region of the state of Morelos (Central Mexico), where the dominant primary vegetation is tropical dry forest. Two of the municipalities have predominantly mestizo populations, while one (Xoxocotla) is primarily Indigenous. Xoxocotla is a rural municipality, Puente de Ixtla is semi-rural, and Jojutla is urban.

Trabajo de campo

El trabajo de campo se llevó a cabo entre diciembre de 2022 y diciembre de 2023. Durante este periodo se realizaron visitas mensuales al mercado y/o al tianguis más grande de cada municipio, ubicado generalmente en la cabecera municipal, así como al tianguis más grande de cada localidad. Las visitas tenían la finalidad de observar las especies extraídas del BTC y comercializadas; realizar entrevistas abiertas a los comerciantes y a los compradores.

En México, el tianguis es un mercado tradicional de origen prehispánico, que se establece en días específicos y ofrece una amplia variedad de productos, desde alimentos hasta artesanías, fomentando la interacción social y económica dentro de la comunidad (Toledo & Barrera-Bassols, 2009). Por su parte, el mercado se entiende como un espacio organizado, permanente o semifijo, donde se lleva a cabo la compra y venta de bienes y servicios, regulado por normas comerciales y sanitarias, y con un funcionamiento más formal en comparación con los tianguis (Toledo & Barrera-Bassols, 2009). Ambos espacios cumplen funciones económicas, culturales y sociales, siendo esenciales para la dinámica local.

En el caso de los tianguis, los de Puente de Ixtla y Jojutla no se ubican en la cabecera municipal, sino en comunidades aledañas, específicamente en San José Vista Hermosa y Tehuixtla, respectivamente, ambos se realizan el día lunes. Por su parte, el tianguis de Xoxocotla, sí se realiza en la cabecera municipal el domingo. Estas visitas permitieron observar las plantas comercializadas, muchas de ellas procedentes del BTC, durante todo el año.

En cuanto a los mercados, Jojutla y Puente de Ixtla cuentan con un mercado municipal formal, mientras que Xoxocotla, al ser un municipio indígena de reciente creación (2019), no dispone de uno. Dentro de los mercados y tianguis de estas comunidades se identificaron tres tipos de puestos:

1. Puestos fijos (permanentes): cuentan con un espacio designado por el administrador del mercado.
2. Puestos semifijos (temporales): no son constantes en los días de mercado y aún no tienen un permiso formal de establecimiento.
3. Puestos ambulantes: ejercen el comercio sin un lugar asignado, desplazándose por todo el mercado para ofrecer sus productos.

Estos diferentes tipos de puestos reflejan la diversidad de organización y regulación dentro de los espacios comerciales, así como la dinámica económica y cultural de cada comunidad.

Entrevista abierta

En el trabajo de campo se realizaron entrevistas abiertas (Corbetta, 2003) a los comerciantes de plantas y a compradores, en primer lugar, se buscó a los comerciantes de puestos fijos (hierberías y fruterías). Después a los comerciantes ambulantes o de puestos semifijos, quienes suelen ofrecer productos vegetales de temporada y por último a compradores. Se realizaron 36 entrevistas, doce por municipio (una por mes en cada municipio). En cada entrevista se registraron los siguientes datos: sexo del vendedor, tiempo de comercialización o meses de consumo de la planta, nombre común de la especie, fecha de recolección y método de obtención, cantidad vendida y meses de mayor venta, parte utilizada y uso asignado. Cuando fue posible, también se documentó la localidad de procedencia de cada especie, así como la percepción del informante sobre la distribución de las plantas en el campo (si son más abundantes, iguales o menores que antes) y la proximidad para su obtención. Con esta información se calculó el Índice de Valor Cultural de cada especie (Tabla 1). Cuando fue necesario se compraron las plantas para corroborar la identidad de la especie y/o facilitar el dialogo entre entrevistado y entrevistador.

Trabajo de gabinete

Para la determinación taxonómica de las especies obtenidas mediante el método de compra se consultó el Herbario HUMO de la Universidad Autónoma de Morelos y se consultaron a diversos especialistas en botánica con amplia experiencia en la zona. También se consultaron las bases de datos en línea del Herbario Nacional del Instituto Nacional de Biología de la UNAM (MEXU), del Jardín Botánico de Missouri, y la Biblioteca de Medicina Tradicional Mexicana, para descartar todas las especies que no pertenecen al BTC.

Una vez identificadas las especies se realizó la búsqueda de los estatus en que puedan encontrarse en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.
Se realizó un análisis de la información obtenida en las entrevistas, utilizando una base de datos de Microsoft Excel®, donde se asentó la información para obtener el índice de valor cultural por municipio, aplicando la fórmula propuesta por López-Gutierrez, Pérez-Escandon, & Villavicencio-Nieto, 2014 (Tabla 1). El índice de valor cultural (IVC) resulta esencial porque permite cuantificar de manera integrada la relevancia que las comunidades locales otorgan a las plantas que utilizan. Este índice combina la frecuencia de mención, la diversidad de usos y el consenso cultural, ofreciendo una visión más completa de la relación entre la sociedad y su entorno vegetal. (Caballero, 2018). En la tabla 1 se observan los indicadores formulados.

Tabla 1. Indicadores y formula para determinar el índice de valor cultural (IVC)
Table 1. Indicators and formula for determining the cultural value index (CVI)

Indicador	Valores
Número de mercados o tianguis donde es comercializada la especie (M):	Tantos como sean muestreados
Frecuencias de uso en el año (FU):	1= una vez al año, 2= más de dos veces al año, 3= una vez al mes, 4=una vez por semana, 5= más de una vez por semana
Numero de usos reportados (UN):	Tantos como sean reportados
Disponibilidad durante el año (D):	1= temporada, 2= todo el año
Estructura vegetal usada (EVU):	1= Vegetativa, 2= Reproductiva, 3= completa
Número de estructuras utilizadas (NE):	Tantas como sean reportadas
Forma de reunión (FR):	1=ocasional (no es el objetivo de la colecta), 2= exclusiva (es el objetivo de la colecta)
Comercialización (C):	1=no existe, 2= si existe
*IVC= M*FU*NU* D*EVU*NE*FR*C/1000*	

Análisis de datos
Para probar si la composición de plantas comercializadas cambia entre los poblados, se realizaron dos análisis de escalamiento multidimensional (NMDS) (Gauch, 1982; Johnson, 2002). En el primero, se usó una matriz de similitudes pareadas entre los poblados con el índice de Jaccard y en el segundo con el índice de similitud de Morisita-Horn (Sotelo-Caro, Valencia-Diaz, Infante-Mata, Castillo-Campos, & Flores-Palacios, 2023). Con el índice de Jaccard, se miden las similitudes basadas en las presencias/ausencias de las especies y podemos medir si la oferta de plantas comercializadas difiere únicamente por la identidad de las plantas que se comercian, quitando el peso de las preferencias culturales. Éste índice toma valores de 1 si entre dos mercados se ofertan exactamente las mismas especies. En cambio, el índice de Morisita-Horn es cuantitativo y toma valores de 1 cuando se ofertan las mismas especies y su valor cultural es el mismo, o cercano a 1 cuando las especies de mayor valor cultural son las mimas entre dos poblados, aun cuando difieran en la presencia de algunas. De esta forma, el índice de Morisita-Horn basado en el índice de valor cultural es una métrica de la similitud de la oferta de plantas comercializadas ponderada por su valor cultural. Una vez realizados los análisis de NMDS, se revisaron las coordenadas de los poblados y de las especies en las dimensiones de cada ordenamiento y se graficó. Utilizando las coordenadas de las especies, éstas se agruparon, ya que tenían las mismas coordenadas (ver Tabla 4 en material complementario). Al revisar las gráficas

se observó qué grupos de especies se asociaban por su cercanía con los poblados, como se hace usualmente en estos análisis (Gauch, 1982; Johnson & Wichern, 2002). Todos los análisis fueron realizados en r 4.2.1 (Oksanen, J.; Blanchet, F. G.; Friendly, M.; Kindt, R.; Legendre, P.; McGlinn, D.; Minchin, P. R.; O'Hara, R. B.; Simpson, G. L.; Solymos, P.; Stevens, M. H. H.; Szoecs, E.; Wagner, H., 2022),con las bibliotecas ggplot2 (Wickham, 2016) ggVennDiagram (Gao, C. "Brahea dulciscopal",, y otros, 2024).

