

SEP

POLIBOTÁNICA

ISSN 1405-2768



Enero 2023

Núm. 55

POLIBOTÁNICA



CONACYT



Núm. 55

Enero 2023

PÁG.	CONTENIDO
1	Análisis de trazos de la pteridoflora del estado de Hidalgo, México <i>Track analysis of the pteridoflora of Hidalgo, Mexico</i> Goyenechea Mayer-Goyenechea, I. V.Y. Anaya Cisneros J.M. Castillo-Cerón G. Montiel-Canales
15	<i>Salvia divinorum</i> (Lamiaceae) un nuevo registro para Veracruz, México <i>Salvia divinorum (Lamiaceae) a new record for Veracruz, Mexico</i> Castillo-Campos, G. J.G. García-Franco M. Luisa Martínez I. Fragoso-Martínez
25	Estructura y diversidad arbórea de un bosque de pino-encino en Huiztlatzala, Guerrero, México <i>Structure and tree diversity of a pine-oak forest in Huiztlatzala, Guerrero, Mexico</i> Rodríguez Pacheco, A. M. I. Palacios Rangel L. Mohedano Caballero A. Villanueva Morales
41	Riqueza, estructura y diversidad florística en huertos familiares del sureste del estado de Morelos: una aproximación biocultural <i>Richness, structure and floristic diversity in homegardens of the southeast of Morelos state: a biocultural approach</i> Tegoma Coloreano, A. J. Blancas A. García Flores L. Beltrán-Rodríguez
67	Efectos de jales mineros y materia orgánica en la supervivencia de <i>Arbustus xalapensis</i> Kunth propagado simbióticamente <i>Effect of mining tailings and organic matter on the survival of symbiotically propagated Arbutus xalapensis Kunth</i> Rodríguez González, F. M. Rangel Villafranco A.R. Velasco Reyes J.M. Gómez Bernal E.A. Ruiz Huerta
81	Concentración de kinetina y tipo de explante en la multiplicación <i>in vitro</i> de <i>Sequoia sempervirens</i> (D. Don). Endl. <i>Kinetin concentration and explant type in in vitro multiplication of Sequoia sempervirens (D. Don). Endl.</i> Castro Garibay, S.L. A. Villegas Monter I.J. Cruz Larios
95	Actividad antioxidante y citotóxica del aceite esencial de las hojas de laurel aromático (<i>Litsea glaucescens</i> Kunth) <i>Antioxidant and cytotoxic activity of essential oil from aromatic bay leaves (Litsea glaucescens Kunth)</i> Tepixtle-Colohua, V.V. M.R. González-Tepale D. Guerra-Ramírez B. Reyes-Trejo H. Zuleta-Prada A.M. Borja-de la Rosa F. Reyes-Fuentes
109	Evaluación <i>in vitro</i> del efecto antibacteriano de los extractos de <i>Bidens pilosa</i> y <i>Eryngium foetidum</i> <i>In vitro evaluation of the antibacterial effect of extracts of Bidens pilosa y Eryngium foetidum</i> Chafila-Molina, A. L. L. M. Silva-Deley
121	Desinfección de adulto pecan leaflets, and <i>in vitro</i> callogenesis induction <i>Desinfección de foliolos de nogal pecanero adulto, e inducción de calogénesis in vitro</i> Gándara-Ledezma, V. L. Tinco-García J.L. Rodríguez-de la O L. Castro-Espinoza S. Ruiz-Cruz A. Márquez-Cervantes M.A. Gutiérrez-Coronado
145	Estudios para la conservación y aprovechamiento de <i>Chrysactinia mexicana</i> , planta aromática y medicinal nativa de México <i>Studies for the conservation and use of Chrysactinia mexicana, an aromatic and medicinal plant native to Mexico</i> Magallán-Hernández, F. J.A. Valencia-Hernández R. Sánchez-Castillo
161	Usos del palo dulce <i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ort.) Sarg., en cuatro municipios del estado de Morelos, México <i>Uses of kidneywood Eysenhardtia polystachya (Ort.) Sarg., in four municipalities of the state of Morelos, Mexico</i> Lorenzo-Barrera, N.A. M. Andrade Rodríguez O.G. Villegas Torres E. Román Montes de Oca H. Sotelo Nava T. de J. Rodríguez Rojas R. Suárez Rodríguez
179	Valor cultural de la flora medicinal de las etnias Mochó y Kakchikel del estado de Chiapas, México <i>Cultural significance of medicinal plants amongst Mochó and Kakchikel ethnic groups of the state of Chiapas, Mexico</i> Trigueros-Vázquez, I.Y.: O. Ruiz-Rosado; F. Gallardo-López; B.F. Solís-Guzmán; F. Morales-Trejo y G. López-Romero
197	Estudio de plantas medicinales en el municipio de Pachuca de Soto Hidalgo, México <i>Study of medicinal plants in the municipality of Pachuca of Soto Hidalgo, Mexico</i> Lara Reimers, E.A. A.R. García Hernández F. Cruz García D. Urresti Duran J.A. Gonzales Fuentes J.A. Encina Domínguez Y. Uribe Salazar
213	Plantas silvestres comestibles del estado de Aguascalientes, México, sus formas de consumo y comercialización <i>Edible wild plants of Aguascalientes, Mexico, their forms of consumption and commercialization</i> Sandoval-Ortega, M.H. E.E. De Loera-Avila V.M. Martínez-Calderón S.G. Zumaya-Mendoza
231	Recursos forestales no maderables utilizados en elaboración de artesanías en la comunidad de Malinalco, Estado de México <i>Non-timber forest resources used in elaboration of handicrafts in the community of Malinalco, State of Mexico</i> White-Olascoaga, L. C. Chávez-Mejía D. García-Mondragón M. Michua-Hernández
245	Respuesta en el sistema de defensa antioxidante de <i>Leersia hexandra</i> Sw. a la exposición de hidrocarburos del petróleo <i>Response in the antioxidant defense system of Leersia hexandra Sw. to the exposure of petroleum hydrocarbons</i> Orcio-Carrillo, J.A. M.C. Rivera-Cruz A. Juárez-Maldonado C.C. Bautista-Muñoz Y. González-García K. Chávez-Alvarez

POLIBOTÁNICA

Núm. 55

ISSN electrónico: 2395-9525

Enero 2023

Portada

Bidens pilosa L. Asteraceae. "Acahual".
Achenios de 5 a 18 mm de largo, los interiores lineares y más largos, los exteriores más o menos comprimidos dorso-ventralmente y más cortos, negruzcos a café, vilano con 3-2 aristas amarillas, de 1 a 3 mm de largo. Planta con múltiples propiedades terapéuticas, considerada en medicina popular como diurética y febrífuga, estomacal y antiulcerosa, para curar catarros con fiebre, faringitis y amigdalitis.



Bidens pilosa L. Asteraceae. "Acahual".
Achenes 5 to 18 mm long, inner ones linear and longer, outer ones more or less dorso-ventrally compressed and shorter, blackish to brownish, pappus with 3-2 yellow awns, 1 to 3 mm long. Plant with multiple therapeutic properties, considered in folk medicine as diuretic and febrifuge, stomachic and anti-ulcerous, to cure colds with fever, pharyngitis, and tonsillitis.

por/by **Rafael Fernández Nava**



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Director General: *Dr. Arturo Reyes Sandoval*

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

Secretario Académico: *Mtro. Mauricio Igor Jasso Zaranda*

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

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

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

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

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

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Maestra Decana en Funciones de Dirección:

M. en C. Yadira Fonseca Sabater

Subdirectora Académica:

M. en C. Martha Patricia Cervantes Cervantes

Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación:

Dr. Gerardo Aparicio Ozores

Subdirector de Servicios Educativos e Integración Social:

Biól. Gonzalo Galindo Becerril

POLIBOTÁNICA, Año 28, No. 55, enero-junio 2023, es una publicación semestral editada por el Instituto Politécnico Nacional, a través de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas C.P. 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F. Teléfono 57296000 ext. 62331. <http://www.herbario.encb.ipn.mx/>, Editor responsable: Rafael Fernández Nava. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2015-011309001300-203. ISSN impreso: 1405-2768, ISSN digital: 2395-9525, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de informática de la ENCB del IPN, Rafael Fernández Nava, Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas CP 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F.

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

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

REVISTA BOTÁNICA INTERNACIONAL DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

EDITOR EN JEFE

Rafael Fernández Nava

EDITORA ASOCIADA

María de la Luz Arreguín Sánchez

COMITÉ EDITORIAL INTERNACIONAL

Christiane Anderson
University of Michigan
Ann Arbor, Michigan, US

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

Heike Vibrans
Colegio de Postgraduados
Estado de México, México

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

Graciela Calderón de Rzedowski
Instituto de Ecología del Bajío
Pátzcuaro, Mich., México

Delia Fernández González
Universidad de León
León, España

Theodore S. Cochrane
University of Wisconsin
Madison, Wisconsin, US

Jerzy Rzedowski Rotter
Instituto de Ecología del Bajío
Pátzcuaro, Mich., México

Hugo Cota Sánchez
University of Saskatchewan
Saskatoon, Saskatchewan, Canada

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

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

Claude Sastre
Muséum National d'Histoire Naturelle
Paris, Francia

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

Mauricio Velayos Rodríguez
Real Jardín Botánico
Madrid, España

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

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

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

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

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

Tom Wendt
University of Texas
Austin, Texas, US

José Manuel Rico Ordaz
Universidad de Oviedo
Oviedo, España

DISEÑO Y FORMACIÓN ELECTRÓNICA

Luz Elena Tejeda Hernández

OPEN JOURNAL SYSTEM Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Pedro Aráoz Palomino

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

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

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

e) CONCLUSIONES.

ESPECIFICACIONES DE FORMATO PARA EL CUERPO DEL TRABAJO

1. Secciones/Subtítulos de párrafo: Fuente tamaño 16, centrado, en negritas, con la primera letra en mayúscula.
2. Subsecciones/Subtítulos de párrafo secundarios : Fuente tamaño 14, centrado, en negritas, con la primera letra en mayúscula. Cuando existan subsecciones de subsección formatear en tamaño 13 negrita y centrado.
3. Cuerpo del texto: Fuente tamaño 12, justificado. NO debe haber saltos de línea entre párrafos.
4. Las notas de pie de página deben estar al final de cada página, fuente tamaño 12 justificadas.
5. Cita textual con 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 enviarán por lo menos a un par de árbitros, reconocidos especialistas nacionales o internacionales que los revisarán y evaluarán y serán los que finalmente recomienden la pertinencia o no de la publicación del artículo, cabe destacar que este es el medio con que contamos para cuidar el nivel y la calidad de los trabajos publicados.

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

PUBLICATION GUIDELINES

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

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

FOR PUBLICATION OF ARTICLES

Originals that comply with the following requirements will be accepted:

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

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

4. The article ought to be sent to the POLIBOTÁNICA's Open Journal System <http://www.polibotanica.mx/ojs> in an office-word file without a maximum number of pages with the following features:
 - a) on letter-size pages, Times New Roman font type, 12-point font size, double-spaced and 2 cm margin
5. The figures, images, graphics in the article must be attached as follows:
 - a) in jpg format
 - b) with a minimum resolution of 300 dpi and a minimum size of 140 mm wide
 - c) all characters must be legible and contrasted
6. All articles must include:
 - a) a title in both Spanish and English that clearly express the problem referred to. The format for this section is: bold, font size 14 and centered.;
 - b) the name of the author or authors, with their initials, no titles and no academic degrees. The format for this section is: font size 12, aligned to the left, each name in a different paragraph but without spaces in-between and a superscript number indicating the affiliation;
 - c) complete affiliations of all authors (including laboratory or research institution). The format for this section is: font size 12, aligned to the left, each name in a different paragraph but without spaces in-between and a superscript number at the beginning of the affiliation;
 - d) correspondence author should be in the next paragraph, font size 12 and aligned to the left.
7. All work should be composed of the following chapters:
 - a) RESUMEN and ABSTRACT. Palabras clave y Key Words. The format for this section is: bold, font size 12 and centered. Both words (RESUMEN: and ABSTRACT:) must include a colon, be in bold and aligned to the left. The body of the abstract must be justified and in font size 12. Both palabras clave: and keywords: must include a colon, be in bold and aligned to the left. Keywords must be separated by a comma or semicolon, must be justified and in font size 12.
 - b) INTRODUCTION y METHODS. In the case of techniques or methods that are already known, they were mentioned only by appointment of the original publication in which they were released.
 - c) RESULTS. Accompanied with presentation of the required number of graphs, tables, figures or diagrams very close to the size which will be printed (19 x 14 cm).
 - d) DISCUSSION. A concise discussion of the results obtained, limited to what is original and other related directly and considered new data.
 - e) CONCLUSIONS. The format for sections Introduction, Results, Discussion and Conclusions is: bold, font size 16 and centered.

FORMAT SPECIFICATIONS FOR THE BODY OF WORK

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

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

STRUCTURE AND FORMAT OF ACKNOWLEDGMENTS AND BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

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

9. REVIEW AND PUBLICATION

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

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

Toda correspondencia relacionada con la revista deberá ser dirigida a:

Dr. Rafael Fernández Nava

Editor en Jefe de

POLIBOTÁNICA

Departamento de Botánica

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional

Apdo. Postal 17-564, CP 11410, Ciudad de México

Correo electrónico:

polibotanica@gmail.com

rfernan@ipn.mx

Dirección Web

http://www.polibotanica.mx

POLIBOTÁNICA es una revista indexada en:

CONACYT, índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica del Consejo Nacional 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, Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.



ANÁLISIS DE TRAZOS DE LA PTERIDOFLORA DEL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO

TRACK ANALYSIS OF THE PTERIDOFLORA OF HIDALGO, MEXICO

Goyenechea Mayer-Goyenechea, I.; V.Y. Anaya Cisneros; J.M. Castillo-Cerón y G. Montiel-Canales

ANÁLISIS DE TRAZOS DE LA PTERIDOFLORA DEL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO
TRACK ANALYSIS OF THE PTERIDOFLORA OF HIDALGO, MEXICO



Análisis de trazos de la pteridoflora del estado de Hidalgo, México**Track analysis of the pteridoflora of Hidalgo, Mexico****I. Goyenechea Mayer-Goyenechea****V.Y. Anaya Cisneros****J.M. Castillo-Cerón**

*Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo,
Ciudad del Conocimiento Km 4.5 carretera Pachuca Tulancingo,
Colonia Carboneras, CP 42181, Hidalgo, México.*

G. Montiel-Canales / gumontielc@ipn.mx

*Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No. 16 Hidalgo,
Instituto Politécnico Nacional. Distrito de Educación, Salud, Tecnología e Innovación.
Carretera Pachuca – Actopan km 1 + 500, C.P. 42162, Hidalgo, México.*

Goyenechea Mayer-
Goyenechea, I.;
V.Y. Anaya Cisneros;
J.M. Castillo-Cerón
y G. Montiel-Canales

ANÁLISIS DE TRAZOS DE
LA PTERIDOFLORA DEL
ESTADO DE HIDALGO,
MÉXICO

TRACK ANALYSIS OF THE
PTERIDOFLORA OF
HIDALGO, MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 55: 1-14. Enero 2023

DOI:

10.18387/polibotanica.55.1

RESUMEN: Se establecieron los patrones de distribución de 48 especies de helechos del estado de Hidalgo (México) mediante el análisis de parsimonia de endemismos (PAE) para identificar trazos generalizados de sus pteridofloras. Para construir la matriz básica de datos se usaron citas bibliográficas y se consideraron como unidades biogeográficas (UGOs) por un lado las cuatro provincias biogeográficas en las que se divide el territorio, y por otro, nueve localidades consideradas como relevantes para los helechos de Hidalgo. Se construyó una matriz de 48 trazos individuales para cada sistema de UGOs, con el primero se obtuvieron dos trazos generalizados, uno anidado dentro del otro, que se interpreta como un solo trazo generalizado. Con el segundo sistema resultaron tres trazos generalizados, dos de ellos anidados dentro del más grande, por lo que se interpreta como un solo trazo generalizado. El primer trazo generalizado (provincias), se sustenta por seis sinapomorfias y el segundo (localidades) por tres. Estos trazos indican que la Sierra Madre Oriental (SMO) se encuentra más relacionada con la Provincia Veracruzana (PV), y estas dos a su vez con la parte sur del Desierto Chihuahuense (DS). El segundo trazo generalizado muestra que la localidad de Tenango de Doria y la zona Otomí Tepehua están estrechamente relacionadas, ambas se localizan dentro de las provincias biogeográficas PV y SMO respectivamente. Se concluye que las provincias PV y SMO además de estar relacionadas, son las de mayor interés por presentar una más alta diversidad específica de helechos al interior del estado de Hidalgo.

Palabras clave: Pteridogeografía, Análisis de parsimonia de endemismos, Neotrópico.

ABSTRACT: The distribution patterns of 48 species of ferns from the State of Hidalgo (Mexico) were established using a parsimony analysis of endemism (PAE) to identify generalized tracks of their pteridofloras, the basic data matrix was built using bibliographic citations. Two biogeographical units (UGOs) were considered: the four biogeographic provinces into which the territory is divided, and nine localities considered relevant for the Hidalgo ferns. A matrix of 48 individual tracks was built for each system of UGOs. Two generalized tracks were obtained with the first system that can be visualized as one, nested within the other. With the second system, three generalized tracks were obtained and can be visualized as one, two nested within the largest one. The first generalized track is supported by six synapomorphies and the second by three. These tracks indicate that the Sierra Madre Oriental (SMO) is more related to the Veracruzana Province (PV), and these two in turn with the southern part of the Chihuahuan Desert (DS). The second generalized track shows that the locality of Tenango de Doria and the Otomí Tepehua zone are closely related, both being located

within the PV and SMO biogeographical provinces, respectively. It is concluded that the PV and SMO provinces, in addition to being related, are the ones of greatest interest for presenting a higher specific diversity of ferns within the state of Hidalgo.

Key words: Pteridogeography, Parsimony Analysis of Endemisms, Neotropics.

INTRODUCCIÓN

El estado de Hidalgo se localiza en el centro de la república mexicana, con más de dos millones de hectáreas, presenta una alta variedad en su medio físico, consecuencia de una amplia historia geológica y climática. Con base en estas variables físicas y a los patrones de diversidad biológica se reconocen cuatro provincias biogeográficas en el estado: la Provincia Veracruzana (PV), la Sierra Madre Oriental (SMO), el Desierto Chihuahuense (DC), y la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) (Morrone *et al.*, 2017).

La PV se ubica al noreste del estado de Hidalgo con una extensión de cerca del 14% de la superficie estatal en zonas tropicales y húmedas, se localiza en la región geocultural de la Huasteca Hidalguense y la Sierra Otomí-Tepehua y cuenta con una altitud no mayor a 500 msnm (Montiel-Canales & Goyenechea, 2021). La PV es la más pequeña de las cuatro provincias que se encuentran en Hidalgo; sin embargo, esta provincia cuenta con una mayor diversidad de helechos que la SMO. En contraste, la SMO es la región biogeográfica de mayor extensión territorial, con aproximadamente 39% de la superficie estatal (Montiel-Canales & Goyenechea, 2021). Se encuentra presente en 46 municipios de la entidad, en regiones templadas y montañosas de las zonas geoculturales conocidas como Sierra Gorda, Sierra Alta, Sierra Otomí-Tepehua y algunas regiones de la Comarca Minera y Valle de Tulancingo, a una altitud mayor a 1,000 msnm y la diversidad de helechos es menor. El DC, que se ubica al centro-oeste del estado, comprende cerca del 27% de la superficie estatal en 32 municipios en las zonas áridas de la región geocultural conocida como Valle del Mezquital, a una altitud entre 1,000 y 2,400 msnm (Montiel-Canales & Goyenechea, 2021); es la tercera provincia en importancia de acuerdo con la diversidad de helechos. Por último, la FVT con 20% de la superficie estatal se encuentra en 33 municipios de la zona geocultural de la Cuenca de México, así como en algunos municipios del Valle de Tulancingo, la Altiplanicie Pulquera, el Valle del Mezquital y la Comarca Minera, en altitudes de entre 1,000 y 2,500 msnm y es la zona menos diversa en helechos.

La ubicación biogeográfica de Hidalgo es particularmente interesante dado que se encuentra en los límites entre las regiones Neártica y Neotropical, y una zona de transición (Morrone *et al.*, 2017). La provincia biogeográfica del Desierto Chihuahuense corresponde a la región Neártica, la Provincia Veracruzana a la región Neotropical y las provincias de la Sierra Madre Oriental y Faja Volcánica Transmexicana pertenecen a la Zona de Transición Mexicana (Montiel-Canales & Goyenechea, 2021). La diversidad pteridoflorística (= Monilophyta + Lycophyta) en México es próxima al millar de especies, lo que representa c. 10% de la diversidad global (Sánchez-González *et al.*, 2016). En los límites geopolíticos del estado de Hidalgo se reconocen 362 especies, que representan el 35% del total de la pteridoflora mexicana, de las cuales 37 son endémicas (Sánchez-González *et al.*, 2016). Los helechos son considerados como un grupo favorable para la realización de estudios biogeográficos, ya que, gran parte de sus rangos de distribución se basan en la ecología del medio ambiente y la historia biogeográfica de la región (Tryon, 1986).

En este trabajo se analizaron las cuatro provincias biogeográficas que se observan en Hidalgo: Desierto Chihuahuense, Veracruzana, Sierra Madre Oriental y Faja Volcánica Transmexicana, así como las nueve localidades importantes para la distribución de los helechos del estado *sensu* Sánchez-González *et al.* (2016): Calnali (CAL), Tenango de Doria (TEN), Tlanchinol (TLA), Zacualtipán de Ángeles (ZAC), Parque Nacional el Chico (PNC), Parque Nacional Los Mármoles (PNLM), Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (RBBM), Zona Huasteca y

Otomí-Tepesua (HUA-OT) y Valle del Mezquital (VM) para realizar un análisis de trazos usando el PAE, con el fin de obtener patrones biogeográficos (trazos generalizados) y conocer las relaciones biogeográficas al interior del estado Hidalgo a través de los helechos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis de trazos es un método de la panbiogeografía que permite reconocer biotas ancestrales fragmentadas por eventos vicariantes a través de trazos generalizados. Los trazos generalizados pueden reconocerse usando distintos métodos. Morrone *et al.* (2009) propusieron el uso del 'Análisis de Parsimonia de Endemismos' (PAE) para reconocer trazos generalizados. Así, al analizar cladogramas construidos a partir de matrices de presencia/ausencia de especies (trazos individuales), las sinapomorfías que agrupan las áreas son indicativas de las distribuciones de los taxones. Teniendo en consideración que un trazo generalizado representa la congruencia geográfica de al menos dos taxones (equivalentes a las sinapomorfías), este método resulta adecuado para reconocer trazos generalizados cuando se obtienen al menos dos sinapomorfías (Morrone, 2015; Montiel-Canales *et al.*, 2016). Además, el PAE permite observar gráficamente las relaciones entre las áreas estudiadas (Morrone, 2014).

En este trabajo se analizaron con este método las pteridofloras de dos unidades biogeográficas: 1. las cuatro provincias biogeográficas propuestas por Morrone *et al.* (2017) para el Estado de Hidalgo (Fig. 1): Desierto Chihuahuense (DC), Veracruzana (PV), Sierra Madre Oriental (SMO) y Faja Volcánica Transmexicana (FVT); 2. Las nueve localidades de interés por sus pteridofloras según (Sánchez-González *et al.* (2016) (Fig. 2): Calnali (CAL) (Pérez-Cervantes, 2009), Tenango de Doria (TEN) (Zúñiga-Salvatierra, 2009), Tlanchinol (TLA) (Álvarez-Zúñiga *et al.*, 2012), Zacualtipán de Ángeles (ZAC) (Hernández-Álvarez *et al.*, 2019; Pérez-Paredes *et al.*, 2012), Parque Nacional el Chico (PNC) (Serrano, 2010), Parque Nacional Los Mármoles (PNLM) (Ramírez-Cruz *et al.*, 2009), Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (RBBM) (Sánchez-González *et al.*, 2016), Zona Huasteca y Otomí-Tepesua (HUA-OT) y Valle del Mezquital (VM).

Se analizó la distribución geográfica de 48 especies de helechos registradas en el estado de Hidalgo que incluye a 38 géneros y 27 familias. Éstas 48 especies corresponden a una muestra representativa de las 100 especies relevantes del trabajo de Sánchez-González *et al.* (2016), las cuales cumplen con tres criterios: 1. Son especies incluidas en alguna categoría de riesgo dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-059 (SEMARNAT, 2010), 2. Son especies que representan nuevos registros a nivel estatal hasta el 2016 y 3. Son especies que tienen una distribución restringida en México. Los datos geográficos en el estado se obtuvieron a partir del trabajo de Sánchez-González *et al.* (2016), quienes realizaron trabajo de campo y herbario para obtener las distribuciones. Adicionalmente, los datos se corroboraron mediante la consulta de la literatura disponible. La distribución de las mismas se cartografió mediante un SIG sobre mapas para cada uno.

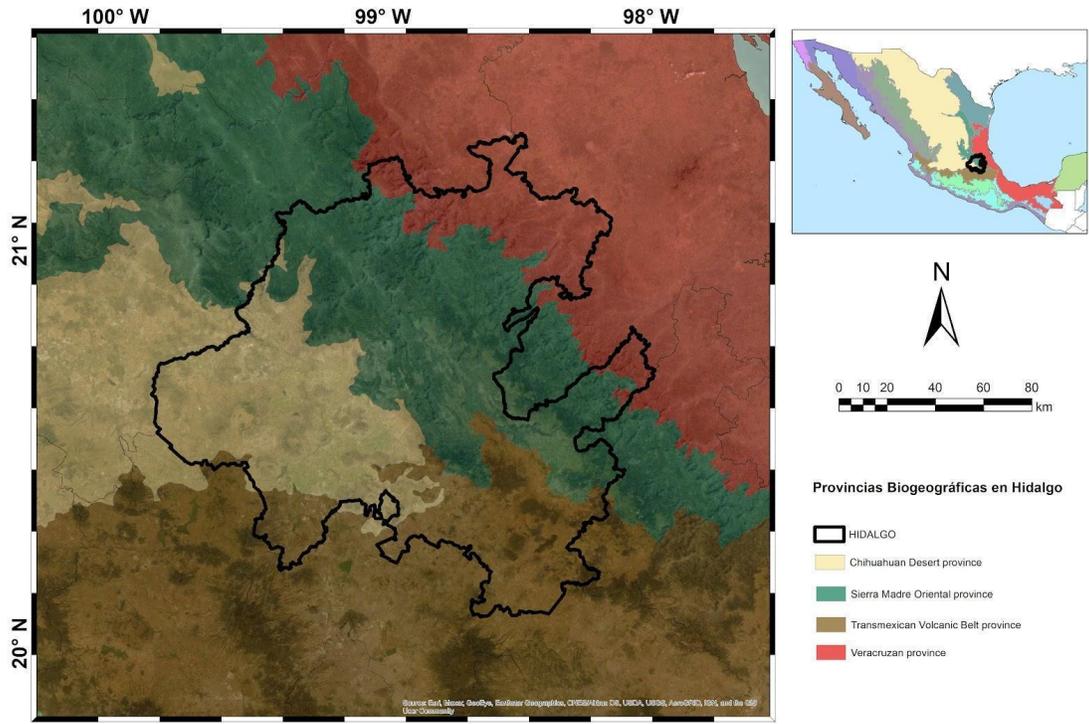


Fig. 1. Provincias biogeográficas propuestas por Morrone *et al.* (2017).

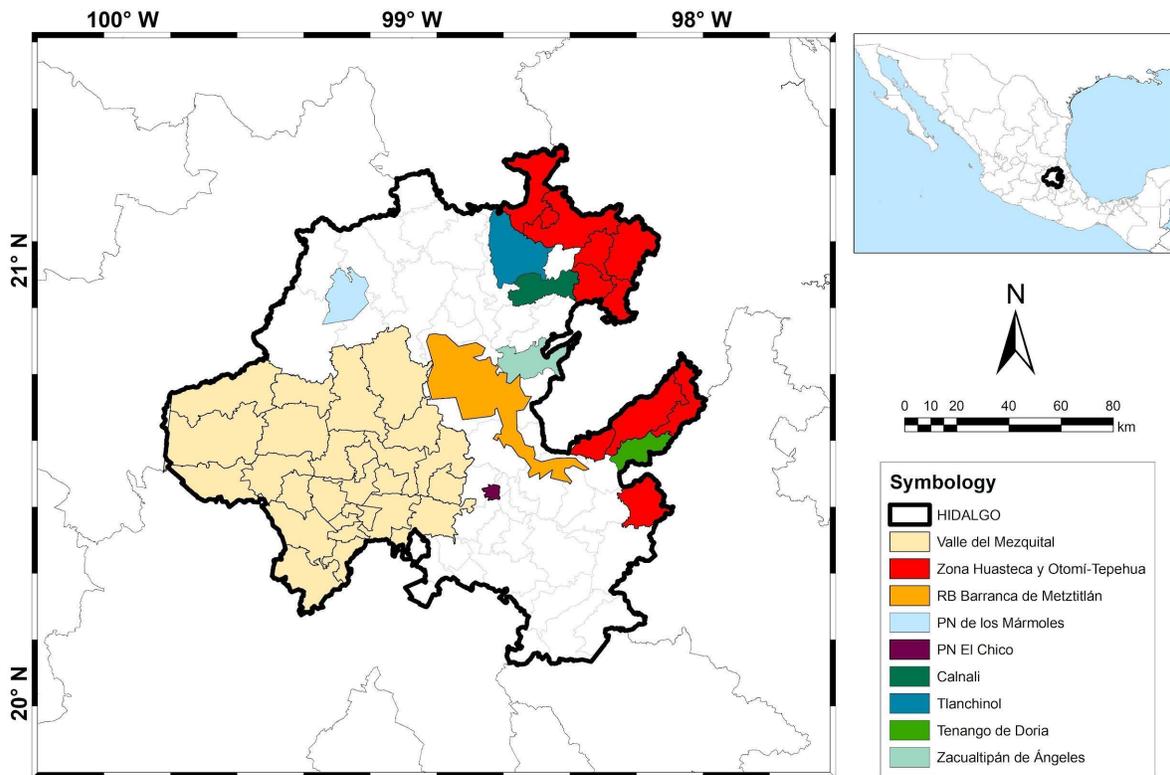


Fig. 2. Localidades de interés pteridoflorístico en Hidalgo.

Para el análisis de trazos se construyeron dos matrices de trazos individuales por UGOs. En la primera matriz (Tabla 1) las UGOs fueron las provincias biogeográficas: DC, PV, SMO y FTV. En la segunda matriz (Tabla 2) las UGOs fueron las nueve localidades de interés peridoflorístico: CAL, TEN, TLA, ZAC, PNC, PNLM, RBBM, HUA-OT y VM. Para cada matriz se codificó la presencia (1) o ausencia (0) de las especies (columnas=trazos individuales) en cada una de las OGU (filas) y se incluyó un área hipotética codificada con ceros (GE) para enraizar el cladograma. Las matrices fueron analizadas con el programa TNT (Goloboff *et al.*, 2008) con la finalidad de obtener trazos generalizados mediante el PAE. El análisis se realizó con una búsqueda múltiple TBR con 10,000 como número máximo de árboles retenidos y 100 réplicas. Cuando se obtuvo más de un cladograma igualmente parsimonioso, se construyó un cladograma de consenso de mayoría con un cut-off de 50. En el cladograma se identificaron los grupos de áreas definidos por al menos dos taxones (sinapomorfias) que representan los trazos generalizados (Morrone *et al.*, 2009). Finalmente, los trazos generalizados se corroboraron y dibujaron en mapas uniendo las provincias o localidades de estudio en el mismo clado mediante su distancia geográfica mínima con un sistema de información geográfica (SIG).

Tabla 1. Matriz de las especies de pteridófitas de Hidalgo y su ubicación en las provincias biogeográficas (GE = raíz). Las columnas y filas han sido transpuestas por presentación.

Las especies están organizadas por familias y las familias se ordenan alfabéticamente.

ID	ESPECIES	GE	PV	DC	FVT	SMO
0	<i>Equisetum myriochaetum</i>	0	1	1	0	1
1	<i>Marattia laxa</i>	0	1	0	0	0
2	<i>Cyathea fulva</i>	0	1	0	0	1
3	<i>Alsophila firma</i>	0	1	0	0	1
4	<i>Dicksonia sellowiana</i>	0	1	0	0	0
5	<i>Lophosoria quadripinnata</i>	0	1	0	0	1
6	<i>Plagiogyria pectinata</i>	0	1	0	0	1
7	<i>Diplopterygium bancroftii</i>	0	1	0	0	1
8	<i>Hymenophyllum teguaris</i>	0	1	0	0	1
9	<i>Osmunda regalis</i>	0	1	0	0	0
10	<i>Asplenium fibrillosum</i>	0	0	1	0	0
11	<i>Holodictyum ghiesbreghtii</i>	0	1	0	0	1
12	<i>Athyrium bourgeauii</i>	0	1	0	0	1
13	<i>Cystopteris fragilis</i>	0	1	0	0	1
14	<i>Blechnum appendiculatum</i>	0	1	0	0	1
15	<i>Woodwardia martinezii</i>	0	1	1	0	0
16	<i>Pteridium aquilinum</i>	0	1	1	0	1
17	<i>Dryopteris wallichiana</i>	0	1	1	1	1
18	<i>Elaphoglossum monicae</i>	0	1	1	0	1
19	<i>Elaphoglossum obscurum</i>	0	1	0	0	1
20	<i>Elaphoglossum potosianum</i>	0	0	1	1	1
21	<i>Elaphoglossum sartorii</i>	0	1	0	0	0
22	<i>Elaphoglossum seminudum</i>	0	1	0	0	1
23	<i>Phanerophlebia nobilis</i>	0	1	0	0	1
24	<i>Lomariopsis mexicana</i>	0	1	0	0	1
25	<i>Nephrolepis cordifolia</i>	0	1	0	0	0
26	<i>Onocleopsis hintonii</i>	0	1	0	0	1
27	<i>Polypodium guttatum</i>	0	0	1	0	1

ID	ESPECIES	GE	PV	DC	FVT	SMO
28	<i>Pleopeltis lepidotrichia</i>	0	1	1	0	1
29	<i>Polypodium madrense</i>	0	0	1	0	1
30	<i>Pleopeltis polylepis</i> var. <i>polylepis</i>	0	1	1	1	1
31	<i>Polypodium martensii</i>	0	1	1	1	1
32	<i>Argyroschisma pallens</i>	0	0	1	1	1
33	<i>Argyroschisma palmeri</i>	0	0	1	0	1
34	<i>Aspidotis meifolia</i>	0	1	1	0	1
35	<i>Gaga decomposita</i>	0	1	0	0	0
36	<i>Gaga purpusii</i>	0	0	1	0	1
37	<i>Notholaena affinis</i>	0	0	1	0	1
38	<i>Notholaena jacalensis</i>	0	0	1	0	1
39	<i>Saccoloma inaequale</i>	0	1	1	0	1
40	<i>Tectaria heracleifolia</i>	0	0	1	1	1
41	<i>Thelypteris kunthii</i>	0	1	1	1	1
42	<i>Thelypteris schaffneri</i>	0	0	0	0	1
43	<i>Woodsia mexicana</i>	0	0	1	1	1
44	<i>Anemia mexicana</i> var. <i>mexicana</i>	0	1	0	1	1
45	<i>Marsilea mollis</i>	0	0	1	1	1
46	<i>Botrychium virginianum</i>	0	0	1	0	1
47	<i>Psilotum complanatum</i>	0	1	0	0	1

Tabla 2. Matriz de las especies de helechos de Hidalgo y su ubicación en las nueve localidades de importancia para la pteridoflora de Hidalgo (GE = raíz). Las columnas y filas han sido transpuestas por presentación. Abreviaturas de las localidades en el pie de la figura 2. Las especies están organizadas por familias y las familias se ordenan alfabéticamente.