RESULTADOS

Se registraron un total de 56 especies de plantas comercializadas (Tabla 2), todas provenientes del BTC, distribuidas en 31 familias y 49 géneros. Las familias más representativas fueron Fabaceae, con 11 especies, y Asteraceae, con 10 especies, mientras que las restantes familias aportaron menos de cinco especies cada una. En cuanto a la distribución por municipios, Puente de Ixtla presentó la mayor diversidad de especies comercializadas (45), seguido de Xoxocotla (38) y Jojutla (31).

La entrevista se aplicó a 36 personas de las cuales 23 son mujeres (63 % de la muestra). Su rango de edad va desde los 17 a los 74 años. Los hombres en tanto suman 13 y su edad va de los 32 a los 60 años. La primera pregunta que se realizo fue: ¿Estas plantas las trae usted del campo o las compra? A partir de sus respuestas se separaron las plantas que ellos compran en otros mercados y las traen a comercializar a la zona de estudio (caléndula, manzanilla, lavanda, etc.) y las que ellos obtienen directamente del campo de los municipios estudiados. Una vez ubicadas las plantas de la zona se realizó la siguiente pregunta: ¿Qué plantas son las que más vende durante todo el año y para que la usan? A partir sus respuestas, se encontró que la familia con más especies útiles es Fabaceae (11) y Asteraceae (10). En cuanto al uso principal, la mayoría de las especies se comercializaron con fines medicinales (57%)**,** seguidas de las comestibles (18%)**,** y en menor proporción las de uso ornamental, ritual o múltiple. Respecto a la pregunta: ¿Qué parte de la planta venden más? La parte más usada son las hojas (22), seguida por la corteza (12), en tercer lugar, toda la planta y frutos (11), tallos (10), mientras que otras estructuras (semilla, raíz) fueron extraídas de menos de siete especies. La forma de comercialización permitió identificar tres categorías principales que nos llevó a la siguiente pregunta: ¿Qué plantas son las que vende vivas, frescas o deshidratadas? a lo que respondieron reiteradamente que como planta viva la biznaga es la que más se vende seguida por los mayitos (*Zephyranthes fosteri* Traub) y el cañaveral (*Cyrtopodium macrobulbon*), ambas especies ornamentales y a veces con uso medicinal. Como planta fresca se comercializa la flor de colorín, la ciruela para salsa, el bonete, guaje y pápalo; todas con primer uso comestible y algunas consideradas simultáneamente como medicinales. Las deshidratas suelen ser comercializadas como plantas medicinales; como la doradilla (*Selaginella lepidophylla*), el grangel (*Randia echinocarpa*), cuatecomate (*Crescentia alata*), corteza de panicua (*Cochlospermum vitifolium*), corteza de cuachalalate (*Amphipterygium adstringens*). A partir de estos datos y los meses de venta se observó que las especies provenientes del BTC se comercializaron durante todo el año; sin embargo, el mayor número de ventas se registró entre abril y octubre, coincidiendo con la época de foliación y con festividades culturales que involucran el uso de especies como pericón (*Tagetes lucida*), hoja de palma *(Brahea dulcis*), copal (*Bursera copallifera*) y flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*). Durante este periodo, los comerciantes aprovechan la disponibilidad de especies frescas o las colectan para deshidratarlas y ofrecerlas posteriormente.

La mayor parte de las especies (43%) aparecieron en los tres poblados (Figura 2) y pocas son compartidas entre pares de poblados o únicamente encontradas en uno de los poblados, con la excepción de Puente de Ixtla, en donde encontramos 13 especies que no se ofertaron en los otros poblados (Figura 2). Las similitudes basadas en el índice de Jaccard fueron entre un 22.2% y un 30.4% más bajas que las calculadas con el índice de Morisita-Horn (Tabla 3), indicando que la diversidad de plantas que se ofertan entre poblados se diferencia por la identidad de las especies, pero se homogeniza por el valor cultural de las mismas.

Tabla 2. Lista de especies, nombre común e índice de valor cultural de las especies encontradas en los mercados de Jojutla (1% de hablantes de lengua indígena), Puente de Ixtla (Puente, 0.58%), y Xoxocotla (8.35%), Morelos, México. La clave es el nombre corto que se usa para cada especie en la Figura 3. Las especies están ordenadas alfabéticamente por familia, género y especie. Los usos están representados por letras (M=Medicinal, O=Ornamental, C=Comestible, A=Artesanal, CE=Ceremonial

Table 2. List of species, common names, and cultural value index of the species found in the markets of Jojutla (1% of Indigenous language speakers), Puente de Ixtla (Puente, 0.58%), and Xoxocotla (8.35%), Morelos, Mexico. The key refers to the short name used for each species in Figure 3. Species are arranged alphabetically by family, genus, and species. Uses are represented by letters (M = Medicinal, O = Ornamental, C = Edible, A = Handicraft, CE = Ceremonial)

Especie	Nombre común	Usos	Valor cultural			Clave
			Jojutla (31 especies)	Puente de Ixtla (45 especies)	Xoxocotla (38 especies)	
ACANTHACEAE						
Ruellia nudiflora (Engel. & Gray) Urban	Té negro	M, O			0.32	g_7
AMARANTHACEAE						
Alternanthera repens (L.) J.F. Gmel.	Tianguis	M	0.36			g_3
AMARILLIDACEAE						
*Zephhyranthes foster*i Traub	Flor de mayo	M, O		0.12		g_1
ANACARDIACEAE						
Amphipterygium adstringens (Schltdl.) Standl	Cuachalalate	M	0.16	0.16	0.16	g_4
Spondias purpurea L.	Ciruela de cerro	C, M	0.96	0.96	3.84	Spo_pur
ANNONACEAE						
Annona squamosa L.	Anona	C, M	0.24			g_3
ARECACEAE						
Brahea dulcis (Kunth) Mart.	Escoba de palma	CE	0.64	0.32	0.64	Bra_dul
ASTERACEAE						
*Bidens pilos*a L.	Aceitillo	M		0.12	0.12	g_8
Calea zacatechichi Schltdl	Prodigiosa	M	0.96	0.96	0.96	g_4
Heterotheca inuloides Cass.	Árnica	M	1.44	1.44	1.44	g_4
Porophyllum ruderale (Jacq.)	Pápalo	C, M	0.16	0.16	0.32	g_5
Schkuhria pinnata (Lam.) Kuntze ex Thell.	Escoba de anís	A, M	3.84	7.68	7.68	Sch_pin
Tagetes erecta L.	Cempasúchil o flor de muerto	CE,O,M		0.96		g_1
Tagetes filifolia Lag.	Anís de cerro	M		0.96		g_1
Tagetes lucida Cav.	Pericón	CE.,M	1.28	1.28	1.28	g_4
Tagetes micrantha Cav	Escoba roja	M	2.4		4.8	Tag_mic
Verbesina crocata Cav. Lees	Capitaneja	M	1.44	1.44		g_2
BIGNONIACEAE						
Crescentia alata Kunth	Bola de cirián	M	1.28	1.28	2.56	g_5
Tecoma stans (L.) Juss. ex Kunth	Tronadora / lluvia de oro	O, M			0.6	g_7
BIXACEAE						