ID	Especies	GE	HUA-OT	PNC	RBBM	VM	PNLM	TEN	ZAC	TLA	CAL
0	<i>Equisetum myriochaetum</i>	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0
1	<i>Marattia laxa</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	<i>Cyathea fulva</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
3	<i>Alsophila firma</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
4	<i>Dicksonia sellowiana</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
5	<i>Lophosoria quadripinnata</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6	<i>Plagiogyria pectinata</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
7	<i>Diplazium bancroftii</i>	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0
8	<i>Hymenophyllum teguaris</i>	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
9	<i>Osmunda regalis</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
10	<i>Asplenium fibrillosum</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
11	<i>Holodictyum ghiesbreghtii</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
12	<i>Athyrium bourgeaui</i>	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
13	<i>Cystopteris fragilis</i>	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1
14	<i>Blechnum appendiculatum</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
15	<i>Woodwardia martinezii</i>	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
16	<i>Pteridium aquilinum</i>	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1
17	<i>Dryopteris wallichiana</i>	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0

ID	Especies	GE	HUA-OT	PNC	RBBM	VM	PNLM	TEN	ZAC	TLA	CAL
18	<i>Elaphoglossum monicae</i>	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
19	<i>Elaphoglossum obscurum</i>	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1
20	<i>Elaphoglossum potosianum</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
21	<i>Elaphoglossum sartorii</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
22	<i>Elaphoglossum seminudum</i>	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
23	<i>Phanerophlebia nobilis</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
24	<i>Lomariopsis mexicana</i>	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
25	<i>Nephrolepis cordifolia</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
26	<i>Onocleopsis hintonii</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1
27	<i>Polypodium guttatum</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
28	<i>Pleopeltis lepidotricha</i>	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
29	<i>Polypodium madrese</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
30	<i>Pleopeltis polylepis</i> var. <i>polylepis</i>	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0
31	<i>Polypodium martensii</i>	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
32	<i>Argyrochosma pallens</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
33	<i>Argyrochosma palmeri</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
34	<i>Aspidotis meifolia</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
35	<i>Gaga decomposita</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
36	<i>Gaga purpusii</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
37	<i>Notholaena affinis</i>	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
38	<i>Notholaena jacalensis</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
39	<i>Saccoloma inaequale</i>	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
40	<i>Tectaria heracleifolia</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
41	<i>Thelypteris kunthii</i>	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1
42	<i>Thelypteris schaffneri</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
43	<i>Woodsia mexicana</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
44	<i>Anemia mexicana</i> var. <i>mexicana</i>	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
45	<i>Marsilea mollis</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
46	<i>Botrychium virginianum</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
47	<i>Psilotum complanatum</i>	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0

RESULTADOS

Al analizar la matriz de la unidad biogeográfica correspondiente a las cuatro provincias de la regionalización propuestas por Morrone *et al.* (2017) se obtuvo un solo cladograma con longitud de 59 pasos, IC= 0.78 IR= 0.61 (Fig. 3). El cladograma muestra un trazo generalizado que se localiza en la parte noreste, sur y este del estado que relaciona la SMO con la PV y a su vez estas dos se encuentran relacionadas con la parte sur del DC, conectando las áreas que representan los patrones de distribución actual de los helechos en Hidalgo (Fig. 4). Estas relaciones se sustentan con 6 sinapomorfias (0, 16, 18, 28, 34 y 39) que corresponde a las especies *Equisetum myriochaetum* Cham. & Schldl., *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Elaphoglossum monicae* Mickel, *Pleopeltis lepidotricha* (Fée) A.R. Sm & Tejero, *Aspidotis meifolia* (D.C. Eaton) Pic. Serm., *Saccoloma inaequale* Kunze. Estas especies, que pertenecen a cinco familias, se distribuyen en bosques mesófilos de montaña y/o bosques de *Juniperus* (BJ). Asimismo, la PV y la SMO forman un trazo generalizado sustentado por 16 sinapomorfias (2,

3, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 19, 22, 23, 24, 26, 47) que corresponde a las especies *Cyathea fulva* (M. Martens & Galeotii) Fée, *Alsophila firma* (Baker) D.S. Conant, *Lophosoria quadripinnata* (J.F. Gmel.) C. Chr., *Plagiogyria pectinata* (Liemb.) Lellinger, *Diplopterygium bancroftii* (Hook), *Hymenophyllum tegularis* (Desv.) Proctor & Lourteig, *Holodictyum ghiesbreghtii* (E. Fourn) Maxon, *Athyrium bourgeaui* E. Fourn, *Cystopteris fragilis* (L.) Bernh, *Blechnum appendiculatum* Willd., *Elaphoglossum obscurum* (E. Fourn.) C. Chr., *Elaphoglossum seminudum* Mickel, *Phanerophlebia nobilis* (Schltdl. & Cham.) C. Presl, *Lomariopsis mexicana* Holttum, *Onocleopsis hintonii* F. Ballard y *Psilotum complanatum* Sw., pertenecientes a diez de las 27 familias de helechos.

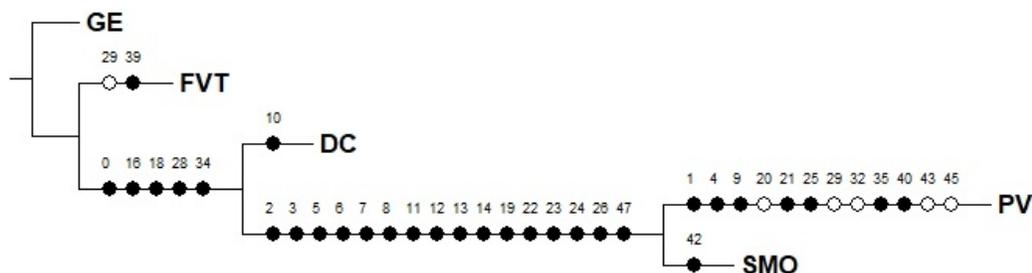


Fig. 3. Cladograma obtenido de las cuatro provincias biogeográficas y un grupo externo (GE) en Hidalgo. En círculos negros se muestran los caracteres apomórficos. Las sinapomorfias que forman los trazos generalizados son: (0= *Equisetum myriochaetum*, 16= *Pteridium aquilinum*, 18= *Elaphoglossum monicae*, 28= *Pleopeltis lepidotrichia*, 34= *Aspidotis meifolia*) (2= *Cyathea fulva*, 3= *Alsophila firma*, 5= *Lophosoria quadripinnata*, 6= *Plagiogyria pectinata*, 7= *Diplopterygium bancroftii*, 8= *Hymenophyllum teguaris*, 11= *Holodictyum ghiesbreghtii*, 12= *Athyrium bourgeaui*, 13= *Cystopteris fragilis*, 14= *Blechnum appendiculatum*, 19= *Elaphoglossum obscurum*, 22= *Elaphoglossum seminudum*, 23= *Phanerophlebia nobilis*, 24= *Lomariopsis mexicana*, 26= *Onocleopsis hintonii* 47= *Psilotum complanatum*.

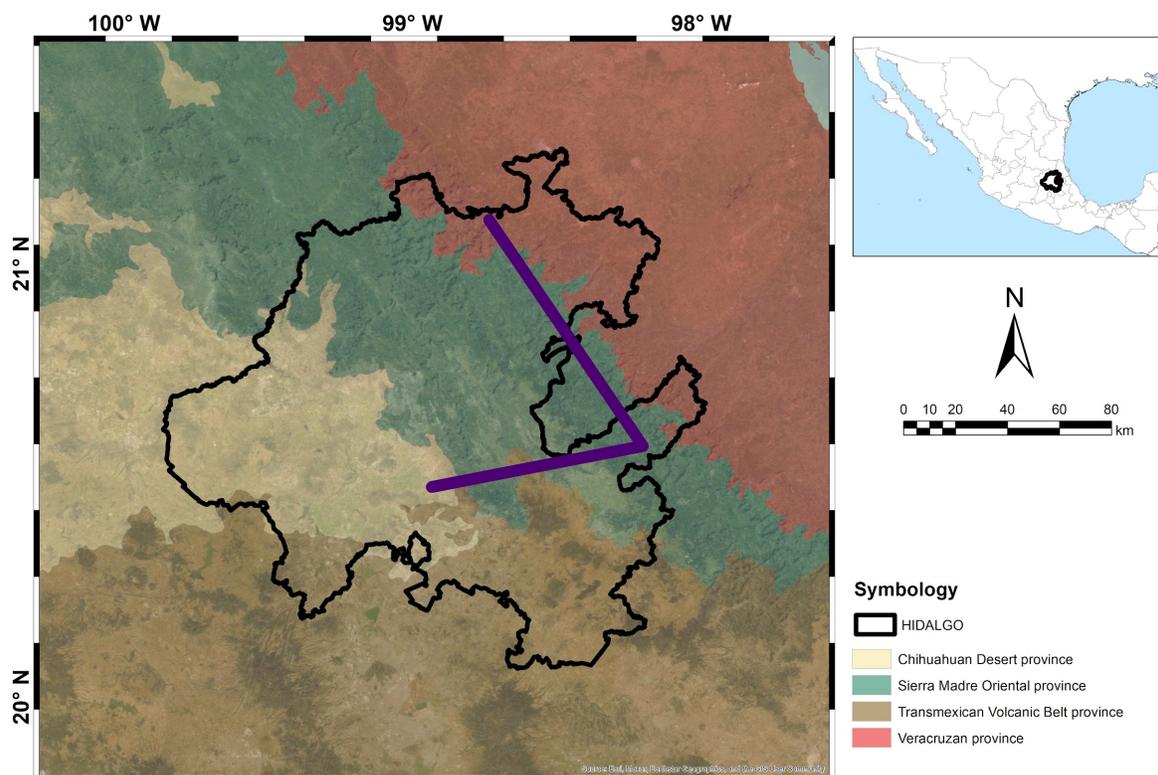


Fig. 4. Trazo generalizado resultante del PAE ubicado en las provincias biogeográficas de la PV, SMO y DC.

Al analizar la unidad biogeográfica relativa a las nueve UGOs de la segunda matriz se obtuvieron dos cladogramas igualmente parsimoniosos con una longitud de 86 pasos $IC= 0.55$, $IR= 0.41$. Los dos cladogramas son muy similares, solo difieren en la posición del PNLM, el PNC y el VM. El cladograma (Fig. 5) muestra los resultados del consenso de mayoría, en el que se observan dos grupos, el primero es un clado que agrupa al PNLM, al PNC y al VM como un grupo politómico. Estas tres áreas no se sustentan por alguna sinapomorfía. El segundo grupo muestra que la UGO de TLA, CAL, TEN y HUA_OT forman un trazo generalizado sustentado por dos sinapomorfías (4 y 26) que corresponden a las especies *Dicksonia sellowiana* Hook y *Onocleopsis hintonii* F. Ballard; al interior de este la UGO TEN, la zona HUA-OT y CAL forman un trazo generalizado sustentado por dos sinapomorfías (3 y 14) que corresponden a las especies *Alsophila firma* (Baker) D.S. Conant y *Blechnum appendiculatum* Willd. que pertenecen a dos familias distintas. Al interior de este clado, la UGO de TEN es el área hermana de la HUA-OT y forman un trazo generalizado sustentado por dos sinapomorfías (11 y 23) que corresponden a las especies *Holodictyum ghiesbreghtii* (E. Fourn) Maxon y *Phanerophlebia nobilis* (Schltdl. & Cham.) C. Presl, cada una perteneciente a una familia diferente.

Estos tres trazos se representan gráficamente como uno en la figura (Fig. 6). Cada uno de los dos trazos generalizados más inclusivos corresponden a una unidad biogeográfica diferente. Ambos se ubican geográficamente al Este del estado de Hidalgo en localidades dentro de la SMO y la PV. Dado que se obtuvo un trazo generalizado para cada sistema de unidades biogeográficas, no se obtuvieron nodos, que resultan cuando convergen dos trazos generalizados (Morrone, 2014).

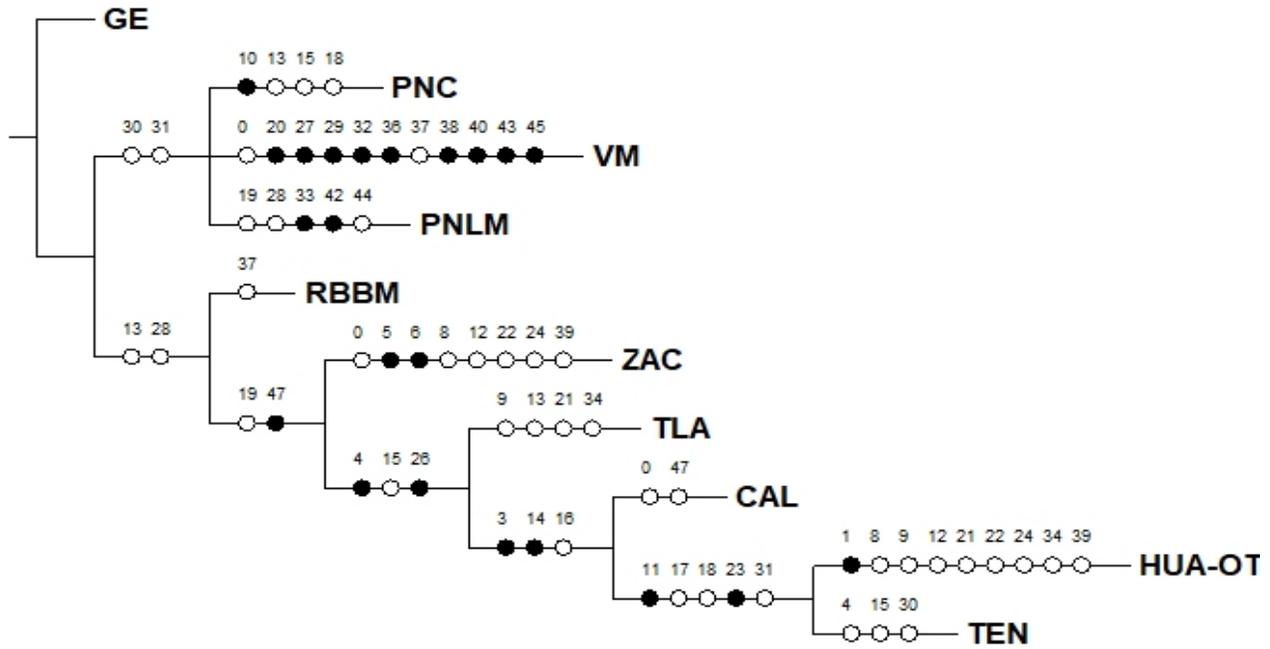


Fig. 5. Cladograma obtenido con las nueve regiones y un grupo externo (GE). En círculos negros se muestran los caracteres apomórficos. Las sinapomorfias que forman los trazos generalizados son: (4 = *Dicksonia sellowiana*, 26 = *Onocleopsis hintonii*) (3 = *Alsophila firma*, 14 = *Blechnum appendiculatum*) (11 = *Holodictyum ghiesbreghtii*, 23 = *Phanerophlebia nobilis*).

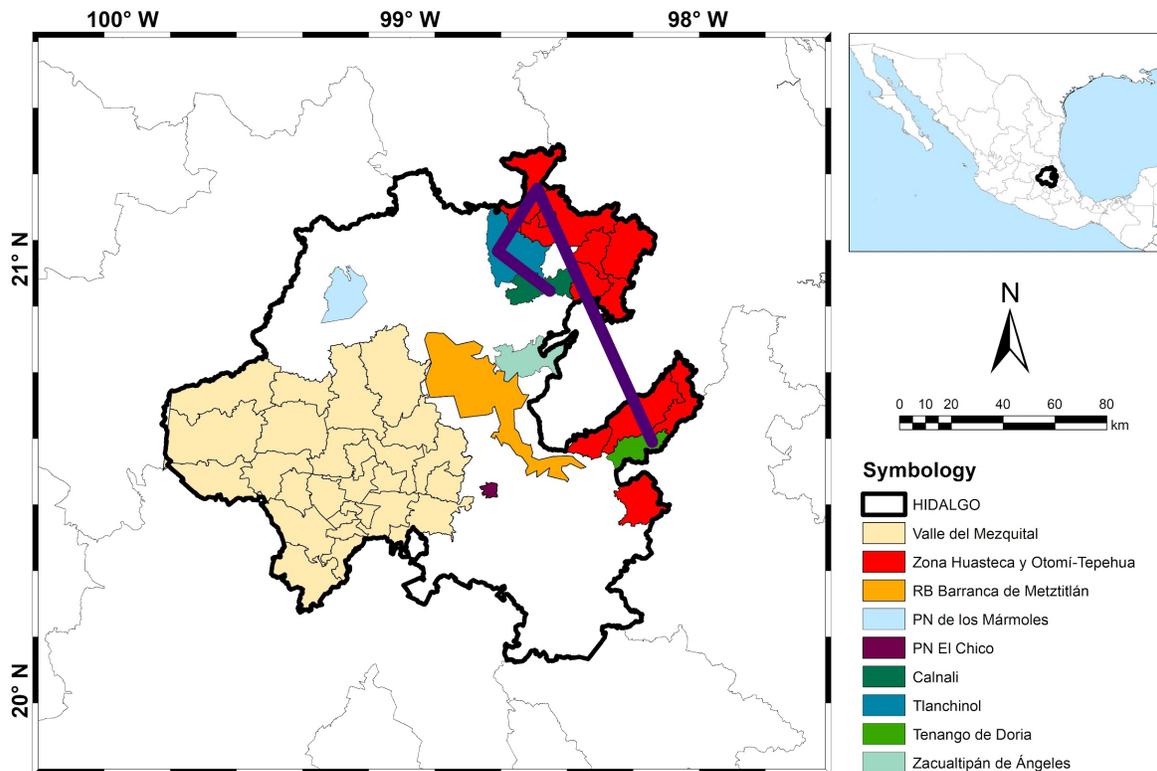


Fig. 6. Trazo generalizado resultante ubicado en las UGOs de TLA, CAL, TEN y HUA-OT.