Especie	Nombre común	Usos	Valor cultural			Clave
			Jojutla (31 especies)	Puente de Ixtla (45 especies)	Xoxocotla (38 especies)	
Cochlospermum vitifolium (Willd.) Spreng.	Corteza de panicua	O, M	0.16	0.16	0.16	g_4
BORAGINACEAE						
Ehretia tinifolia L.	Palo prieto	O, M	2.4	2.4		g_2
BURSERACEAE						
Bursera copallifera (DC.) Bullock	Copal	CE, M	0.64	0.64	0.64	g_4
Bursera grandifolia (Schltdl.) Engl	Palo mulato	M		0.04		g_1
CACTACEAE						
Coryphantha elephantidens (Lem.) Lem.	Biznaga	O, M	4.8	4.8	4.8	g_4
CARICACEAE						
Jacaratia mexicana A. DC.	Bonete	C, M			0.32	g_7
CELASTRACEAE						
Semialarium mexicanum (Miers) Mennega	Cancerina	M		0.04		g_1
CUPRESSACEAE						
Taxodium mucronatum Ten.	Ahuehuete	M	0.24		0.24	Tax_muc
EUPHORBIACEAE						
Euphorbia tanquahuete Sessé & Moc.	(Resina) pega hueso	M		0.08		g_1
FABACEAE						
Crotalaria sp.	Chipile	C, M			0.16	g_7
Erythrina americana Mill.	Chopantle	M, O	0.64	0.64	0.64	g_4
Eysenhardtia polystachya (Ortega) Sarg.	Taray	M		0.16	0.32	g_6
Haematoxylum brasiletto H. Karst.	Palo de brasil	M	0.16	0.16	0.32	g_5
Leucaena esculenta (Moc. & Sessé ex DC.) Benth.	Guaje rojo	C, M	0.96	0.96	1.92	g_5
Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit	Guaje verde	C, M	0.08	0.08	0.16	g_5
Leucaena macrophylla Benth.	Retoño de guaje	C		0.02	0.04	g_6
Lysiloma acapulcense (Kunth) Benth.	Tepehuaje	M		0.04	0.04	g_8
Lysiloma divaricatum Hook. & Jackson	Garabato	M			0.08	g_7
Mimosa benthamii J.F.macbr.	Tecolhuixtle	M		0.08		g_1
Pithecellobium dulce (Roxb.) Benth	Guamúchil	C, M		1.44	2.88	g_6
LORANTHACEAE						
Psittacanthus calyculatus (DC.) G. Don	Injerto de huizache	M	0.16	0.16	0.16	g_4

Especie	Nombre común	Usos	Valor cultural			Clave
			Jojutla (31 especies)	Puente de Ixtla (45 especies)	Xoxocotla (38 especies)	
LYTHRACEAE						
Cuphea aequipetala Cav	Hierba del cáncer	M			0.6	g_7
MALPIGHIACEAE						
Byrsonima crassifolia (L.) Kunth	Nanche	C, M, O	3.6	3.6	7.2	g_5
Heteropterys brachiata (L.) Kunth	Bejuco de margarita	M		0.08		g_1
MALVACEAE						
Ceiba aesculifolia (Kunth) Britten & Baker f.	Pochote	O, M		0.12		g_1
Guazuma ulmifolia Lam.	Fruto de cuahuilote	M	0.16	0.16	0.16	g_4
MELIACEAE						
Swietenia humilis Zucc	Semilla de zopilote	M, O	0.16	0.16		g_2
ONAGRACEAE						
Oenothera rosea L'Hér. ex Aiton.	Hierba del golpe	M			0.36	g_7
OPILIACEAE						
Agonandra racemosa (DC.) Standl	Pega hueso / suelda con suelda	M	0.08	0.08	0.08	g_4
ORCHIDACEAE						
Cyrtopodium macrobulbon (Lex.) G.A.Romero & Carnevali	Cañaveral	M, O		0.6		g_1
POLYGONACEAE						
Antigonon leptopus Hook. & Arn.	Fulmina	O M		0.6		g_1
RUBIACEAE						
Randia echinocarpa DC.	Bola de grangel (cabeza de chino)	M	0.32	0.32	0.64	g_5
Randia thurberi S. Watson	Bola de grangel		0.16	0.16	0.32	g_5
SAPINDACEAE		M				
Serjania triquetra Radlk	Palo de tres costillas	M	0.08	0.08	0.16	g_5
SCROPHULARIACEAE						
Buddleja americana L.	Tepozán	M		0.04		g_1
SELAGINELLACEAE						
Selaginella lepidophylla (Hook. & Grev.) Spring	Doradilla/flor de peña	M	2.4	2.4	4.8	g_5
SOLANACEAE						
Physalis acuminata Greenm.	Tomate de campo	C		0.16		g_1

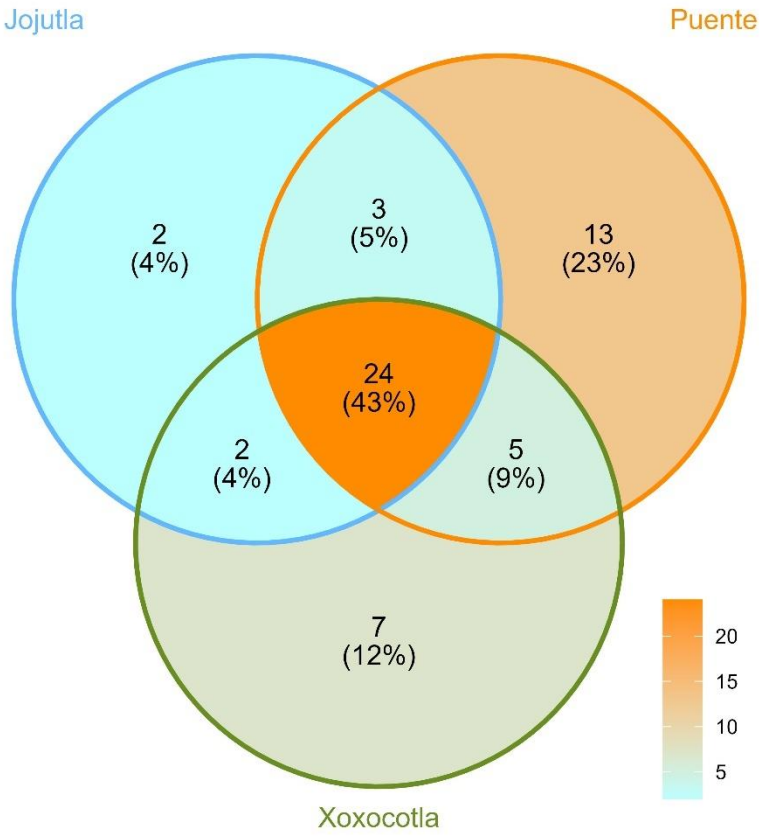


Figura 2. Número y porcentaje del total general (56 especies) de especies encontradas únicamente en un poblado o compartidas entre tres poblados de Morelos que difieren en la proporción de hablantes de lengua indígena: Jojutla (1% de hablantes de lengua indígena), Puente de Ixtla (Puente, 0.58%) y Xoxocotla (8.35%).
Figure 2. Number and percentage of the total (56 species) of plant species found exclusively in a single locality or shared among three localities in Morelos that differ in the proportion of Indigenous language speakers: Jojutla (1% of Indigenous language speakers), Puente de Ixtla (Puente, 0.58%), and Xoxocotla (8.35%).

Tabla 3. Similitudes pareadas en la diversidad de plantas comercializadas en los mercados de los poblados de Jojutla (1% de hablantes de lengua indígena), Puente de Ixtla (Puente, 0.58%) y Xoxocotla (8.35%), Morelos. Arriba de la diagonal se presentan los valores del índice de similitud de Jaccard y debajo de la diagonal los del índice de Morisita-Horn.
Table 3. Pairwise similarities in the diversity of plants sold in the markets of the towns of Jojutla (1% of indigenous language speakers), Puente de Ixtla (Puente, 0.58%), and Xoxocotla (8.35%), Morelos. Above the diagonal are the values of the Jaccard similarity index, and below the diagonal are those of the Morisita-Horn index.

Similitud	**Jojutla (31 especies)**	**Puente de Ixtla (45 especies)**	**Xoxocotla (38 especies)**
Jojutla		0.551	0.605
Puente	0.893		0.537
Xoxocotla	0.877	0.841	

Respecto al índice de valor cultural se encontró que para Xoxocotla hubo 11 especies de 38, con un valor superior a 1; estas especies con mayor valor cultural están asociadas al uso medicinal en primer lugar, y en segundo lugar al comestible. Entre estas se incluye la escoba de anís (*Tagetes filifolia*) (medicinal); nanche (*Byrsonima crassifolia*) (comestible y medicinal); Biznaga (*Coryphantha elephantidens*) (ornamental y medicinal); doradilla (*Selaginella lepidophylla*) (medicinal); ciruela *(Spondias purpurea*) (comestible y medicinal); guamúchil (*Pithecellobium dulce*) (comestible y medicinal); y bola de cirián (*Crescentia alata*) (medicinal). Para Puente de Ixtla hubo diez especies con valor cultural superior a 1, de un total de 45. La tendencia es la misma que en Xoxocotla, prevalecen las especies con uso medicinal y en segundo lugar comestible, en el siguiente orden: escoba de anís (*Tagetes filifolia*) (medicinal); biznaga (*Coryphantha elephantidens*) (ornamental y medicinal); nanche (*Byrsonima crassifolia*) (comestible y medicinal); palo prieto (*Ehretia tinifolia*) (medicinal y ornamental); doradilla (*Selaginella lepidophylla*) (medicinal); árnica (*Heterotheca inuloides*) (medicinal); y capitaneja (*Verbesina crocata)* (medicinal). En Jojutla también fueron 10 especies (de 31) las que tuvieron mayor valor cultural (>1), en primer lugar, se encuentra la biznaga (*Coryphantha elephantidens)* (ornamental y medicinal); seguida por la escoba de anís (*Tagetes filifolia)* (medicinal); el nanche (*Byrsonima crassifolia*) (comestible y medicinal); escoba roja (*Tagetes micrantha)* (medicinal); palo prieto (*Ehretia tinifolia*) (medicinal y ornamental); doradilla (*Selaginella lepidophylla*) (medicinal); y capitaneja (*Verbesina crocata)* (medicinal). Encontramos que en general la mayoría de las especies comercializadas lo fueron con fines medicinales (más de 57%), seguido de las especies comestibles (18%).