DISCUSIÓN

Se han realizado estudios acerca de la distribución de pteridobiontes en la Sierra Madre Oriental (Sanginés-Franco *et al.*, 2011) así como en los bosques mesófilos de montaña de Hidalgo (Hernández-Álvarez *et al.* 2019), cuyos resultados son congruentes con los obtenidos en este trabajo. Sanginés-Franco *et al.* (2011), usando un análisis de trazos identificaron un trazo generalizado en la porción sur de la Sierra Madre Oriental, al que denominan trazo de la Sierra Gorda, en los estados de Hidalgo y Querétaro. Los dos trazos generalizados identificados en el presente estudio son sub trazos del trazo de la Sierra Gorda. El trazo de la Sierra Gorda fue sustentado por nueve especies de helechos (Sanginés-Franco *et al.*, 2011), mientras que los trazos presentados en este estudio se sustentan por 6 y 3 especies respectivamente. Si se comparan los resultados de ambos estudios, sólo dos especies se comparten entre el trazo de la Sierra Gorda y el trazo que une a la PV con la SMO: *Elaphoglossum obscurum* y *Phanerophlebia nobilis*.

Los dos trazos generalizados encontrados este estudio, con ambos sistemas de unidades biogeográficas, indican que PV y SMO son las dos provincias más importantes para la distribución de los helechos del estado de Hidalgo. Por lo que se identifica un patrón de distribución bien sustentado por especies que no están cercanamente relacionadas. Entre las especies que conforman este patrón destacan: *Hymenophyllum tegularis*, *Holodictyum ghiesbreghtii*, *Elaphoglossum obscurum* y *Phanerophlebia nobilis*, especies consideradas dentro de las más ricas en el BMM de Hidalgo de acuerdo con Hernández-Alvarez *et al.* (2019). Este trazo generalizado, que une a la PV y SMO, es congruente con los resultados obtenidos por Montiel-Canales *et al.* (2016) para la distribución de las serpientes en Hidalgo y por Morrone & Gutiérrez (2005) para la distribución de las pulgas en la FVT. Sin embargo, los resultados obtenidos a partir de las pteridofloras muestran que un trazo que une estas dos provincias con el DC, mientras que la FVT no se incluye dentro del trazo generalizado. Contrariamente, la distribución de las serpientes indica que la FVT forma un trazo generalizado junto con la SMO y la PV y el DC no forma parte de dicho trazo. Otro estudio con reptiles (Hernández-Salinas, 2009) encontró resultados parcialmente similares a los del presente estudio, pues identificó una relación estrecha entre la PV y la SMO, pero quedaron aún por resolver las relaciones de la FVT y el DC. Por otra parte, un trabajo realizado con aves (Rodríguez-Casanova & Goyenechea, 2021) indica que la PV es la provincia menos relacionada con las otras tres y que el DC y la FVT están relacionadas entre sí y con la SMO, por lo que es importante seguir haciendo estudios con otros grupos biológicos para poder resolver si las provincias de la FVT y el DC forman parte del trazo generalizado que involucra a la PV y la SMO.

La PV se ubica al noreste del estado de Hidalgo con una extensión de cerca del 14% de la superficie estatal en zonas tropicales y húmedas, se localiza en la región geocultural de la Huasteca Hidalguense y la sierra Otomí-Tepehua y cuenta con una altitud no mayor a 500 msnm (Montiel-Canales & Goyenechea, 2021). La PV es la más pequeña de las cuatro provincias que se encuentran en Hidalgo; sin embargo, esta provincia cuenta con una mayor diversidad de helechos que la SMO. En contraste, la SMO es la región biogeográfica de mayor extensión territorial, con aproximadamente 39% de la superficie estatal. Se encuentra presente en 46 municipios de la entidad, en regiones templadas y montañosas de las zonas geoculturales conocidas como Sierra Gorda, Sierra Alta, Sierra Otomí-Tepehua y algunas regiones de la Comarca Minera y Valle de Tulancingo, a una altitud mayor a 1,000 msnm y la diversidad de helechos es menor.

El DC, que se ubica al centro-oeste del estado, comprende cerca del 27% de la superficie estatal en 32 municipios en las zonas áridas de la región geocultural conocida como Valle del Mezquital, a una altitud entre 1,000 y 2,400 msnm; es la tercera provincia en importancia de acuerdo con la diversidad de helechos. Por último, la FVT con 20% de la superficie estatal se encuentra en 33 municipios de la zona geocultural de la Cuenca de México, así como en algunos municipios del Valle de Tulancingo, la Altiplanicie Pulquera, el Valle del Mezquital y

la Comarca Minera, en altitudes de entre 1,000 y 2,500 msnm y es la zona menos diversa en helechos.

Lo expuesto anteriormente permite concluir que la provincia del PV y la SMO son las más importantes para los helechos en ambos sistemas de unidades biogeográficas y que las provincias con menos riqueza de especies de helechos son la Faja Volcánica Transmexicana seguida del Altiplano Mexicano. Estos resultados se observan tanto en los análisis de las provincias como en el de las localidades. Además, ambos trazos generalizados (Figs. 4 y 6) forman parte de un trazo generalizado más amplio identificado por Sanginés *et al.* (2011), por lo que al sobreponerse en el mapa pueden considerarse un solo patrón de distribución para los helechos en el estado de Hidalgo.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer la revisión crítica de tres revisores anónimos, cuyas sugerencias mejoraron el manuscrito. GMC agradece al Instituto Politécnico Nacional por las facilidades otorgadas durante la realización del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Zúñiga, E., Sánchez-González, A., López-Mata, L., & Tejero-Díez, J. D. (2012). Composición y abundancia de las pteridofitas en el bosque mesófilo de montaña del municipio de Tlanchinol, Hidalgo, México. *Botanical Sciences*, 90(2), 163–177. <https://doi.org/10.17129/BOTSCI.481>
- Goloboff, P. A., Farris, J. S., & Nixon, K. C. (2008). TNT, a free program for phylogenetic analysis. *Cladistics*, 24(5), 774–786. <https://doi.org/10.1111/J.1096-0031.2008.00217.X>
- Hernández-Álvarez, A. G., Sánchez-González, A., & Tejero-Díez, J. D. (2019). Licofitas y helechos del bosque mesófilo de montaña del estado de Hidalgo, México. *Botanical Sciences*, 97(2), 236–249. <https://doi.org/10.17129/BOTSCI.2093>
- Hernández-Salinas U. (2009). *Estudio herpetofaunístico del estado de Hidalgo, México*. [Tesis]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.
- Montiel-Canales G., & Goyenechea I. (2021). Provincias biogeográficas. In *La biodiversidad en Hidalgo. Estudio de Estado* (pp. 67–74). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Hidalgo, México.
- Montiel-Canales, G., Mayer-Goyenechea, I. G., Fernández-Badillo, L., & Castillo Cerón, J. M. (2016). Evaluation of PAE and endemism analysis for identifying generalized tracks using snakes in Hidalgo, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 64(4), 1611–1624. <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i4.21219>
- Morrone, J. J. (2014). Parsimony analysis of endemism (PAE) revisited. *Journal of Biogeography*, 41(5), 842–854. <https://doi.org/10.1111/JBI.12251>
- Morrone, J. J. (2015). Track analysis beyond panbiogeography. *Journal of Biogeography*, 42(3), 413–425. <https://doi.org/10.1111/JBI.12467>
- Morrone J. J., Escalante T., & Magaña P. (2009). Panbiogeografía y biogeografía cladística: Enfoques complementarios para entender la evolución biótica. In *Evolución biológica: una versión actualizada desde la revista Ciencias* (pp. 385–396). Las Prensas de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. <http://repositorio.fcencias.unam.mx:8080/xmlui/handle/11154/140740>
- Morrone, J. J., Escalante, T., & Rodríguez-Tapia, G. (2017). Mexican biogeographic provinces: Map and shapefiles. *Zootaxa*, 4277(2), 277–279–277–279. <https://doi.org/10.11646/ZOOTAXA.4277.2.8>

Recibido:
9/mayo/2022

Aceptado:
15/enero/2023

- Morrone, J. J., & Gutiérrez, A. (2005). Do fleas (Insecta: Siphonaptera) parallel their mammal host diversification in the Mexican transition zone? *Journal of Biogeography*, 32(8), 1315–1325. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2699.2005.01285.X>
- Pérez-Cervantes A. (2009). *Los helechos y licopodios del municipio de Calnali estado de Hidalgo, México*. [Tesis]. Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo.
- Pérez-Paredes, M. G., Sánchez-González, A., & Tejero-Díez, J. D. (2012). Listado de licopodios y helechos del municipio de Zacualtipán de Ángeles, Hidalgo, México. *Polibotánica*, 33, 57–73. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682012000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Ramírez-Cruz, S., Sánchez-González, A., & Tejero-Díez, D. (2009). La Pteridoflora del Parque Nacional Los Mármoles, Hidalgo, México. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, 84, 35–44. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-21282009000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Rodríguez-Casanova A. J., & Goyenechea I. (2021). Análisis de la distribución de la avifauna a través de áreas de endemismo. In *La biodiversidad en Hidalgo. Estudio de Estado* (pp. 285–292). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Hidalgo, México.
- Sánchez-González A., Tejero-Díez J. D., Pérez-Atilano Y., Hernández-Álvarez A. G., Gutiérrez-Lozano M., Pérez-Paredes M. G., & Álvarez-Zúñiga, E. (2016). *Helechos y licopodios del estado de Hidalgo*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo-Fondos Mixto Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Gobierno del Estado de Hidalgo.
- Sanginés-Franco, C., Luna-Vega, I., Ayala, O. A., & Contreras-Medina, R. (2011). Distributional Patterns and Biogeographic Analysis of Ferns in the Sierra Madre Oriental, Mexico. *American Fern Journal*, 101(2), 81–104. <https://doi.org/10.1640/0002-8444-101.2.81>
- SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales]. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación.
- Serrano M. H. (2010). *Los helechos y licopodios del Parque Nacional El Chico*. [Tesis]. Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México.
- Tryon, R. (1986). The biogeography of species, with special reference to ferns. *The Botanical Review*, 52(2), 117–156. <https://doi.org/10.1007/BF02860999>
- Zúñiga-Salvatierra J. R. (2009). *Los helechos y licopodios del municipio de Tenango de Doria, estado de Hidalgo, México*. [Tesis]. Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo, México.

Salvia divinorum (LAMIACEAE) UN NUEVO REGISTRO PARA VERACRUZ, MÉXICO

Salvia divinorum (LAMIACEAE) A NEW RECORD FOR VERACRUZ, MEXICO

Castillo-Campos, G.; J.G. García-Franco; M. Luisa Martínez y I. Frago-Martínez
Salvia divinorum (LAMIACEAE) UN NUEVO REGISTRO PARA VERACRUZ, MÉXICO
Salvia divinorum (LAMIACEAE) A NEW RECORD FOR VERACRUZ, MEXICO



Salvia divinorum* (Lamiaceae) un nuevo registro para Veracruz, México**Salvia divinorum* (Lamiaceae) a new record for Veracruz, Mexico****G. Castillo-Campos***Instituto de Ecología., A.C., Red de Biodiversidad y Sistemática, Carretera Antigua a Coatepec 351, El Haya, 91073, Xalapa, Veracruz, México.***J.G. García-Franco****M. L. Martínez** / marisa.martinez@inecol.mx*Instituto de Ecología., A.C, Red de Ecología Funcional, Carretera Antigua a Coatepec 351, El Haya, 91073, Xalapa, Veracruz, México.***I. Fragoso-Martínez** / itzi.fragoso@inecol.mx*Instituto de Ecología., A.C, Secretaría Académica (Flora de Veracruz), Carretera Antigua a Coatepec 351, El Haya, 91073, Xalapa, Veracruz, México.*Castillo-Campos, G.;
J.G. García-Franco;
M. Luisa Martínez
y I. Fragoso-Martínez*Salvia divinorum*
(LAMIACEAE) UN NUEVO
REGISTRO PARA
VERACRUZ, MÉXICO*Salvia divinorum*
(LAMIACEAE) A NEW
RECORD FOR VERACRUZ,
MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 55: 15-23. Enero 2023

DOI:
10.18387/polibotanica.55.2

RESUMEN: En este estudio se describe e ilustra a *Salvia divinorum* como un nuevo registro para la flora del estado de Veracruz. Durante el trabajo dirigido a realizar el inventario de la flora de los márgenes de los ríos que se originan en las faldas orientales del volcán Cofre de Perote, en la región central del estado de Veracruz, se registraron ejemplares del género *Salvia* (Lamiaceae), diferentes a las especies ya conocidas para Veracruz. Al identificar los ejemplares colectados se llegó a la conclusión de que pertenecen a *Salvia divinorum*, una especie previamente conocida como endémica a Oaxaca, donde tiene importancia ceremonial para los mazatecos. La especie está representada por una población, en el sotobosque del bosque mesófilo de montaña, en el margen del río, a una altitud de 1500 m s.n.m., asociada con *Carpinus caroliniana*, *Clethra mexicana*, *Liquidambar styraciflua*, *Meliosma alba* y *Quercus germana*. La población se encuentra aparentemente saludable, y no presenta indicios de uso o manejo; sin embargo, es necesario hacer más investigación a lo largo del río para determinar si existen más localidades donde se encuentre la especie.

Palabras clave: *Calosphace*, Flora de Veracruz, Lamiaceae, nuevo registro, Veracruz.

ABSTRACT: In this study, *Salvia divinorum* is described and illustrated as a new record for the state of Veracruz. During the work aimed at carrying out the inventory of the flora from the margins of the rivers that originate in the eastern hillsides of the Cofre de Perote, in the central region of the state of Veracruz, specimens of *Salvia* (Lamiaceae) that were different from the known species of the state, were registered. When these collected specimens were identified, it was concluded that they belonged to *Salvia divinorum*, a species previously known as endemic to Oaxaca, where it has ceremonial importance for the Mazatec. The species is represented by a population in the understory of the cloud forest, along the river margins, at 1500 m of elevation, associated with *Carpinus caroliniana*, *Clethra mexicana*, *Liquidambar styraciflua*, *Meliosma alba*, and *Quercus germana*. The population is apparently healthy, and it does not show signs of use or management. However, it is necessary to perform more research along the river margins to determine if there are more localities where this species can be found.

Key words: *Calosphace*, Flora of Veracruz, Lamiaceae, new record, Veracruz.

INTRODUCCIÓN

Lamiaceae Martinov es la octava familia de angiospermas con mayor riqueza de especies en México (Villaseñor, 2016) con 598 especies pertenecientes a 33 géneros (Martínez-Gordillo *et al.*, 2017). Entre ellos, destaca el género *Salvia* L. como el más diverso de plantas mexicanas con flores, con 306 especies (Martínez-Gordillo *et al.*, 2017). Las salvias mexicanas pertenecen a tres clados distintos de *Salvia* s.l., los cuales corresponden a los subgéneros *Audibertia* Benth. y *Calosphace* (Benth.) Epling y, al grupo informal *Heterosphace* (Drew *et al.*, 2017; Kriebel *et al.*, 2019). *Calosphace*, endémico al continente americano, es el subgénero más diverso de *Salvia* con 580 especies (González-Gallegos *et al.*, 2020). De ellas, 295 se distribuyen en México, convirtiéndolo en el principal centro de diversidad del subgénero (González-Gallegos *et al.*, 2020; Jenks *et al.*, 2013). Las especies de *Calosphace* están divididas en 102 secciones (González-Gallegos *et al.*, 2020). Una de estas secciones es *Dusenostachys* Epling, la cual incluye diez especies, ocho de ellas mexicanas. Estos taxones comparten la presencia de pecíolos alargados, cálices con el labio superior 3-9-nervado, corolas con tubos ventricosos, carentes de papilas en su interior y estambres inclusos en la corola, con conectivos enteros o con dientes retrorsos (Epling, 1939; Reisfield, 1987).

Las especies del subgénero *Calosphace* son ricas en terpenoides y al menos 56 de ellas son empleadas en la medicina tradicional mexicana para tratar enfermedades del sistema digestivo (e.g., *S. adenophora* Fernald, *S. amarissima* Ortega, *S. ballotiflora* Benth, etc.), fiebre (e.g., *S. chamaedrydes* Cav., *S. lavanduloides* Kunth, *S. microphylla* Kunth, etc.), durante el parto (*S. cacaliifolia* Benth., *S. candicans* M. Martens and Galeotti, *S. cinnabarina* M. Martens and Galeotti, etc.), y enfermedades culturales como “el aire”, “mal de ojo” y “espanto” (e.g., *S. elegans* Vahl, *S. amarissima* Ortega, *S. mexicana* L., respectivamente), entre otras (Ortiz-Mendoza *et al.*, 2022).

Salvia divinorum Epling & Játiva, endémica a Oaxaca, se emplea para tratar enfermedades del aparato digestivo, dolores de cabeza, disminuir las molestias del reumatismo y enfermedades culturales. No obstante, esta especie es mejor conocida por su uso en rituales de adivinación mazatecos dadas sus propiedades psicotrópicas (Valdés *et al.*, 1983; Wasson, 1962).

Veracruz es el tercer estado con mayor diversidad de plantas vasculares en México, albergando ca. 8,497 especies, 29% de ellas endémicas (Villaseñor, 2016). A nivel de familia, el estado ocupa el primer lugar en riqueza, con representantes de 271 familias de plantas vasculares, equivalente al 91.2% de las familias registradas para México (Villaseñor, 2016). Con respecto a *Salvia*, el estado ocupa el quinto lugar en riqueza, con 52 especies registradas (Martínez-Gordillo *et al.*, 2017), una de ellas—*Salvia gomezpompae* J. G. González & Bedolla—recientemente descrita (González-Gallegos *et al.*, 2021). Durante el inventario de las especies que crecen en los márgenes de los ríos originados en las faldas orientales del Cofre de Perote, se recolectaron especímenes del género *Salvia* con características distintas a las especies conocidas para el estado, pero similares a la especie registrada como endémica de Oaxaca, *Salvia divinorum*. Por ello, el objetivo de este trabajo es presentar a dicho taxón como un nuevo registro para Veracruz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El municipio de Tlanelhuayocan, Veracruz se encuentra en las faldas del Cofre de Perote, en la Sierra Madre Oriental. El clima característico de esta zona es de tipo C(fm)w”b(i)g (García, 2004), templado húmedo, con lluvias todo el año, con una temperatura media anual de 18 °C y una precipitación promedio anual de 1490.5 mm. Las lluvias más abundantes se concentran entre los meses de junio a septiembre, disminuyendo un poco en el mes de agosto, que es cuando se presenta la canícula, sequía de medio verano o intraestival (Soto & García, 1989; Zamora & Castillo-Campos, 1997). Al conducir trabajo de campo orientado a muestrear la

vegetación ribereña de esta región, se recolectaron ejemplares del género *Salvia* con estructuras reproductivas. Al observar el material fotográfico y herborizado se detectaron características morfológicas distintas a las especies de *Salvia* que han sido colectadas en la zona de estudio. Para identificar el material colectado se empleó la clave taxonómica para secciones de Epling, (1939), la cual corresponde a la revisión más completa que existe hasta el momento para el subgénero *Calosphace*. Con base en esta clave se determinó que el ejemplar pertenece a la sección *Dusenostachys*; sin embargo, al usar la clave para las especies de la sección, incluida en el mismo trabajo, no se logró identificar el taxón. Por lo anterior, se empleó la clave para *Salvia* de la Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Martínez-Gordillo *et al.*, 2019), con la cual se determinó al ejemplar como *Salvia divinorum*. Para verificar la identificación, se revisó el protólogo de dicha especie (Epling & Játiva, 1962: 75-76) y los ejemplares tipo en Jstor Global Plants (<https://plants.jstor.org/>).

Para efectuar comparaciones con otras especies de *Salvia* sección *Dusenostachys* registradas para Veracruz se utilizó el listado de Martínez-Gordillo *et al.* (2017) y, se revisaron los ejemplares de la sección colectados en Veracruz y depositados en los herbarios MEXU y XAL (Thiers, 2016). Finalmente, con el material colectado se realizó una descripción de la especie (*Salvia divinorum*), que no había sido colectada para Veracruz.

RESULTADOS

Taxonomía

Salvia divinorum Epling & Játiva, Botanical Museum Leaflets 20: 75-76. 1962 (Fig. 1).

Tipo: México: Oaxaca, San José Tenango, *A. Hoffmann & R. G. Watson s.n.* (holotipo: LA 00000121!; isotipos: ECON 00031077!, ECON 00038343!, LA 00000120!, LA in UC 1948164!).

Nombres comunes. Hierba de la pastora, ska pastora, ska Maria pastora (Oaxaca).

Hierba perenne de 0.5-1.5 m de alto, con **tallos** fistulosos, cuadrangulares, hirtulos, verdes, translucidos; **hojas** opuestas, elípticas a ovadas, ápice acuminado o caudado, base decurrente, de 10-25(30) cm de largo, 5-10 cm de ancho, adaxialmente y abaxialmente glabras, margen irregularmente cerrado o crenado; **pecíolos** 2-3.5 cm de largo; **inflorescencia** racemiforme, erecta, de 30-40 cm de largo, con 8-12 verticilastros, 3-6(12) flores por verticilastro, entrenudos de 2-4 cm, raquis violeta, pubérulo a glabrado; **brácteas florales** ovadas, sésiles, basalmente redondeadas, ápice acuminado-caudado, de 1-2(3) cm de largo, de 0.6-1 cm de ancho, tardíamente deciduas, generalmente violeta, glabras; **pedicelos** hirsutos, violetas, de 4-9 mm de largo; **cáliz** 10-12 mm de largo, 5.5-6 mm de ancho, violeta, glabro a glandularmente puberulento, labios desiguales, labio superior de 5-6 mm de largo, 3-nervado, labio inferior de 4.5-6.5 mm de largo; **corola** blanca, de 28-32 mm de largo, sigmoidal, ventricosa, densamente vilosa, con pelos translúcidos multicelulares, tubo de 19-22 mm de largo, 5.5-7 mm de ancho cerca de la garganta, superficie interna carente de papilas, glabra, labio superior 6-8 mm de largo, labio inferior 4.5-7.5 mm de largo; **estambres** insertos, glabros, blancos, ligeramente arqueados, filamentos 2-5 mm de largo, conectivo de 15-16 mm de largo, entero, anteras de 2 mm de largo; **estilo** de 27-32 mm de largo, blanco, barbado cerca del ápice, ramas estigmáticas exsertas, rama superior más larga que la inferior; **mericarpos** pardos, ovoides, ca. 2 mm de largo, glabros (Fig. 1).

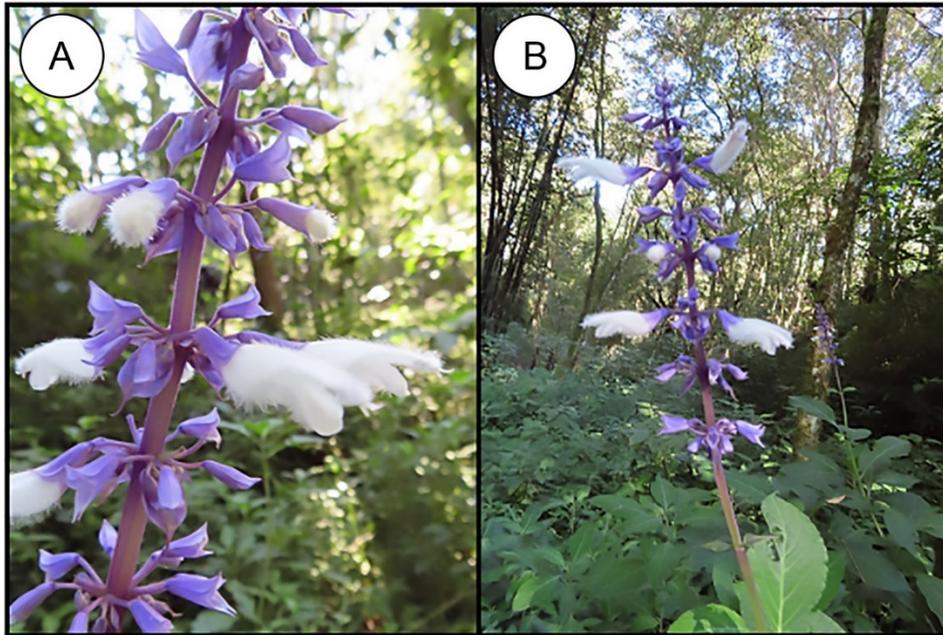


Fig 1. Inflorescencia (A) y población (B) de *Salvia divinorum* en su hábitat en Veracruz. Fotos tomadas por Gonzalo Castillo Campos.

Material estudiado: MÉXICO. OAXACA: Mpio. Huautla de Jiménez, Huautla de Jiménez, *A. Gómez-Pompa s.n.* (MEXU!), *500-e* (MEXU!), *R. Hernández 23A* (MEXU!), *R. Hernández & Ishikawa 3231* (MEXU!), *A. Ortega 45* (MEXU!); 1 km SW of market, *S.A. Reisfield & S. Solheim 1090* (MEXU!). Mpio. San Bartolomé Ayautla, San Bartolomé Ayautla, *J. Díaz & Álvarez 12* (MEXU!); Cerro Rabón (a mtn. Ridge near Ayautla), *S.A. Reisfield 1117* (MEXU!). Mpio. San José Tenango, Agua Golondrina, *P. Giovanni 261b* (MEXU!). Mpio. San Pedro Ixcatlán, Cerro Camaron, 1 km E of the Village of Cerro Quemado, *S.A. Reisfield & S. Solheim 1106* (MEXU!); *S.A. Reisfield 1242* (MEXU!). Mpio. Santa María Chilchotla, Cuauhtémoc, ca. 4 km NE of Santa María Chilchotla, near Clemencia and Santa Rosa, *S.A. Reisfield & S. Solheim 1093* (MEXU!); Cerro Quemado, *S.A. Reisfield 1116* (MEXU!). VERACRUZ: Mpio. Tlanelhuayocan, faldas orientales del Cofre de Perote 1500 m de altitud, 10 de noviembre 2021, *G. Castillo-Campos y J. G. García-Franco 30068* (MEXU!, XAL!).

Hábitat: *Salvia divinorum* es una especie herbácea que se le encuentra en el sotobosque del bosque mesófilo de montaña, en los márgenes de los ríos, en una altitud de 1500 m. Los individuos adultos de este taxón alcanzan hasta 1.5 m de alto, formando poblaciones casi monoespecíficas en la orilla del río que atraviesa los fragmentos del bosque mesófilo de montaña (Fig. 2). Co-habita con especies del estrato arbóreo como *Carpinus caroliniana* Walter (Betulaceae), *Clethra mexicana* DC. (Clethraceae), *Liquidambar styraciflua* L. (Altingiaceae), *Meliosma alba* (Schltdl.) Walp. (Sabiaceae), *Quercus germana* Schltdl. & Cham. y *Quercus grandis* Liebm. (Fagaceae), *Saurauia leucocarpa* Schltdl. (Actinidiaceae); con arbustos de *Eugenia capuli* (Schltdl. & Cham.) Hook. & Arn. (Myrtaceae), *Hoffmannia excelsa* (Kunth) K. Schum., *Psychotria galeottiana* (Martens) C. M. Taylor & Lorence, *Randia aculeata* L. (Rubiaceae), *Xylosma flexuosa* (Kunth) Hemsl. (Salicaceae), y hierbas de *Desmodium scorpiurus* (Sw.) Poir. in F. Cuvier (Fabaceae), *Hildaea tenuis* (J. Presl) C. Silva & R.P. Oliveira y *Panicum nemorosum* Sw. (Poaceae), *Parablechnum schiedeanum* (C. Presl) Gasper & Salino (Blechnaceae) y *Selaginella stellata* Spring (Selaginellaceae).

Fenología: *Salvia divinorum* no tiene un periodo de floración determinado, pues a diferencia de otras especies de *Salvia* que florecen cada año, pueden pasar años entre los periodos de floración de *S. divinorum*, que son de octubre a noviembre (Reisfield, 1987). Este es el caso de la población encontrada en el área de estudio, en donde floreció una sola vez durante cuatro años de monitoreo.

Usos: especie empleada en rituales de adivinación mazatecas por sus propiedades psicotrópicas (Epling & Játiva, 1962; Jenks *et al.*, 2011; Valdés *et al.*, 1983; Wasson, 1962). Adicionalmente, es de importancia en la medicina tradicional para tratar malestares gastrointestinales, enfermedades infecciosas (Calzada & Bautista, 2020), fiebre, dolor (Romero, 2018) y enfermedades culturales (Valdés *et al.*, 1983). A partir de extractos de esta especie se ha aislado y caracterizado la Salvinorina A (Siebert, 1994). Este neoclerodano ha sido ampliamente estudiado farmacológicamente (Ortiz-Mendoza *et al.*, 2022) y se han detectado que tiene actividad antidepresiva (Calzada *et al.*, 2015), ansiolítica (Herrera-Ruiz *et al.*, 2006), antinociceptiva y antiinflamatoria (Tlacomulco-Flores *et al.*, 2020).

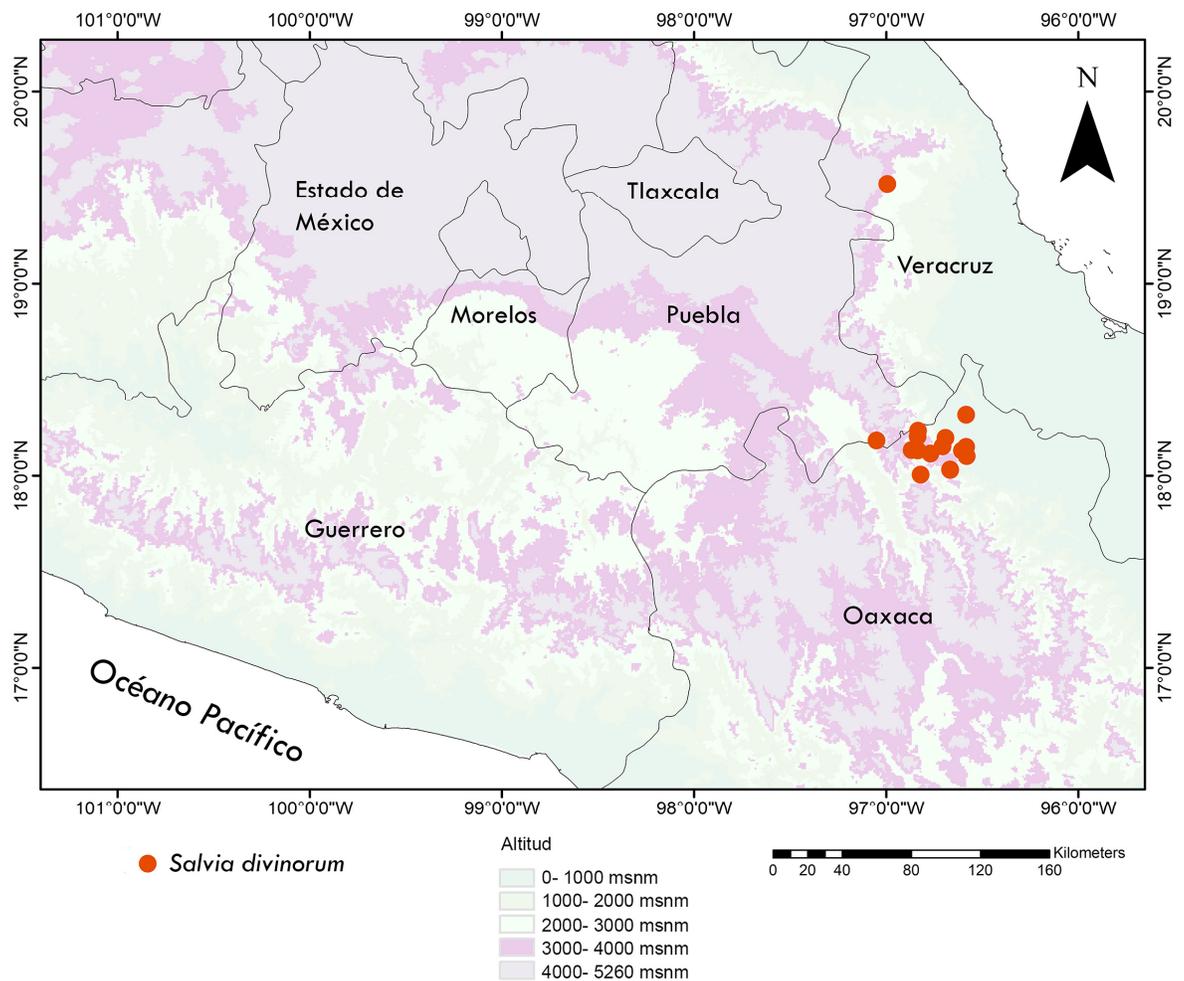


Fig. 2: Mapa de distribución de *Salvia divinorum* Epling & Játiva, en Oaxaca y en la nueva localidad de Veracruz.

DISCUSIÓN

En Veracruz el género *Salvia* estaba representado por 52 especies (González-Gallegos *et al.*, 2021; Martínez-Gordillo *et al.*, 2017); sin embargo, con el nuevo registro de *S. divinorum* se incrementa a 53 taxones para el estado, y su distribución deja de estar restringida al estado de Oaxaca (Jenks *et al.*, 2011; Martínez-Gordillo *et al.*, 2017; Reisfield, 1987). *Salvia divinorum* es una especie muy rara en el medio natural del centro de Veracruz. De acuerdo con la información local, su naturalización se debe a que se escapó de un cultivo de una propiedad rural localizada en el mismo río donde se encontró. Por sus propiedades en la medicina tradicional fue introducida; sin embargo, no se observaron evidencias de uso (v.gr., ramas y hojas cortadas). Por el contrario, la población es pequeña, pero se encuentra en buen estado y con algunas ramas floreciendo.