Dos dimensiones explican casi perfectamente (estrés ≈ 0) los ordenamientos de las plantas entre los mercados, tanto con la matriz del índice de similitud de Jaccard, como con la del índice de Morisita-Horn (Figura 3). Los ordenamientos reflejan la misma información que las matrices de similitud (Tabla 3) y en el ordenamiento basado en Jaccard hay mayor dispersión de los poblados que en ordenamiento basado en el índice Morista-Horn, pero en los ordenamientos es posible ver los grupos de especies que se asocian a los poblados (Figura 3), especialmente en el ordenamiento realizado con la matriz del índice de Jaccard. Al explorar las coordenadas de cada especie en las dimensiones de los ordenamientos (Tabla 4 en material complementario), se encontraron ocho grupos de especies con los mismos valores en las dimensiones.

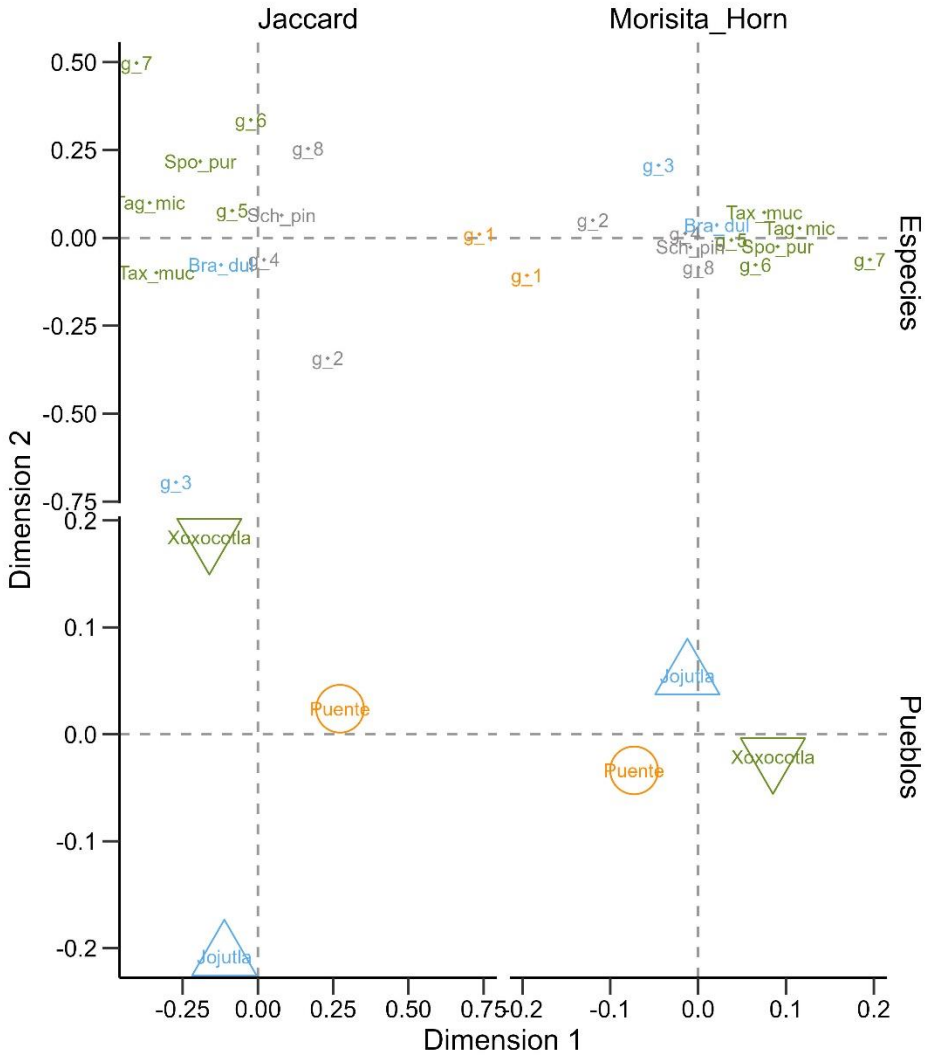


Figura 3. Ordenamientos de tres poblados y de las especies de plantas comercializadas en los mercados de Jojutla (1% de hablantes de lengua indígena), Puente de Ixtla (Puente, 0.58%) y Xoxocotla (8.35%), Morelos, México. Los ordenamientos fueron realizados con la técnica de escalamiento multidimensional basadas en las matrices de similitud de Jaccard (paneles a la izquierda) y de Morisita-Horn (paneles a la derecha). Los nombres de las especies en los paneles superiores corresponden con el Tabla 2, en el caso de especies con las mismas coordenadas, estas aparecen agrupadas (g_1 a g_8) y su identidad puede verse en la Tabla 2 o en la Tabla 4.

Figure 3. Ordinations of plant species commercialized in the markets of Jojutla (1% speakers of an Indigenous language), Puente de Ixtla (Puente, 0.58%), and Xoxocotla (8.35%), Morelos, Mexico. The ordinations were performed using non-metric multidimensional scaling (NMDS) based on Jaccard similarity matrices (panels on the left) and Morisita–Horn similarity matrices (panels on the right). The species names in the upper panels correspond to those listed in Table 2; in cases where species share identical coordinates, they are grouped (g_1 to g_8), and their identities can be found in Table 2 or Table 4.

El primer grupo de plantas está integrado por las 13 especies que únicamente aparecieron en Puente de Ixtla (Figura 2) y que están asociadas con los mercados de este poblado (Tabla 2, 4), todas estas especies tienen bajos valores en el índice de valor cultural (0.04 – 0.96), predominan las especies de uso medicinal. El grupo 2, está formado por *Ehretia tinifolia* L., *Swietenia humilis*

Zucc y *Verbesina crocata* (Cav.) Less., que son las especies que aparecen tanto en Jojutla como en Puente de Ixtla (Figura 2), con los mismos valores en el índice de valor cultural (Tabla 2) y en los ordenamientos aparecen intermedia entre estos pueblos (Figura 3).

En el grupo 3, están las dos especies que sólo fueron encontradas en Jojutla, *Alternanthera repens* (L.) J.F. Gmel. *y Annona squamosa* L. (Tablas 2, 4, Figura 2) ambas con uso medicinal, pero *Annona squamosa* también comestible. En el grupo 4, están 11 de las 24 especies que aparecieron en los mercados de los tres poblados, el valor de importancia cultural de sus integrantes [*Agonandra racemosa* (DC.) Standl, *Amphipterygium adstringens* (Schltdl.) Standl, *Bursera copallifera* (DC.) Bullock, *Calea zacatechichi* Schltdl, *Cochlospermum vitifolium* (Willd.) Spreng., *Coryphantha elephantidens* (Lem.) Lem., *Erythrina americana* Mill., *Guazuma ulmifolia* Lam., *Heterotheca inuloides* Cass., *Psittacanthus calyculatus* (DC.) G. Don y *Tagetes lucida* Cav.] es el mismo en los tres poblados (Tabla 2).

En el grupo 5 están *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth, *Crescentia alata* Kunth, *Haematoxylum brasiletto* H. Karst., *Leucaena esculenta* (Moc. & Sessé ex DC.) Benth., *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Porophyllum ruderale* (Jacq.), *Randia echinocarpa* DC., *Randia thurberi* S. Watson, *Selaginella lepidophylla* (Hook. & Grev.) Spring y *Serjania triquetra* Radlk, estas diez especies también aparecieron en los tres poblados (Tabla 2), pero tienen su mayor índice de valor cultural está en Xoxocotla y están asociadas a éste.

En los grupos 6 y 7 están especies asociadas a Xoxocotla (Tablas 2, 4). En el grupo 6, están tres de las cinco especies que se comparten entre Puente de Ixtla y Xoxocotla, pero las tres que están - *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg., *Leucaena macrophylla* Benth. y *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth – tienen su mayor índice de valor cultural en Xoxocotla. Mientras que en el grupo 7 están las siete especies que únicamente aparecieron en Xoxocotla (Tabla 2, Figura 2), entre estas predominan las especies medicinales y en segundo lugar las comestibles.

En el grupo 8, están las otras dos especies (de cinco) que aparecieron en Puente de Ixtla y en Xoxocotla, pero estas tienen el mismo valor de importancia cultural en ambos poblados (Tabla 2, Figura 2). Entre las especies que no se agruparon por sus valores en los ordenamientos, *Spondias purpurea* L., *Tagetes micrantha* Cav y *Taxodium mucronatum* quedaron asociadas a Xoxocotla (Figura 3), cabe mencionar que *Spondias purpurea*, es la especie más representativa del poblado de Xoxocotla que en náhuatl significa “Tierra de ciruelos agrios¨. Los frutos son ampliamente consumidos en distintos platillos típicos de la región y también comercializados en otros municipios. *Brahea dulcis* (Kunth) Mart., es otra especie que no se agrupo con otras, pero quedó asociada a Jojutla, esta especie se comercializa en la festividad católica de domingo de ramos (Figura 3).

Estos resultados muestran la vinculación que hay entre algunas especies y los distintos poblados, los usos y partes utilizadas; sin embargo, la extracción continua y no regulada puede reducir las poblaciones poniendo a varias especies en situaciones críticas y repercutiendo en la biodiversidad local (Singh, 1998). Se puede observar que algunas plantas son extraídas porque tienen más de un uso. En México, la NOM-059-SEMARNAT-2010 da a conocer las especies de flora y fauna silvestres que se encuentran en alguna de sus categorías de riesgo, siendo las plantas el grupo con el mayor número de especies protegidas (SEMARNAT, 2010). Entre las especies comercializadas registradas en este trabajo, únicamente *Coryphantha elephantidens*, planta con uso medicinal y ornamental, se encuentra incluida en la norma-059, en la categoría de amenazada.

DISCUSIÓN

Las distintas poblaciones humanas usan los recursos de su entorno en diferente magnitud y las valorizan de forma diferente, pero es de esperarse que en poblaciones donde se concentran actividades productivas básicas, entre mayor es la proporción de pobladores originarios también lo es el consumo de productos forestales no maderables. Nosotros encontramos soporte parcial para esta hipótesis: La diversidad de especies no sigue un gradiente descendente estrictamente cultural, pero sí se observa una relación clara entre la composición y la valoración cultural de las plantas y el componente étnico de las comunidades. Si bien Puente de Ixtla, un municipio con

mayor proporción de población mestiza, presentó el número más alto de especies comercializadas (45), seguido por Xoxocotla (38) y Jojutla (31), la composición y el valor cultural de las plantas mostraron un patrón más complejo que no depende únicamente del número de especies, sino de la relevancia cultural y del tipo de uso que cada comunidad les otorga. En Xoxocotla, donde persiste una fuerte presencia indígena, se identificaron especies con un valor cultural significativamente alto, principalmente asociadas al uso medicinal y comestible. Esto sugiere una mayor retención del conocimiento tradicional y un vínculo estrecho con los recursos locales, coincidiendo con lo reportado por Toledo y Barrera-Bassols (2006), respecto a la relación entre identidad cultural y conocimiento etnobotánico. En contraste, en Puente de Ixtla, aunque la diversidad de especies fue mayor, los valores culturales fueron menores y más homogéneos, lo que podría reflejar una pérdida o transformación del conocimiento tradicional, producto de procesos de mestizaje y urbanización.

La mayoría de las especies comercializadas en la zona de estudio tienen un uso predominantemente medicinal (57%), seguido por aquellas con valor comestible (18 %). Este patrón coincide con lo reportado por Martínez *et al.* (2021), quienes encontraron proporciones similares (60% y 20%, respectivamente), lo que sugiere una tendencia generalizada en el aprovechamiento de las plantas con fines terapéuticos en los sistemas locales de uso de recursos vegetales. Dicho predominio del uso medicinal también ha sido documentado a nivel nacional por Eguiarte, L. (2001), quien mediante un análisis bibliométrico determinó que, por cada 2.26 especies medicinales, se reporta una comestible. Sin embargo, el autor advierte que estas proporciones pueden variar en función de los patrones culturales, el acceso a los recursos y las tradiciones de manejo de las comunidades campesinas e indígenas de México, lo cual podría explicar ligeras diferencias en los porcentajes observados en el presente estudio.

En cuanto a la composición taxonómica, la familia Fabaceae presentó el mayor número de especies útiles, seguida de Asteraceae. Este resultado es consistente con lo señalado por Camargo *et al.* (2001), quienes destacan que un alto porcentaje de las especies de Fabaceae poseen atributos de importancia para el ser humano, ya sea por su valor alimenticio, medicinal o ecológico. Por su parte, Lara-Reimers *et al.* (2018), reportan que las familias con mayor demanda de utilidad directa en contextos locales son Asteraceae, Fabaceae y Lamiaceae, lo que refuerza la importancia de estos grupos en los sistemas tradicionales de uso de plantas. Estos hallazgos ponen de manifiesto que las familias Fabaceae y Asteraceae representan componentes clave de la flora útil regional, probablemente debido a su amplia distribución, diversidad morfológica y la presencia de metabolitos secundarios bioactivos que favorecen su aprovechamiento. Además, los resultados reflejan la continuidad del conocimiento tradicional asociado al uso de plantas medicinales, lo cual subraya la relevancia de documentar y conservar este patrimonio biocultural frente a los procesos de cambio social y ecológico.

Los resultados muestran una tendencia clara hacia la utilización predominante de árboles y hierbas como las principales formas de vida, aprovechadas por las comunidades locales. Este patrón coincide con lo señalado por Luna y Rendón (2008) quienes también observaron que las especies arbóreas concentran la mayor proporción de usos, seguidas por las hierbas y en menor medida los arbustos. Esta preferencia puede deberse a que los árboles y las hierbas ofrecen una amplia disponibilidad de estructuras aprovechables (hojas, corteza, frutos) y un acceso más continuo a lo largo del año, lo cual facilita su recolección y uso cotidiano.

En cuanto a las partes vegetales empleadas, las hojas resultaron ser las más utilizadas, seguidas por la corteza, los frutos, tallos y raíces. Esta tendencia concuerda con lo reportado por Zambrano-Intriago (2015) , quien documentó que las hojas son las estructuras más usadas en la preparación de remedios tradicionales. De acuerdo con Croteau *et al.* (2000) , esta preferencia tiene una base fisiológica y química, ya que las hojas concentran la mayor cantidad de metabolitos secundarios, al ser los órganos metabólicamente más activos y más expuestos a factores ambientales y biológicos, como la radiación solar y la herbivoría. Por tanto, su uso intensivo refleja tanto su eficacia terapéutica, como su disponibilidad en el entorno. La identificación de *Coryphantha elephantidens* como la única especie bajo categoría de amenaza (NOM-059-SEMARNAT-2010) evidencia que, aunque el aprovechamiento local se centra en especies comunes, existe presión sobre taxones con algún grado de riesgo. Este dato es relevante dado que la familia Cactaceae

está ampliamente representada en la NOM-059 y en los listados de la CITES (CITES, 2011) lo que refuerza la necesidad de monitorear y regular su extracción. Sin embargo, la presencia de especies intensamente recolectadas, pero no protegidas, como *Crescentia alata*, *Leucaena esculenta*, *Spondias purpurea* y *Tagetes lucida*, sugiere que las categorías de protección actuales podrían no reflejar completamente la presión real de aprovechamiento. En algunos casos, la práctica del cultivo en traspatios o el carácter ruderal de ciertas especies mitiga parcialmente su sobreexplotación, pero no elimina el riesgo si la demanda aumenta.