Salvia divinorum es una especie que se reproduce principalmente de manera vegetativa pues se fragmenta fácilmente y los nudos de las ramas generan raíces cuando entran en contacto con el suelo húmedo (Reisfield, 1993). Por otro lado, la reproducción sexual de la especie es poco exitosa, pues estudios realizados en invernaderos por Reisfield (1993), demostraron que la viabilidad de los granos de polen es baja (53-56%) y, solamente 2.5-3% de las polinizaciones manuales resultan en frutos fértiles, lo que sugiere que su éxito reproductivo natural debe de ser igualmente bajo. Tomando en cuenta lo anterior, las poblaciones de *S. divinorum* en Veracruz podrían aumentar en el futuro, si durante la temporada de lluvias el río llega a arrastrar fragmentos de las ramas o los pocos frutos que se desarrollen, ya que, en ese periodo, éste incrementa mucho su cauce por ser un río de respuesta rápida.

Las especies de *Salvia* sección *Dusenostachys* presentan en su mayoría flores con corolas azules, exceptuando a *Salvia madreensis* Seem. y *S. divinorum*, que tienen corolas amarillas y blancas, respectivamente (Epling, 1939; Reisfield, 1993). Sin embargo, el color de las corolas de *S. divinorum* fue objeto de confusión a tal grado que originalmente fueron descritas como azules en el protólogo (Epling & Játiva, 1962: 75-76). Esto fue resultado de varios factores: la confusión de los cálices con corolas por los colectores del tipo—Hoffman & Wasson—, la falta de material con flores en anthesis para el especialista y el color café que toman las corolas blancas con el secado, similar a las corolas azules (Reisfield, 1993). Fue hasta 1993 que Reisfield, tras observaciones y colectas en campo, publicó una descripción ampliada y corregida de *Salvia divinorum*, dónde se aclaró dicha confusión. En ella, se describen por primera vez las flores de la especie, formadas por cálices violeta con corolas blancas. En Veracruz, además de *Salvia divinorum*, habitan otras tres especies de *Salvia* sección *Dusenostachys*. Estos taxones presentan corolas azules o violeta, por lo que *S. divinorum* se distingue de ellas principalmente por sus corolas blancas. Sin embargo, los labios de las corolas de *S. divinorum* pueden tornarse violeta con la edad (Reisfield, 1987, 1993), por lo que podrían ser objeto de confusión. Por ello a continuación, se presenta una clave de identificación para las especies de *Salvia* subgénero *Calosphace* sección *Dusenostachys* distribuidas en Veracruz:

1. Base de la lámina atenuada a largamente decurrente; corolas blancas, en ocasiones los labios con tintes violeta, exterior del tubo densamente pubescente..... *Salvia divinorum*
1. Base de la lámina truncada, redondeada o cordada; corolas azules o violeta, exterior del tubo esparcidamente viloso:
 2. Cáliz 9-12 mm de largo; tubo de la corola 20-25 mm de largo, labio inferior 14-18 mm de largo..... *Salvia recurva*
 2. Cáliz 5-7 mm de largo; tubo de la corola 10-16 mm de largo, labio inferior 5.5-10.5 mm de largo.
 3. Envés viloso en las venas; raquis de la inflorescencia densamente viloso; 6-10 flores por verticilastro; labio superior de la corola 6-8 mm de largo..... *Salvia biserrata*
 3. Envés glabro o glabrado; raquis de la inflorescencia puberulo; 3-4 flores por verticilastro; labio superior de la corola 10-12 mm de largo..... *Salvia flaccidifolia*

CONCLUSIONES

Salvia divinorum se reporta por primera vez en el estado de Veracruz. La especie parece haber escapado de cultivo y ahora se encuentra naturalizada formando una población al margen de un río en el bosque mesófilo de montaña. El número de poblaciones podría crecer en el futuro, si fragmentos de las plantas o algunos frutos son transportados por el cauce del río. La especie destaca dentro del resto de los taxones relacionados, pertenecientes a *Salvia* subgénero *Calosphace* sección *Dusenostachys* por el color de sus corolas (blancas vs. azules).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dra. Viridiana Vega Badillo por la elaboración del mapa, y a María Teresa Jiménez Segura por la edición y formato de las figuras. Finalmente, agradecemos los valiosos comentarios de los revisores anónimos, los cuales enriquecieron el trabajo aquí presentado.

LITERATURA CITADA

- Calzada, F., & Bautista, E. (2020). Plants used for the treatment of diarrhoea from Mexican flora with amoebicidal and giardicidal activity, and their phytochemical constituents. *Journal of Ethnopharmacology*, 253:112676. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112676>
- Calzada, F., Bautista, E., Yépez-Mulia, L., García-Hernández, N., & Ortega, A. (2015). Antiamoebic and anti-giardial activity of clerodane diterpenes from Mexican *Salvia* species used for the treatment of diarrhea. *Phytotherapy Research*, 29, 1600–1604. <https://doi.org/10.1002/ptr.5421>
- Drew, B. T., González-Gallegos, J. G., Xiang, C., Kriebel, R., Drummond, C. P., Walker, J. B., & Sytsma, K. J. (2017). *Salvia* united: The greatest good for the greatest number. *Taxon*, 66, 133–145. <https://doi.org/10.12705/661.7>
- Epling, C., & Játiva, C. (1962). A new species of *Salvia* from Mexico. *Botanical Museum Leaflets, Harvard University*, 20, 75–84. <https://doi.org/10.5860/choice.48-6651>
- Epling, Carl. (1939). A revision of *Salvia* subgenus *Calosphace*. *Repertorium Specierum Novarum Regni Vegetalis*, 110, 380.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (5th ed.). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 90 pp.
- González-Gallegos, J. G., Bedolla-García, B. Y., Cornejo-Tenorio, G., Fernández-Alonso, J. L., Fragoso-Martínez, I., García-Peña, M. R., Harley, R. M., Klitgaard, B., Martínez-Gordillo, M. J., Wood, J. R. I., Zamudio, S., Zona, S., & Xifreda, C. C. (2020). Richness and distribution of *Salvia* subgenus *Calosphace* (Lamiaceae). *International Journal of Plant Sciences*, 181(8), 831–856. <https://doi.org/10.1086/709133>
- González-Gallegos, J. G., Bedolla-García, B. Y., & Uría, R. (2021). *Salvia gomezpompae* (Lamiaceae), a new species from Veracruz, Mexico. *Botanical Sciences*, 1(1), 976–990. <https://doi.org/10.17129/BOTSCI.2889>
- Herrera-Ruiz, M., García-Beltrán, Y., Mora, S., Díaz-Véliz, G., Viana, G. S., Tortoriello, J., & Ramírez, G. (2006). Antidepressant and anxiolytic effects of hydroalcoholic extract from *Salvia elegans*. *Journal of Ethnopharmacology*, 107, 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.02.003>
- Jenks, A.A., Walker, J. B., & Kim, S. C. (2011). Evolution and origins of the Mazatec hallucinogenic sage, *Salvia divinorum* (Lamiaceae): a molecular phylogenetic approach. *Journal of Plant Research*, 124, 593–600. <https://doi.org/10.1007/s10265-010-0394-6>

Recibido:
25/mayo/2022

Aceptado:
16/enero/2023

- Jenks, Aaron A, Walker, J. B., & Kim, S.-C. (2013). Phylogeny of New World *Salvia* subgenus *Calosphace* (Lamiaceae) based on cpDNA (psbA-trnH) and nrDNA (ITS) sequence data. *Journal of Plant Research*, 126(4), 483–496. <https://doi.org/10.1007/s10265-012-0543-1>
- Kriebel, R., Drew, B. T., Drummond, C. P., González-Gallegos, J. G., Celep, F., Mahdjoub, M. M., Rose, J. P., Xiang, C., Hu, G., Walker, J. B., Lemmon, E. M., Lemmon, A. R., & Sytsma, K. J. (2019). Tracking temporal shifts in area, biomes, and pollinators in the radiation of *Salvia* (sages) across continents: leveraging anchored hybrid enrichment and targeted sequence data. *American Journal of Botany*, 106(4), 1–25. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1268>
- Martínez-Gordillo, M., Bedolla-García, B., Cornejo-Tenorio, G., Fragoso-Martínez, I., García-Peña, M. R., González-Gallegos, J. G., Lara-Cabrera, S. I., & Zamudio, S. (2017). Lamiaceae de México. *Botanical Sciences*, 95(4), 780–806. <https://doi.org/10.17129/botsci.1871>
- Martínez-Gordillo, M., Martínez-Ambríz, E., García-Peña, M., Cantu-Morón, E., & Fragoso-Martínez, I. (2019). Lamiaceae. In *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*, 156 (pp. 1–234). http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/floras_tehuacan/fas31.pdf
- Ortiz-Mendoza, N., Aguirre-Hernández, E., Fragoso-Martínez, I., González-Trujano, M. E., Basurto-Peña, F. A., & Martínez-Gordillo, M. J. (2022). A Review on the Ethnopharmacology and Phytochemistry of the Neotropical Sages (*Salvia* Subgenus *Calosphace*; Lamiaceae) Emphasizing Mexican Species. *Frontiers in Pharmacology* 13: 867892. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.867892>
- Reisfield, A. (1987). *Systematic studies in Salvia L. (Lamiaceae) with special emphasis on subgenus Calosphace (Benth.) Benth. section Dusenostachys Epl.* Tesis de Doctorado. University of Wisconsin Madison, Madison. 423 pp.
- Reisfield, A. (1993). The botany of *Salvia divinorum*. *Sida*, 15(3), 349–366. <https://doi.org/10.2307/1223953>
- Romero, T. (2018). *Estudio etnobotánico de las plantas medicinales de San José Vista Hermosa. Oaxaca, y evaluación farmacológica de Plectranthus scutellarioides (L.) R.Br.* Tesis de Licenciatura. Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. 102 pp. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29882.13760>
- Siebert, D. J. (1994). *Salvia divinorum* and Salvinorin A: new pharmacologic findings. *Journal of Ethnopharmacology*, 43, 53–56. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(94\)90116-3](https://doi.org/10.1016/0378-8741(94)90116-3)
- Soto, E. M., & García, E. (1989). *Atlas climático del estado de Veracruz*. Instituto de Ecología, A.C. 125 pp.
- Thiers, B. (2016). *Index Herbariorum: A Global Directory of Public Herbaria and Associated Staff*. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. <http://sweetgum.nybg.org/science/ih/>
- Tlacomulco-Flores, L. L., Déciga-Campos, M., González-Trujano, M. E., Carballo-Villalobos, A. I., & Pellicer, F. (2020). Antinociceptive effects of *Salvia divinorum* and bioactive Salvinorins in experimental pain models in mice. *Journal of Ethnopharmacology*, 248:112276. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112276>
- Valdés, L. J., Díaz, J. L., & Paul, A. G. (1983). Ethnopharmacology of Ska María Pastora (*Salvia divinorum* Epling & Játiva). *Journal of Ethnopharmacology*, 7, 287–312. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(83\)90004-1](https://doi.org/10.1016/0378-8741(83)90004-1)
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 559–902. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Wasson, R. G. (1962). A new Mexican psychotropic drug from the mint family. *Botanical Museum Leaflets Harvard University*, 20, 77–84.
- Zamora, C. P., & Castillo-Campos, G. (1997). *Vegetación y flora del municipio de Tlalnelhuayocan, Veracruz*. Universidad Veracruzana. 88 pp.

ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD ARBÓREA DE UN BOSQUE DE PINO-ENCINO EN HUIZTLATZALA, GUERRERO, MÉXICO

STRUCTURE AND TREE DIVERSITY OF A PINE-OAK FOREST IN HUIZTLATZALA, GUERRERO, MEXICO

Rodriguez Pacheco, A.; M. I. Palacios Rangel; L. Mohedano Caballero y A. Villanueva Morales

ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD ARBÓREA DE UN BOSQUE DE PINO-ENCINO EN HUIZTLATZALA, GUERRERO, MÉXICO

STRUCTURE AND TREE DIVERSITY OF A PINE-OAK FOREST IN HUIZTLATZALA, GUERRERO, MEXICO



Estructura y diversidad arbórea de un bosque de pino-encino en Huiztlatzala, Guerrero, México**Structure and tree diversity of a pine-oak forest in Huiztlatzala, Guerrero, Mexico**

Rodriguez Pacheco, A.;
M. I. Palacios Rangel;
L. Mohedano Caballero
y A. Villanueva Morales

ESTRUCTURA Y
DIVERSIDAD ARBÓREA DE
UN BOSQUE DE PINO-
ENCINO EN
HUIZTLATZALA,
GUERRERO, MÉXICO

STRUCTURE AND TREE
DIVERSITY OF A PINE-OAK
FOREST IN
HUIZTLATZALA,
GUERRERO, MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 55: 25-40. Enero 2023

DOI:
10.18387/polibotanica.55.3

A. Rodriguez Pacheco
M. I. Palacios Rangel / marisa@ciestaam.edu.mx

L. Mohedano Caballero

A. Villanueva Morales

Universidad Autónoma Chapingo

División de Ciencias Forestales

Km 38.5 C.P. 56230. Texcoco, México.

RESUMEN: El objetivo del presente estudio fue caracterizar un bosque de *Pinus-Quercus* a través de indicadores ecológicos y la composición de especies presentes en el estrato arbóreo en Huiztlatzala, Guerrero. Se establecieron 25 sitios circulares de 500 m² para hacer el inventario del arbolado adulto y sus variables dasométricas (altura total, diámetro normal mayor a 5 cm y cobertura). Los parámetros estructurales del bosque (densidad, dominancia, área basal y cobertura) se emplearon para calcular el índice de Valor de Importancia, y los índices de similitud). La riqueza de especies forestales se estimó con los modelos Chao 1 y Bootstrap. El índice de Jaccard se utilizó para determinar la similitud entre sitios. Los resultados mostraron siete especies forestales distribuidas en dos géneros, y dos familias *Pinus teocote* registraron una altura media de 9.51 m y un diámetro de 19.55 cm superior al de otras especies, con un valor de importancia de con un 148% contraste con *Quercus rubramenta* 57%. Los estimadores de riqueza indicaron que se registró más del 98% de las especies calculadas por 1 ha para cada sitio ($H' = 1.27$, $\lambda = 0.68$). Los resultados obtenidos permitieron identificar las dimensiones, parámetros estructurales y dominancia de las especies; de ellas, *Pinus teocote* fue la de mayor valor. Se concluye que la comunidad presenta una baja diversidad y riqueza de especies arbóreas, debido al cambio de uso del suelo por influencia humana. Es necesario establecer actividades de restauración y conservación para evitar el deterioro del bosque.

Palabras clave: Árbol, conservación, disturbio antropogénico, montaña, *Pinus-Quercus*, vegetación.

ABSTRACT: The objective of this study was to characterize a *Pinus-Quercus* forest through ecological indicators and the composition of species present in the tree stratum in Huiztlatzala, Guerrero. Twenty-five circular sites of 500 m² were established to inventory the adult trees and their dasometric variables (total height, normal diameter greater than 5 cm and cover). The structural parameters of the forest (density, dominance, basal area and cover) were used to calculate the Importance Value index and the similarity indexes.) Species richness was estimated with the Chao 1 and Bootstrap models. The Jaccard index was used to determine similarity between sites. The results showed seven species distributed in two genera and two families *Pinus teocote* recorded a mean height of 9.51 m and a diameter of 19.55 cm higher than other species, with an importance value of 148% in contrast to *Quercus rubramenta* 57%. Richness estimators indicated that more than 98% of the calculated species per 1 ha were recorded for each site ($H' = 1.27$, $\lambda = 0.68$). The results obtained allowed us to identify the dimensions, structural parameters and species dominance; of these, *Pinus teocote* had the highest value. It is concluded that the community has a low diversity and richness of tree species, due to the change in land use by human influence. It is necessary to establish restoration and conservation activities to avoid forest deterioration.

Key words: Tree, conservation, anthropogenic disturbance, mountain, *Pinus-Quercus*, vegetation.

INTRODUCCIÓN

Los bosques contribuyen con bienes y servicios ambientales que permiten la conservación de la diversidad biológica, y son la base donde se produce la regulación de los ciclos vitales para la supervivencia de las especies (Blanco, 2017). Sin embargo, existen eventos que alteran temporal o permanentemente la estructura de los ecosistemas (Franklin *et al.*, 2002), ya sea como consecuencia de actividades antropogénicas o como resultado de perturbaciones naturales ocurridas a lo largo de la historia, como incendios, ciclones o erupciones volcánicas, entre otros.

Según Magurran (1998) y Hernández-Salas *et al.*, (2013) para calcular la diversidad de especies es fundamental considerar la riqueza como una de sus medidas, así como las características estructurales que poseen, ya que éstos permiten identificar su dinámica y determinar las particularidades (densidad, dominancia y frecuencia; morfología) que presenta su distribución, organización y composición en respuesta a variables climáticas, gradientes ambientales y perturbaciones antropogénicas.

En la Montaña Alta de Guerrero existen áreas de bosque de pino-encino perturbadas, debido a diversas actividades antropogénicas como la siembra de cultivos ilícitos, la tala inmoderada, los incendios y la ganadería extensiva, entre otras, provocando la deforestación de algunas áreas naturales y afectando su densidad vegetativa (Arteaga *et al.*, 1985; Cervantes *et al.*, 1996).