Finalmente, estos resultados refuerzan lo señalado por Pérez-Negrón y Casas (2007), quienes destacan que la recolección y uso de productos forestales no maderables son prácticas fundamentales en las economías locales rurales. El aprovechamiento de plantas útiles refleja una cultura y cumple no solo una función utilitaria (e.g., medicinal), sino también económica, al complementar los ingresos familiares y asegurar el acceso a recursos esenciales. En este sentido, la gestión sostenible de las especies más demandadas, junto con la promoción de su cultivo y el fortalecimiento del conocimiento tradicional, resultan estrategias clave para garantizar la conservación de la biodiversidad y el bienestar de las comunidades.

Respecto a la asociación de plantas, por sus venta en mercados y el valor cultural que tienen las especies con los municipios, Jojutla que es el municipio más urbanizado (tercera zona urbana más grande del estado) y de población mestiza, solo tuvo dos especies de venta exclusiva; Puente de Ixtla, que es un municipio mestizo pero rural, tuvo 13 especies de venta exclusiva; mientras que Xoxocotla, un municipio indígena, completamente rural, tuvo siete especies, sin embargo, al observar las especies asociadas a cada municipio vemos que Xoxocotla es el poblado con mayor proporción de indígenas y también con la mayor cantidad de plantas asociadas a él, este resultado pone de manifiesto que los pueblos originarios conservan prácticas tradicionales sobre las plantas que disponen para usos distintos. El conocimiento tradicional indígena sobre el uso de plantas se genera de una relación histórica y cotidiana con el entorno natural, lo que les permite un aprovechamiento más diverso y específico de la flora local (Toledo & Barrera-Bassols, 2009). Sanabria y Argueta (2020), mencionan que la persistencia en los usos de las plantas por las culturas indígenas influye en la conservación de los recursos naturales, pero tambien hace evidente la necesidad de proteger este conocimiento tradicional, frente a la pérdida de biodiversidad (Gómez Pompa , 1993).

Los resultados muestran una estrecha relación entre el grado de urbanización de los municipios y la conservación del conocimiento tradicional sobre las plantas útiles. En los municipios de Xoxocotla y Puente de Ixtla, donde persisten formas de vida rural e indígena, se observó una mayor diversidad de especies utilizadas y una continuidad en las prácticas tradicionales. Esto coincide con lo señalado por Bermúdez *et al.* (2005), quienes afirman que las comunidades rurales e indígenas tienden a conservar más conocimientos etnobotánicos, mientras que en áreas urbanizadas este saber se diluye por la influencia de modelos culturales y económicos modernos. En contraste, Jojutla, a pesar de su carácter urbano, mantiene ciertos patrones de uso tradicional, lo que sugiere que las prácticas etnobotánicas pueden coexistir con dinámicas urbanas siempre que se mantenga un vínculo cultural con el entorno natural.

Los tres municipios se encuentran dentro de la subcuenca del río Apatlaco, en donde existe una pérdida acelerada del BTC y la cobertura pasó de más del 70% a menos del 20% de acuerdo a lo reportado por Sotelo-Caro *et al.* (2015), y hay evidencia de un proceso de fragmentación y degradación que afecta directamente la disponibilidad de recursos vegetales. Esta situación pone en riesgo tanto la biodiversidad como la transmisión del conocimiento tradicional, ya que las especies útiles se vuelven menos accesibles para las comunidades locales. El predominio de vegetación secundaria y BTC perturbado sugiere una presión constante sobre los ecosistemas, asociada a la expansión agrícola, ganadera y urbana. El hecho de que ninguno de los vendedores mencionara prácticas de manejo o cultivo de las especies utilizadas revela una explotación basada en la disponibilidad natural del recurso, sin estrategias de conservación, ni de aprovechamiento sustentable. Este patrón extractivo, aunque tradicional, puede tener efectos negativos sobre las poblaciones silvestres, especialmente en un contexto de alta demanda y pérdida de hábitat. Barrera et al. (2006), propone que es fundamental evaluar si las prácticas locales funcionan como mecanismos de conservación o si contribuyen a la transformación del ecosistema, como advierten

Andrade y Terborgh (2005). Los resultados también refuerzan la idea de que los pueblos originarios, como el de Xoxocotla, actúan como reservorios de conocimiento y prácticas de uso vegetal, manteniendo una relación más directa y funcional con su entorno natural. Por el contrario, las poblaciones mestizas y urbanas tienden a reducir su dependencia de las plantas nativas, lo que disminuye el valor cultural asignado a estas especies. Este fenómeno podría interpretarse como una transición cultural en la que los saberes tradicionales se ven desplazados por soluciones modernas, con la consecuente pérdida de identidad biocultural.

En conjunto, los hallazgos subrayan la necesidad de integrar estrategias de conservación biológica con acciones de fortalecimiento cultural. Fomentar el manejo sustentable de especies útiles y promover programas de educación ambiental y etnobotánica en las comunidades locales podría contribuir a conservar tanto la biodiversidad del BTC como el patrimonio cultural asociado a su uso. Asimismo, se recomienda realizar estudios poblacionales de las especies más utilizadas para evaluar el impacto de la extracción y diseñar planes de manejo que garanticen su permanencia a largo plazo.

CONCLUSIONES

El presente estudio permitió comparar la diversidad y el valor cultural de las plantas comercializadas entre tres municipios con diferentes proporciones de población indígena y mestiza, mostrando patrones claros en la composición florística, los usos y la relevancia cultural de las especies. Se registraron 56 especies pertenecientes a 31 familias, destacando Fabaceae y Asteraceae como las más diversas. La mayor diversidad se presentó en Puente de Ixtla, seguida de Xoxocotla y Jojutla, evidenciando un gradiente de diversidad asociado a las características socioculturales de cada localidad.

Las poblaciones con mayor presencia indígena mantienen un conocimiento más profundo y selectivo sobre especies nativas; mientras que las que tienen mayor proporción de población mestiza, predomina una diversificación comercial de especies, con menor peso cultural. Este patrón resalta la importancia de la identidad cultural en la conservación del conocimiento tradicional y en la gestión sustentable de los recursos vegetales del bosque tropical caducifolio.

Xoxocotla es el poblado con mayor proporción de indigenas y también con la mayor cantidad de plantas asociadas a él, mientres que puente de Ixtla y Jojutla con prevalencia mestiza y con infraestructura más moderna, y la influencia de modelos urbanos, tienen un menor número de especies asociadas. Así que se puede concluir que los pueblos originarios sí hacen un mayor uso de sus recursos vegetales y esto se ve reflejado en la oferta de plantas en los mercados.

Las especies con mayor valor cultural se asociaron principalmente a usos medicinales y comestibles, reafirmando la centralidad de la herbolaria tradicional en la economía local. Los índices de similitud reflejaron una diferenciación en la identidad florística entre los municipios, aunque el valor cultural tendió a homogeneizarse, lo que sugiere la persistencia de conocimientos compartidos y prácticas tradicionales similares.

Desde una perspectiva científica, los resultados aportan evidencia sobre cómo la estructura cultural y ecológica de las comunidades influye en la selección y valorización de especies vegetales, contribuyendo a la comprensión de la etnobotánica regional y al manejo sustentable del bosque tropical caducifolio. En el ámbito práctico, estos hallazgos pueden orientar estrategias locales de manejo y conservación, especialmente para especies amenazadas como *Coryphantha elephantidens*, promoviendo su aprovechamiento regulado y la reproducción controlada mediante viveros o programas comunitarios. Entre las limitaciones del estudio se reconoce el tamaño de la muestra (36 encuestas) y la restricción temporal a un solo año, lo que sugiere que futuras investigaciones en la zona de estudio deberían ampliar el monitoreo temporal y analizar aspectos económicos y ecológicos de la extracción, para saber si se trata de una extracción continua de las especies aquí reportadas.

Esta investigación es una contribución a los estudios florísticos del centro de México y una herramienta base para futuras investigaciones enfocadas en la comercialización de especies del BTC, así como en las áreas de fitoquímica, nutrición y ecología.

Este tipo de estudios permite conocer la importancia social, cultural y económica, de los recursos existentes y comercializados del BTC en el centro de México, esta información permitirá generar esquemas de gestión sustentable orientado a la conservación de los bosques y al uso sustentable de los recursos.

Material complementario

Tabla 4. Coordenadas en las dimensiones uno y dos de dos análisis de escalamiento multidimensional (Jaccard, Morisita-Horn), de los poblados y las especies de plantas encontradas en los mercados de Jojutla, Puente de Ixtla, y Xoxocotla, Morelos, México. La clave es el nombre corto que se usa para cada especie en Tabla 2 o el nombre del poblado. En el caso de las especies indica el grupo al cual pertenece por tener las mismas coordenadas con otras especies. Las especies y los poblados están ordenados por su valor en la dimensión 1 del análisis de Morisita-Horn.
Table 4. Coordinates in dimensions one and two from two multidimensional scaling analyses (Jaccard, Morisita-Horn) of the towns and plant species found in the markets of Jojutla, Puente de Ixtla, and Xoxocotla, Morelos, Mexico. The key is the short name used for each species in Table 2 or the name of the town. In the case of species, it indicates the group to which it belongs by having the same coordinates as other species. The species and towns are ordered by their value in dimension 1 of the Morisita-Horn analysis.

	Jaccard		Morisita-Horn		
Poblado o Especie	**1**	**2**	**1**	**2**	**Clave**
Puente	0.273	0.024	-0.073	-0.034	Puente
Jojutla	-0.111	-0.208	-0.012	0.055	Jojutla
Xoxocotla	-0.161	0.184	0.085	-0.021	Xoxocotla
Ant_lep	0.736	0.010	-0.195	-0.107	g_1
Bud_ame	0.736	0.010	-0.195	-0.107	g_1
Bur_gra	0.736	0.010	-0.195	-0.107	g_1
Cei_aes	0.736	0.010	-0.195	-0.107	g_1
Cyr_mac	0.736	0.010	-0.195	-0.107	g_1
Eup_tan	0.736	0.010	-0.195	-0.107	g_1
Het_bra	0.736	0.010	-0.195	-0.107	g_1
Mim_ben	0.736	0.010	-0.195	-0.107	g_1
Phy_acu	0.736	0.010	-0.195	-0.107	g_1
Sem_mex	0.736	0.010	-0.195	-0.107	g_1
Tag_ere	0.736	0.010	-0.195	-0.107	g_1
Tag_fil	0.736	0.010	-0.195	-0.107	g_1
Zep_fos	0.736	0.010	-0.195	-0.107	g_1
Ehr_tin	0.232	-0.342	-0.120	0.050	g_2
Swi_hum	0.232	-0.342	-0.120	0.050	g_2
Ver_cro	0.232	-0.342	-0.120	0.050	g_2
Alt_rep	-0.272	-0.695	-0.045	0.207	g_3
Ann_squ	-0.272	-0.695	-0.045	0.207	g_3
Ago_rac	0.020	-0.062	-0.015	0.013	g_4

	Jaccard		Morisita-Horn		
Poblado o Especie	1	2	1	2	Clave
Amp_ads	0.020	-0.062	-0.015	0.013	g_4
Bur_cop	0.020	-0.062	-0.015	0.013	g_4
Cal_zac	0.020	-0.062	-0.015	0.013	g_4
Coc_vit	0.020	-0.062	-0.015	0.013	g_4
Cor_ele	0.020	-0.062	-0.015	0.013	g_4
Ery_ame	0.020	-0.062	-0.015	0.013	g_4
Gua_ulm	0.020	-0.062	-0.015	0.013	g_4
Het_inu	0.020	-0.062	-0.015	0.013	g_4
Psi_cal	0.020	-0.062	-0.015	0.013	g_4
Tag_luc	0.020	-0.062	-0.015	0.013	g_4
Sch_pin	0.079	0.064	-0.009	-0.026	Sch_pin
Bid_pil	0.167	0.254	0.000	-0.084	g_8
Lys_aca	0.167	0.254	0.000	-0.084	g_8
Bra_dul	-0.123	-0.077	0.021	0.037	Bra_dul
Byr_cra	-0.086	0.078	0.038	-0.006	g_5
Cre_ala	-0.086	0.078	0.038	-0.006	g_5
Hae_bra	-0.086	0.078	0.038	-0.006	g_5
Leu_esc	-0.086	0.078	0.038	-0.006	g_5
Leu_leu	-0.086	0.078	0.038	-0.006	g_5
Por_rud	-0.086	0.078	0.038	-0.006	g_5
Ran_ech	-0.086	0.078	0.038	-0.006	g_5
Ran_thu	-0.086	0.078	0.038	-0.006	g_5
Sel_lep	-0.086	0.078	0.038	-0.006	g_5
Ser_tri	-0.086	0.078	0.038	-0.006	g_5
Eys_pol	-0.023	0.335	0.065	-0.077	g_6
Leu_mac	-0.023	0.335	0.065	-0.077	g_6
Pit_dul	-0.023	0.335	0.065	-0.077	g_6
Tax_muc	-0.338	-0.099	0.075	0.072	Tax_muc
Spo_pur	-0.191	0.218	0.090	-0.025	Spo_pur
Tag_mic	-0.359	0.100	0.115	0.028	Tag_mic
Cro_sp.	-0.403	0.498	0.196	-0.062	g_7
Cup_aeq	-0.403	0.498	0.196	-0.062	g_7
Jac_mex	-0.403	0.498	0.196	-0.062	g_7
Lys_div	-0.403	0.498	0.196	-0.062	g_7

	Jaccard		Morisita-Horn		
Poblado o Especie	**1**	**2**	**1**	**2**	**Clave**
Oen_ros	-0.403	0.498	0.196	-0.062	g_7
Rue_nud	-0.403	0.498	0.196	-0.062	g_7
Tec_sta	-0.403	0.498	0.196	-0.062	g_7

LITERATURA CITADA

Albuquerque, U. P. (2019). *Evolutionary ethnobiology.* Cham, Switzerland: Springer.

Alducin-Martínez, C., Ruiz Mondragón, K. Y., Jiménez-Barrón, O., Aguirre-Planter, E., Gasca-Pineda, J., Eguiarte, L. E., & Medellín, R. A. (2023). Uses, knowledge and extinction risk faced by Agave species in Mexico. *Plants*, 3-37.

Alexiades, M. J. (1996). *Collecting ethnobotanical data: an introduction to basic concepts and techniques. Advances in economic botany.* Estados Unidos: New York Botanical Garden Press.

Andrade, G. I., & Terborgh, J. (2005). Science and society at the World Parks Congress. *Conservation Biology*, 4-6.

Arnold, J. M., & Pérez, M. R. (2001). Can non-timber forest products match tropical forest conservation and development objectives? *Ecological Economics*, 437-447.

Barrera-Bassols, N., Zinck, J. A., & Van , R. E. (2006). Symbolism, knowledge and management of soil and land resources in indigenous communities: Ethnopedology at global, regional and local scales. *Catena*, 118–137.

Belcher, B., & Schreckenberg, K. (2007). Commercialisation of non-timber forest products: A reality check. *Development Policy Review*, 355–377.

Bermúdez, A., Oliveira-Miranda, M. A., & Velázquez, D. (2005). La investigación etnobotánica sobre plantas medicinales: Una revisión de sus objetivos y enfoques actuales. *Interciencia*, 453-459.

Bonilla Barbosa, J. R., & Villaseñor Ríos , J. L. (2003). *Catálogo de la flora del estado de Morelos.* Cuernavaca: Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Brandon, K., Redford, K. H., & Sanderson, S. E. (1998). En *Parks in Peril: People, Politics, and Protected Areas.* Washington, DC, Estados Unidos: sland Press, en colaboración con The Nature Conservancy.

Bye, R. A. (1983). The role of plants found in the Mexican markets and their importance in ethnobotanical studies. *Journal of Ethnobiology*, 1–13.

Bye, T. P. (1993). *The role of humans in the diversification of plants in Mexico.* Reyno Unido: Oxford University Press.

Caballero, A. C. (2018). *Etnobotánica en México: aportes y perspectivas.* México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Camacho, R. L. (2008). Produtos florestais não madeiráveis: importância e impacto do seu aproveitamento. *Colombia Forestal*, 215-231.

Camargo Ricalde, S. L., Martínez Bernal, A., García García, V., & Barrios del Rosal, S. (2001). Useful species of the genus Mimosa (Fabaceae-Mimosoideae) in Mexico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 33-44.