Tal es el caso de la comunidad de Huiztlatzala, que cuenta con áreas afectadas por la tala de árboles que han venido realizando algunas comunidades ubicadas en el área de estudio como Río San Marcos, Cruz Piedra Salada y Tierra Colorada (motivadas por la expectativa de generar mayores ingresos económicos), lo que ha provocado cambios en el uso del suelo y llevado al desmonte parcial de un sector importante de su superficie forestal. En contraste (y como respuesta emergente a esta situación), en la parte alta de la comunidad de Huiztlatzala, se han efectuado algunas acciones de conservación del bosque; sin embargo, no se han realizado estudios y mediciones *in situ* para determinar los resultados de estas prácticas.

Ante esta problemática, el objetivo del trabajo es caracterizar el bosque de pino-encino de Huiztlatzala a partir de la medición de su estructura y diversidad, con el fin de generar información como condición inicial para implementar programas de manejo sustentable o de restauración ecológica; asimismo, ampliar el conocimiento de las especies arbóreas que habitan en este lugar, contribuyendo a su conservación, ya que debido a la complejidad geomorfológica y a los problemas de violencia e inseguridad que ocurren en esa zona, ha sido difícil consolidar estudios más completos sobre la diversidad de la vegetación en la región de la Montaña de Guerrero (Valencia *et al.*, 2011). Así, las preguntas a responder en este ejercicio son: ¿Qué nivel de diversidad y riqueza de especies arbóreas se presenta en el área de estudio del bosque de pino-encino? ¿Cómo se encuentra distribuida la vegetación arbórea del bosque de Huiztlatzala, Guerrero?

Las hipótesis propuestas para ser comprobadas en el presente trabajo son: a) Al menos una especie dominante del género *Pinus* está presente con un valor de índice de importancia ≥ 180 ; b) El porcentaje de afinidad de las especies arbóreas en los sitios es $\geq 50\%$ indicando que las especies presentes tienen una alta similitud.

Se considera que la información presentada en este trabajo constituye una plataforma útil que permitirá tomar decisiones más informadas a la hora de implementar planes de conservación, planes de manejo integrado o medidas preventivas para mitigar la degradación del hábitat o la extinción de especies arbóreas endémicas. Cabe destacar que los datos presentados en este estudio son los primeros de su tipo para la comunidad de Huiztlatzala, por lo que también servirán de base para futuros estudios. Todo lo anterior se hizo bajo la idea de que el sentido de pertenencia y la clara conciencia de la importancia de sostener la diversidad de especies vegetales por parte de la población es un aspecto muy relevante, ya que es un componente fundamental que permite explicar y entender (en diferentes campos disciplinarios) su comportamiento económico comunitario, sus prácticas periódicas de manejo y colecta, y la concepción simbólica que tienen del bosque.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El municipio de Zapotitlán Tablas tiene una extensión 820.90 km² a una altitud promedio de 2,300 m, el clima es templado subhúmedo C (w2) según la clasificación de Köppen (modificado por Enriqueta García), con temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, una precipitación promedio de 50 mm mensuales (INEGI, 2000). En cuanto a la vegetación dominante, la parte norte del municipio predomina la selva baja caducifolia, y las partes sur y meridional por bosques de coníferas y encinos. La topografía está dominada por colinas y laderas empinadas donde abundan, en el estrato arbóreo, encinos (*Quercus* spp.), pinos (*Pinus* spp), además de especies trepadoras y epífitas como las bromelias (*Bromelia* sp.).

El estudio se realizó en un área comunal con una superficie de 140 ha de bosque de *Pinus-Quercus* de la comunidad de origen indígena de Huiztlatzala, uno de los 37 poblados del municipio, ubicado en las coordenadas 17° 23'56" LW y 98°45',09" LN, el tipo de suelo es cambisol crómico y el regosol eútrico, el primero es apto para agricultura y el segundo de vocación forestal, con un bajo nivel de desarrollo mineral (CONABIO, 2010). El suelo tiene un pH ácido, de textura media, libre de carbonatos y de sales, bajo nivel de materia orgánica, exiguo nivel de calcio, muy deficiente de fósforo y deficiente en potasio, bajo en zinc y boro (CONABIO, 2010) (Fig. 1).

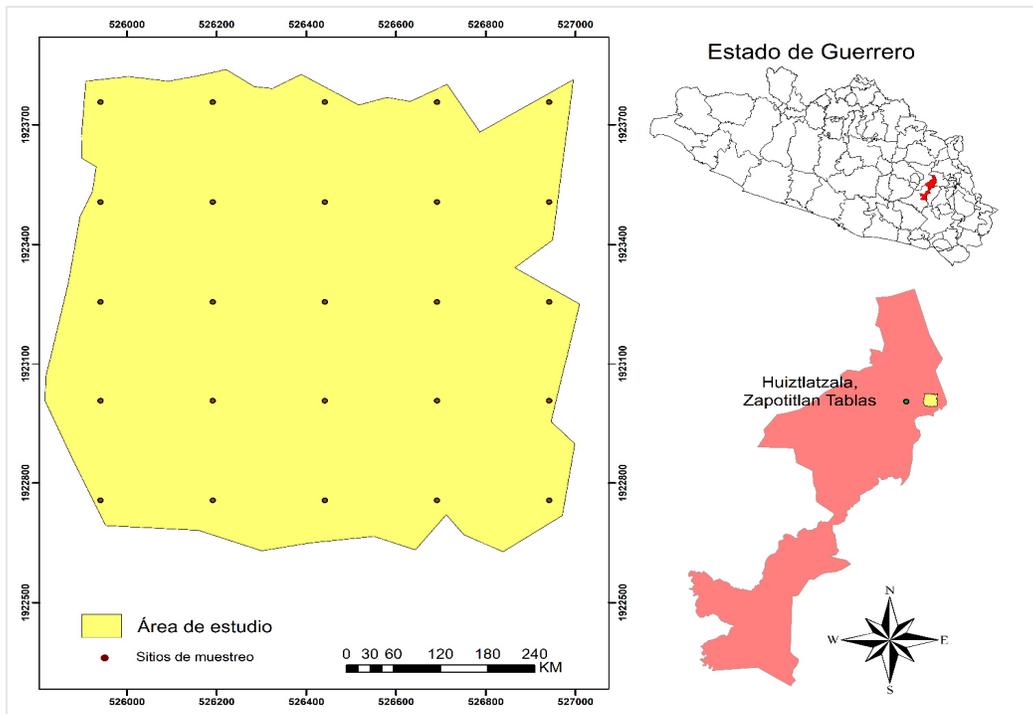


Fig. 1. Localización del área de estudio y distribución de los sitios de muestreo.

Diseño de muestreo

Se establecieron 25 sitios circulares distribuidos aleatoriamente en área de estudio, con una superficie de 500 m² (0.05 ha) para el inventario del arbolado (Fig. 1), Esto equivale a una superficie inventariada de 1.25 ha. El número de sitios es el suficiente para alcanzar un error admisible de 10 %, el cual está dentro del intervalo establecido para sitios circulares (Aguirre C. *et al.*, 2016) con un nivel de confianza de 95%. Al ser un bosque homogéneo, el tamaño de los sitios de muestreo permitió obtener

resultados significantes, en cada sitio se consideró un árbol como centro, a partir de éste se establecieron cuatro cuerdas con radio de 12.62 m para obtener la superficie de 500 m².

$$E\% = t(s\%\sqrt{n})$$

$$n = t^2 s\% \frac{t^2 s\%^2}{E\%^2}$$

n= Número de unidades de muestreo (tamaño de la muestra)

t= Valor de nivel de confianza

s%= Estimación del coeficiente de variación de la población

E%= Error admisible

Estructura y composición arbórea

Se realizó un inventario forestal en el bosque de *Pinus-Quercus* siguiendo los procedimientos de Villavicencio E. y Valdez H., (2003). Se consideraron los individuos con un diámetro mayor a 5 cm, se identificaron las especies, se contaron los ejemplares y se les midieron las variables dendrométricas de diámetro normal (DN) medido a 1.3 m del suelo. La estructura vertical, es decir, la altura total de los diferentes estratos del arbolado, se obtuvo con un hipsómetro marca *Suunto*[®]. Se definieron cinco clases de altura, la amplitud de cada una correspondió a 5 m. El límite inferior de la clase (altura mínima del arbolado) fue de 2 m y el límite superior (altura máxima) de 26 m.

La estructura horizontal fue representada por la densidad de arbolado (*D*), el diámetro normal (*DN*) y área basal (*AB*), principalmente. Se evaluó la densidad de árboles adultos en pie (Villavicencio E. & Valdez H., 2003). El *DN* se midió utilizando una cinta diamétrica marca Richter[®]. Se definieron 6 clases diamétricas con amplitud de 5 cm entre cada clase. La clase máxima fue >66 cm de *DN*. Para la cobertura de dosel se midió el diámetro de copa empleando la fórmula para una elipse: *Diámetro de copa* = (*eje a* × *eje b*); para ello, se obtuvieron dos mediciones (*eje a*: norte-sur y *eje b*: este-oeste) realizadas con el hipsómetro marca *Suunto*[®]. Se calculó el promedio de ambas mediciones. Se utilizaron las fórmulas aplicadas por Zarco-Espinosa *et al.*, (2010), el área basal (*AB*) se estimó con la fórmula:

$$AB = \pi 4 (DN)^2$$

Donde $\pi = 3.1416$

La cobertura relativa (CR) se obtuvo aplicando la fórmula:

$$CR = \left(\frac{\text{Diámetro de copa de todas las especies}}{\text{Área muestreada}} \right) \times 100$$

Selección de variables y análisis de la vegetación

Se recolectaron muestras botánicas de los ejemplares desconocidos, las muestras se herborizaron con base en la metodología de Lot y Chiang (1986). Para la identificación se utilizó el *Catálogo de encinos del estado de Guerrero, México* (Valencia-Ávalos *et al.*, 2011), y el *Manual sobre la flora de Guerrero, Pinaceae* (Fonseca, 2013) el material se analizó en el área de Botánica de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. La información obtenida en los muestreos se concentró en una base de datos para su análisis y la obtención de indicadores ecológicos.

Cálculo de índices y análisis estadístico

Para obtener el valor del índice de importancia se calcularon los atributos de la vegetación como son: a) frecuencia (FR), b) abundancia (AR) y c) dominancia (DR), los que se indican de forma absoluta y relativa, para las especies registradas en cada uno de los sitios (Curtis &

McIntosh, 1951). La suma total de los valores relativos de los tres integra el valor de importancia ecológica, calculado para cada familia (IVF) y especie (IVI), que se expresó como el 100% (Mostacedo & Fredericksen, 2000) (Tabla 1).

La riqueza de especies se cuantificó determinando el número de familias, géneros y especies de cada sitio muestreado. La riqueza de especies de cada sitio se estimó con los modelos matemáticos Chao 1 (Chao & Lee, 1992) y Bootstrap 1 (Williams & Lutterschmidt, 2006), utilizando el programa Estimate S 8.2.0. Los datos observados y estimados se representaron mediante curvas de acumulación de especies (Palmer, 1990).

Se utilizaron los índices de Shannon Wiener H' y el de Simpson λ para obtener en nivel de dominancia de las especies estudiadas. Se determinó el índice o coeficiente de afinidad de Jaccard (IJ) (Moreno E., 2001), y para corroborar el nivel de igualdad entre sitios respecto a las especies identificadas, se aplicaron los análisis de similitud de Curtis y McIntosh (1951) con el software Past®, versión 3.2.

Para evaluar la eficacia del muestreo, la media de la riqueza estimada se dividió entre los índices planteados y se multiplicó por 100. El segundo método utilizado fue el de estimadores paramétricos, considerando el modelo Exponencial Negativo y la Ecuación de Clench, ambos ajustados mediante el software IBM® SPSS Statistics 25, con regresión no lineal mediante el método de estimación de Levenberg-Marquardt (L-M), según lo propuesto por Cornejo y Rebolledo (2016).

Tabla 1. Fórmulas utilizadas para determinar diversidad y estructura de las especies arbóreas.

Fórmula	Descripción
$A_r = \frac{n}{N} * 100$	A_r = abundancia relativa n = número de individuos de la especie i N = número total de individuos encontrados
$F_r = \frac{m}{M} * 100$	F_r = Frecuencia relativa m = Presencia de la especie i en el sitio de muestreo M = número total de sitios
$V_i = A_r + F_r + D_r$	V_i = valor de importancia A_r = abundancia relativa F_r = frecuencia relativa D_r = dominancia relativa
$Do_{rel} \left(\frac{Do}{\sum_{i=1}^n Do} \right) * 100$	Do_{rel} = Dominancia relativa de la especie i respecto a la dominancia total Do = Dominancia absoluta
$H' = - \sum pi * \ln pi$	H' = índice de Shannon Wiener pi = abundancia relativa
$D = \sum \left(\frac{ni(ni - 1)}{N(N - 1)} \right)$	D = índice de Simpson ni = número de individuos de la especie i N = número total
$S_n = \frac{an}{(1 + bn)}$	S_n = es el número esperado de especies, n representa el esfuerzo de muestreo. a = tasa de incremento de nuevas especies al comienzo del inventario b = es el parámetro relacionado con la forma de la curva, el cociente de a/b = representa el número de especies a alcanzar la asíntota.
$Chao_1 = S_{obs} + \frac{F^2}{2b}$	S_{obs} = especies observadas F = es el número de especies representadas por un único individuo b = el número de especies representadas por dos individuos

Fuente: Moreno (2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición florística y estructura

El listado florístico de las especies arbóreas comprende siete especies en total, distribuidas en dos géneros y dos familias (Tabla 2) *Fagaceae* con seis especies, y *Pinaceae* con una. *Pinus teocote* Schiede ex Schltl & Cham (con altura [*h*] promedio de 9.51 m *DN* de 19.55 cm), *Quercus laurina* Bonpl (con *h* promedio de 8.22 m y *DN* de 22.25 cm), *Quercus martinezii* Mull (con *h* promedio de 7.12 m y *DN* de 15.12 cm) *Quercus rubramenta* Trel (con *h* promedio de 6.90 m y *DN* de 11.35 cm), *Quercus crispifolia* Trel (con *h* promedio de 5.89 m y *DN* de 17.51 cm), *Quercus crassifolia* Benth (con *h* promedio de 5.85 y *DN* de 10.68 cm) y *Quercus peduncularis* Née (con *h* promedio de 4.03 m y *DN* de 14.74 cm).

Tabla 2. Especies dominantes en el estrato arbóreo del bosque pino-encino en Huiztlatzala, Guerrero.

Familia	Género	Especie	Nombre común	Denominación local (lengua Me'phaa)
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>peduncularis</i>	encino prieto	ixi xaanuu
	<i>Quercus</i>	<i>laurina</i>	encino laurel	ixi runii
	<i>Quercus</i>	<i>rubramenta</i>	encino amarillo	ixi xta'paa
	<i>Quercus</i>	<i>martinezii</i>	encino rojo	ixi xtamaña
	<i>Quercus</i>	<i>crassifolia</i>	encino cucharo	ixi cha'la
	<i>Quercus</i>	<i>crispifolia</i>	encino de agua	ixi xtujiaa
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>teocote</i>	pino ocotero	xti'kha

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en campo.

Lo anterior es similar a lo planteado en otros estudios de la región como el de Ríos et al., (2018) quienes reportaron que la familia más abundante en el bosque de Piedra Escalera, Tlacoapa, Guerrero, fue *Fagaceae*, con cinco especies y *Pinaceae* con tres. Asimismo, Flores D. y López L., (2018) registraron cinco especies de la familia *Fagaceae* del bosque del Cerro de la Lucerna de Tejocote, Guerrero, como las más abundantes; por su parte, Méndez-Osorio et al. (2014) documentan cinco familias e igual número de taxones en un bosque de *Pinus-Quercus* de la Sierra Madre del Sur después de un incendio.

En contraste, Alanís-Rodríguez et al., (2011); Graciano-Ávila et al., (2017); Hernández-Salas et al., (2013); López-Hernández et al., (2017); Rubio-Camacho et al., (2017); y Zacarias-Eslava et al., (2011) reportan un número mayor de especies para ambas familias en bosques de este tipo en otras regiones de México. Esta baja riqueza de especies puede ser un efecto debido a las actividades antropogénicas realizadas en esa zona como son: la agricultura, la tala ilegal, la ganadería trashumante local y los incendios provocados por la inducción de cultivos de especies ilegales en la región (Gaussens, 2018).

Estructura vertical

La altura (*h*) del arbolado registró un porcentaje mayor para la clase de 5.00 a 9.99 m de altura (52.88 %), similar a lo señalado en otros estudios (Castellanos-Bolaños et al., 2019; García G. et al., 2019) que se concentran en esta clase dominante del estrato vertical. El menor porcentaje perteneció a la clase 15.00 a 19.99 m (1.99%). Las clases 10 a 14.99 m y <4 a 4.99 m tuvieron porcentajes similares (22.47%, y 18.69 % respectivamente) (Fig. 2).

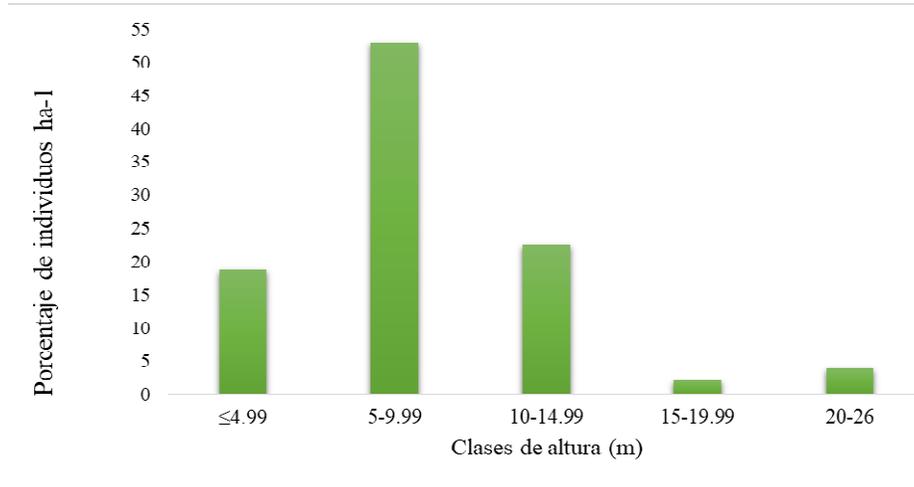


Fig. 2. Clases de altura del arbolado del bosque de *Pinus-Quercus* de Huiztlatzala, Guerrero.
Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en campo.