Caniago, I., & Siebert , S. F. (1998). Medicinal plant ecology, knowledge and conservation in Kalimantan, Indonesia. *Economic Botany*, 229-250.

Ceballos, G., & García, A. (1995). Conserving neotropical biodiversity: the role of dry forest in western Mexico. . *Conservation Biology*, 1349-1353.

CITES. (2011). *Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).* Obtenido de http://www.cites.org/esp/app/ap-pendices.shtml

Corbetta, P. (2003). *Metodología y técnicas de investigación social.* Madrid: McGraw-Hill.

Croteau, R. K. (2000). Croteau, R., Kutchan, T. M., & Lewis, N. G. En G. y. Buchanan, *Biochemistry and Molecular Biology of Plants (publicado por la American Society of Plant Physiologists, 2000).* (págs. 1250–1318). American Society of Plant Physiologists.

Delgado-Lemus, A., Casas, A., & Téllez, O. (2014). Distribution, abundance and traditional management of Agave potatorum in the Tehuacán Valley, Mexico: Bases for sustainable use of non-timber forest products. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 1-12.

Eguiarte, L.E. (2001). Hacia una etnobotánica mexicana y moderna. *Botanical Sciences*, 12-15.

FAO. (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *Non-wood forest products: Sustainable use and management.* Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations: https://www.fao.org/forestry/nwfp

Gao, C. , H., Chen, , C., Yu, , G., Dusa, , A., Cao, , B., Cai, , P., & Akyol, T. , Y. (2024). GgVennDiagram: A “ggplot2” implement of Venn diagram. *iMeta*.

Gauch, H. J. (1982). *Multivariate analysis in community ecology.* Cambridge: Cambridge University Press.

Gómez Pompa , A. (1993). Las raíces de la etnobotánica mexicana. *Acta Biológica Panamensis*, 87-100.

Gomez-Beloz, A. (2002). Plant use knowledge of the Winikina Warao: The case for questionnaires in Ethnobotany. *Economic Botany* , 231-241.

Gómez-Pompa, A., & Burley, F. W. (1991). Gómez-Pompa, A. En A. Gómez-Pompa, *Rainforest regeneration and management* (págs. 13-18). Paris: UNESCO.

Johns, R. J. (1992). The influence of deforestation and selective logging operations on plant diversity in Papua New Guinea. En *Tropical deforestation and species extinction* (págs. 143-147). Londres: Chapman and Hall.

Johnson, R. A. (2002). *Applied multivariate statistical analysis.* New Jersey: Prentice Hall.

Lara Reimers, E. A., Fernández Cusimamani, E., Lara Rodríguez, E. A., Zepeda del Valle, J. M., Polesny, Z., & Pawera, L. (2018). An ethnobotanical study of medicinal plants used in Zacatecas state, Mexico. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 1-15.

López-Gutierrez, B., Pérez-Escandon, B., & Villavicencio-Nieto, M. (2014). Aprovechamiento sostenible y conservación de plantas medicinales en Cantarranas, Huehuetla, Hidalgo, México, como un medio para mejorar la calidad de vida en la comunidad. *Botanical Sciences*, 389-404.

Lucía, C. P., 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*, 1-15.

Luna-José, A. d., & Rendón-Aguilar, B. (2008). Recursos vegetales útiles en diez comunidades de la Sierra Madre del Sur, Oaxaca, México. *Polibotánica*, 193-242.

Maffi., L. (2005). LINGUISTIC, CULTURAL, AND BIOLOGICAL DIVERSITY. *Annual Review of Anthropology*, 599-617.

Martin, G. J. (2001). *Etnobotánica: manual de métodos.* Montevideo: NORDAN-COMUNIDAD.

Martínez-López, G., Palacios-Rangel, M. I., Guízar Nolazco, E., & Villanueva Morales, A. (2021). Usos locales y tradición: estudio etnobotánico de plantas útiles en San Pablo Cuatro Venados (Valles Centrales, Oaxaca). *Polibotánica*, 193-212.

Matta, J. R., & Schweitzer Meins, L. (2012). Un nuevo lugar para situar los bosques dentro del sector del desarrollo. *Unasylva: revista internacional de silvicultura e industrias forestales,*, 3-8.

Miranda-Gamboa, M. A., Martínez-Ballesté, A., Ricker, M., Casas, A., & Blancas, J. (2024). Does commercialization lead to more intensive management strategies? Decision-making for the utilization of non-timber forest products in a Nahua area of the Sierra Negra, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 20-63.

Moerman, D. E., Pemberton, R. W., Kiefer,, D., & Berlin, B. (1999). A comparative analysis of five medicinal floras. *Journal of Ethnobiology*, 49-70.

Monroy-Ortiz, C., & Monroy, R. (2004). Análisis preliminar de la dominancia cultural de las plantas útiles en el estado de Morelos. *Botanical Sciences*, 77-95.

Recibido:
7/agosto/2025

Aceptado:
19/diciembre/2025

Moreno, A., & Sandoval, K. (213). Diversidad genómica en México: Pasado indígena y mestizaje. . *Cuicuilco*, 249-275.

Oksanen, J.; Blanchet, F. G.; Friendly, M.; Kindt, R.; Legendre, P.; McGlinn, D.; Minchin, P. R.; O'Hara, R. B.; Simpson, G. L.; Solymos, P.; Stevens, M. H. H.; Szoecs, E.; Wagner, H. (2022). *vegan: Community Ecology Package (versión 2.6-4)[Paquete R]*.

Pérez-Negrón, E., & Casas , A. (2007). Use, extraction rates and spatial availability of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: The case of Santiago Quiotepec, Oaxaca. *Journal of Arid Environments*, 356-379.

Prance, G. T. (1991). What is ethnobotany today? *Journal of Ethnopharmacology*, 209-216.

Reyes Zepeda, T. (2022). *Gestión administrativa de los municipios del Estado de Morelos fundamentada en el control interno.* Cuernavaca: Gobierno del estado de Morelos.

Rzedowski, J. (1991). El endemismo de la flora fanerogámica mexicana. *Acta Botánica Mexicana*, 47–64.

Rzedowski, J., & Huerta, M. (1978). *Vegetación de México.* México, D.F.: Limusa.

Sanabria Diago, O. L., & Argueta, A. (2020). Cosmovisiones y naturalezas en tres culturas indígenas de Colombia. *Etnobiología*, 5-20.

SEMARNAT, S. d. (diciembre de 30 de 2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Obtenido de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010

Singh, S. (1998). Chronic Disturbance, a Principal Cause of Environmental Degradation in Developing Countries. *Environmental Conservation*, 1-15.

Sotelo-Caro, O., Chichia-González, J., Sorani, V., & Flores-Palacios , A. (2015). Changes in the deforestation dynamics of a river sub-basin of Mexico: non-recovery of primary habitats following cessation of deforestation. *Revista de geografía Norte Grande*, 205-219 .

Sotelo-Caro, O., Valencia-Diaz, S., Infante-Mata, D. M., Castillo-Campos, G., & Flores-Palacios, A. (2023). The effect of chronic disturbance on the woody plant diversity in a tropical dry forest of Central Mexico. *Flora*, 1-9.

Tapia-Tapia, E., & Reyes-Chilpa, R. (2008). Mexican non-wood forest products: economic aspects for sustainable development. *Madera bosques* , 95-112.

Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2009). *La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales.* Barcelona: Icaria.

Trejo, I., & Dirzo, R. (2002). Floristic Diversity of Mexican seasonally dry tropical forest. *Biodiversity and Conservation*, 2063-2084.

Villaseñor, J. L. (2003). Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. Intercien. *Interciencias* , 160-167.

Wickham, H. (2016). Data analysis. En *ggplot2: Elegant graphics for data analysis* (págs. 189-201). Cham: Springer International Publishing.

Wong, J., Baker, N., & Thornber, K. (2001). *Evaluación de los recursos de productos forestales no madereros. Experiencia y principios biométricos.* Estados Unidos: FAO.

Xolocotzi, E. H. (2012). El concepto de Etnobotánica. *Etnobiología* , 91-93.

Zambrano-Intriago, L. F., Buenaño-Allauca, M. P., Mancera-Rodríguez, N. J., & Jiménez-Romero, E. (2015). Ethnobotanical study of medicinal plants used by rural inhabitants of the parish San Carlos Quevedo in Ecuador. *Universidad y Salud*, 97-111.