Los porcentajes correspondientes a las clases de altura para cada una de las especies analizadas indicaron que el mayor valor correspondió a *Quercus crassifolia* Benth en la clase de 5 a 9.99 m (73%) y en la clase 10 a 14.99 m lo ocupa *Quercus laurina* Bonpl con un 89%. Y las alturas más bajas <4.99 corresponde a *Quercus peduncularis* Née y *Quercus crispifolia* Trel con un 46% de concentración.

En *Quercus peduncularis*, *Quercus crispifolia* y *Quercus laurina* únicamente se encontró especies arbóreas con un máximo de altura de 15 m, caso contrario con *Quercus martinezii* con *Pinus teocote* encontramos alturas de hasta de 26 m (Fig. 3).

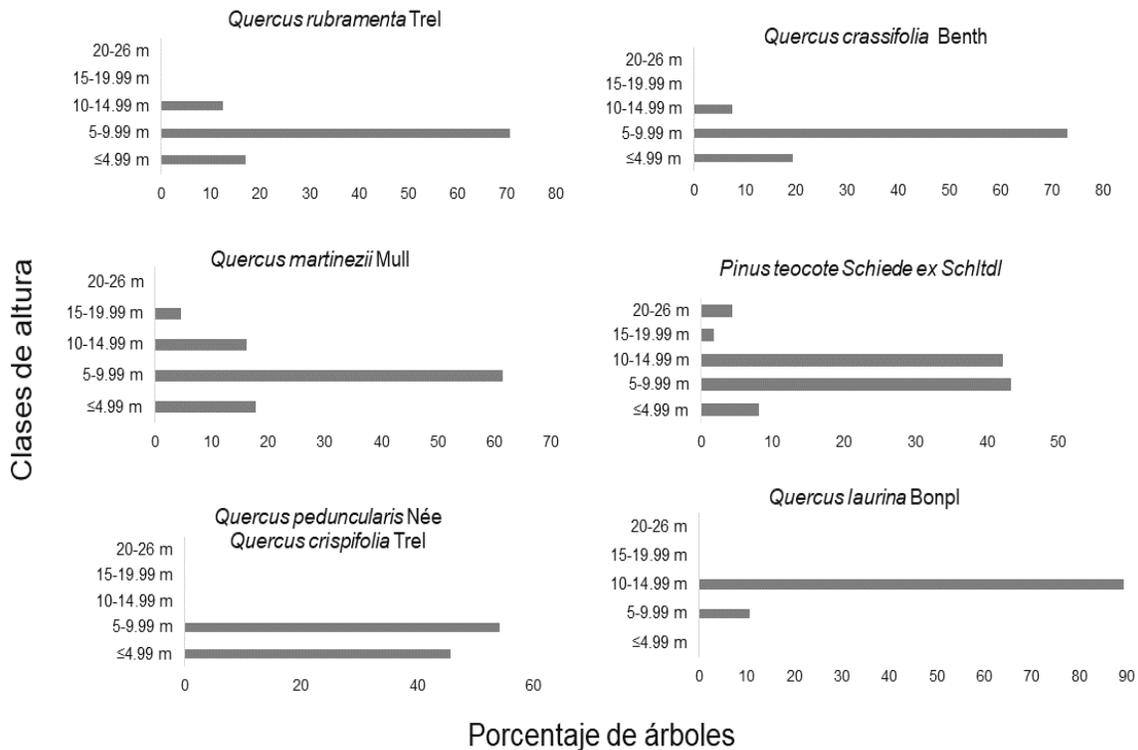


Fig. 3. Clases de altura de las especies del bosque de *Pinus-Quercus*.
Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en campo.

Estructura horizontal

La clase diamétrica I fue la de mayor número de árboles (554 ind. ha⁻¹) y la clase VI y VII (3 ind. ha⁻¹) presentó la menor cantidad (Tabla 3). El porcentaje de individuos en todas las clases diamétricas fue superior para *Pinus teocote*, excepto en la clase VII. El área basal de todas las especies representó un total de 23.55 m² ha⁻¹ a la clase I le correspondió la mayor contribución (15.33 m² ha⁻¹) (Tabla 3C).

Con base al inventario realizado *Pinus teocote* Schltldl alcanzó 402 ind. ha⁻¹, siendo éste el más alto reportado en la región, en comparación con lo indicado por Méndez O. *et al.*, (2018) y Ríos *et al.*, (2018), el primero en un bosque de pino-encino en la Sierra Madre del Sur, y el segundo en el mismo tipo de vegetación de Tlacoapa, ambos en el estado de Guerrero. Esto puede deberse también al rango altitudinal considerado en el estudio, ya que esta combinación de especies constituye el tipo de vegetación dominante en la región de la Montaña guerrerense.

Quercus rubramenta tiene 192 ind. ha⁻¹, siendo este dato similar al reportado por Flores y López, (2018), en la región de la Montaña. Lo anterior, a pesar de que se observan áreas de tala clandestina, debido a la influencia humana. Esto es relevante de mencionar, ya que es utilizada con mayor frecuencia como leña y carbón vegetal, tanto para el consumo local como para su comercialización, al igual que *Quercus martinezii*. Por otra parte, Méndez O. *et al.*, (2018) en su estudio de *Pinus-Quercus* en Guerrero contabilizaron 254 ind. ha⁻¹. De igual manera Alanís-Rodríguez *et al.*, (2010) obtuvieron 2,876 ind. ha⁻¹ en un bosque de *Pinus-Quercus*, cifra tres veces superior a la obtenida en Huiztlatzala Guerrero, en cuanto al área basal, en el presente estudio es de 23.55 m² ha⁻¹ cifra muy inferior al citado (65.01 m² ha⁻¹) Barrios-Calderón *et al.*, (2022) y (242 m² ha⁻¹) por Santiago P. *et al.*, (2012), sin embargo, en esta investigación los árboles presentaron mayores dimensiones diamétricas.

Tabla 3. Clases de diamétricas del arbolado, número (A), porcentajes (B) y área basal (C) representativos de cada especie en el bosque de *Pinus-Quercus*.

Especie	Clase (cm)							Total
	I 5-15.99	II 16-25.99	III 26-35.99	IV 36-45.99	V 46-55.99	VI 56-65.99	VII >66	
A) Número de individuos / clase diamétrica								
<i>Pinus teocote</i>	250	154	38	34	22	4	0	502
<i>Quercus rubramenta</i>	218	20	2	0	0	0	0	240
<i>Quercus crassifolia</i>	122	4	0	0	0	0	2	128
<i>Quercus martinezii</i>	54	8	0	2	2	0	2	68
<i>Quercus peduncularis</i>	24	8	0	0	0	0	0	32
<i>Quercus crispifolia</i>	14	0	0	4	0	0	0	18
<i>Quercus laurina</i>	10	4	0	0	4	0	0	18
Total (1.25)	692	198	40	40	28	4	4	1006
Total (1 ha)	554	158	32	32	22	3	3	805
B) Porcentaje de individuos/ clase diamétrica								
<i>Pinus teocote</i>	36	78	95	85	79	100	0	
<i>Quercus rubramenta</i>	18	2	0	0	0	0	50	
<i>Quercus crassifolia</i>	2	0	0	10	0	0	0	
<i>Quercus martinezii</i>	1	2	0	0	14	0	0	
<i>Quercus peduncularis</i>	8	4	0	5	7	0	50	
<i>Quercus crispifolia</i>	3	4	0	0	0	0	0	
<i>Quercus laurina</i>	32	10	5	0	0	0	0	

Total	100	100	100	100	100	100	100
C) Total de individuos/porcentaje/área basal por cada clase diamétrica							
Todas las especies	554	158	32	32	22	3	3 805
% Todas las especies	69	20	4	4	3	0	0 100
Área basal (m ² ha ⁻¹)	15.33	4.92	1.24	1.09	0.78	0.12	0.06 23.55

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en campo.

Parámetros e índices estructurales

Según el análisis, la especie con mayor índice de valor de importancia (IVI) fue *Pinus teocote* con un 148%, seguida de *Quercus rubramenta* con un 57%; los valores más bajos fueron reportados por *Quercus laurina* con sólo un 10%, y finalmente, *Quercus crispifolia* con un 6% (Tabla 4).

Lo anterior difiere de Ríos *et al.*, (2018) quienes reportan que la especie más abundante en el bosque de Piedra Escalera, Tlacoapa, Guerrero y con el mayor IVI de 79.14% fue *Alnus acuminata*; sin embargo, en Huiztlatzala se registró mayor abundancia para *Quercus martinezii* con 12% y *Quercus crassifolia* con 11%. En comparación con lo obtenido en el informe mencionado, estas dos especies sólo se encontraron en un rango altitudinal de 1,877 a 1,977 m cerca del cauce permanente del río, lo mismo para *Quercus crispifolia* en nuestro estudio se encontró en una altitud 1,877 a 1,977 m y según con la literatura esta especie es propia de bosques con mayor humedad.

Tabla 4. Índice de valor de importancia (IVI) de especies arbóreas del bosque *Pinus-Quercus*.

Especie	AR%	FR%	DR%	IVI%
<i>Pinus teocote</i>	49.90	28.00	69.62	148
<i>Quercus peduncularis</i>	4.17	5.33	2.04	12
<i>Quercus laurina</i>	3.58	2.67	3.60	10
<i>Quercus rubramenta</i>	22.27	25.33	9.42	57
<i>Quercus martinezii</i>	6.76	21.33	7.30	35
<i>Quercus crassifolia</i>	11.53	14.67	6.03	32
<i>Quercus crispifolia</i>	1.79	2.67	1.99	6
Total	100	100	100	300

*Donde: AR Abundancia relativa (%); FR Frecuencia relativa (%), DR Dominancia relativa (%), IVI Índice de valor de importancia ecológica para cada especie.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los sitios de muestreo.

La especie de *Quercus rubramenta* está restringida a tres localidades en Guerrero, y una localidad en Oaxaca. En la zona de estudio se distribuye entre los 2,200 y 2,800 m de altitud. Cabe señalar que en este estado ha persistido un alto grado de degradación del ecosistema, situación que se ha mantenido durante los últimos 30 años, debido principalmente a la siembra de cultivos agrícolas para el consumo local y la siembra de cultivos ilícitos como la amapola, así como la práctica de la ganadería de subsistencia. Estas circunstancias han llevado a esta especie a ser considerada vulnerable (IUCN, 2007).

De acuerdo con la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, *Pinus teocote*, probablemente es el pino mexicano endémico de mayor distribución en diferentes entidades federativas del país, cuyo intervalo de distribución de altitud va de 1,000 a 3,300 m, presente en el estado de Guerrero donde hasta 2013 se consideraba como una población

vegetal en categoría estable (IUCN, 2007) es preciso mencionar que no se encuentra en ninguna categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Abundancia y Diversidad

De acuerdo con el índice de Margalef se obtuvo un valor de 0.9, lo que expresa una baja diversidad (valores < 2.0 indican una baja riqueza de especies), lo que corresponde con los valores reportados por Ríos *et al.*, (2018). En un bosque templado de la Sierra Madre del Sur de México, Méndez-Osorio *et al.*, (2014) reportan algo similar en este índice. Mora-Donjuán & Alanís-Rodríguez (2016) indican que es normal en las comunidades de *Pinus* y *Quercus* debido al fuerte grado de asociación entre estas dos especies de este género.

El índice de Sorensen, muestra un 83% lo que expresa que hay sitios muy semejantes entre sí. Esto indica que muchas especies encontradas presentan una semejanza florística alta, y de acuerdo con el índice de Jaccard el coeficiente de correlación también es alto (0.86) (Fig. 4) lo que indica la relación de presencia-ausencia entre el número de especies comunes (*Quercus rubramenta* y *Pinus teocote*) en los sitios de muestreo, también se añade el índice de similitud de Bray-Curtis en donde se observa los sitios como el 10,12,14,16 no mostraron distancia mayor entre las especies (Fig. 5).

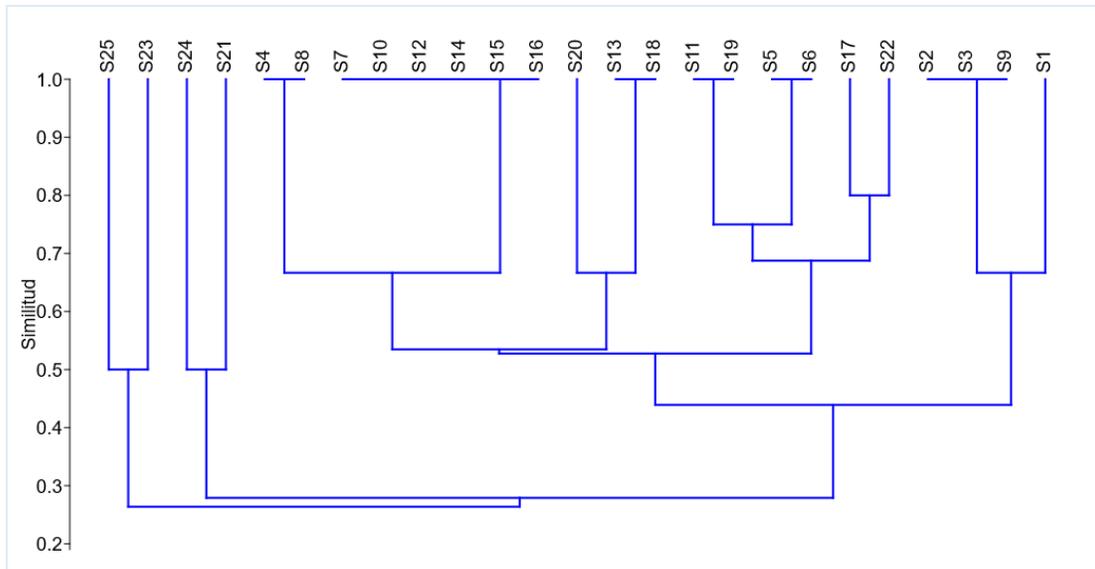


Fig. 4. Análisis clúster de Jaccard en el bosque *Pinus-Quercus* de Huiztlatzala, Guerrero.

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en campo.

	Sitio1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25
Sitio1	1	0.25	0.34	0.33	0.23	0.55	0.18	0.05	0.24	0.14	0.73	0.09	0.00	0.19	0.32	0.29	0.05	0.00	0.04	0.00	0.22	0.16	0.05	0.38	0.06
S2	0.25	1	0.86	0.39	0.75	0.55	0.65	0.59	0.58	0.52	0.31	0.68	0.45	0.80	0.21	0.58	0.09	0.44	0.86	0.05	0.09	0.40	0.16	0.04	0.05
S3	0.34	0.86	1	0.58	0.67	0.59	0.73	0.55	0.67	0.57	0.19	0.68	0.43	0.89	0.40	0.74	0.08	0.41	0.81	0.05	0.17	0.42	0.15	0.27	0.05
S4	0.33	0.39	0.58	1	0.49	0.58	0.61	0.58	0.67	0.59	0.09	0.51	0.53	0.56	0.78	0.79	0.05	0.51	0.40	0.06	0.16	0.46	0.18	0.70	0.06
S5	0.23	0.75	0.67	0.49	1	0.64	0.78	0.79	0.76	0.72	0.35	0.76	0.67	0.65	0.30	0.63	0.18	0.67	0.71	0.14	0.18	0.59	0.21	0.05	0.07
S6	0.55	0.55	0.59	0.58	0.64	1	0.58	0.50	0.64	0.70	0.51	0.57	0.60	0.54	0.49	0.59	0.29	0.54	0.42	0.17	0.25	0.54	0.17	0.27	0.05
S7	0.18	0.65	0.73	0.61	0.78	0.58	1	0.76	0.84	0.80	0.15	0.88	0.65	0.84	0.43	0.81	0.11	0.65	0.74	0.14	0.24	0.57	0.20	0.21	0.06
S8	0.05	0.59	0.55	0.58	0.79	0.50	0.76	1	0.87	0.81	0.12	0.74	0.77	0.62	0.31	0.59	0.07	0.78	0.63	0.10	0.08	0.59	0.25	0.06	0.09
S9	0.24	0.58	0.67	0.67	0.76	0.64	0.84	0.87	1	0.83	0.16	0.72	0.67	0.70	0.42	0.67	0.13	0.67	0.62	0.08	0.27	0.65	0.22	0.23	0.07
S10	0.14	0.52	0.57	0.59	0.72	0.70	0.80	0.81	0.83	1	0.21	0.83	0.81	0.67	0.44	0.68	0.30	0.69	0.59	0.22	0.25	0.61	0.21	0.16	0.07
S11	0.73	0.31	0.19	0.09	0.35	0.51	0.15	0.12	0.16	0.21	1	0.19	0.24	0.12	0.17	0.16	0.24	0.20	0.18	0.21	0.12	0.24	0.10	0.00	0.00
S12	0.09	0.68	0.68	0.51	0.76	0.57	0.88	0.74	0.72	0.83	0.19	1	0.74	0.78	0.38	0.79	0.22	0.63	0.77	0.20	0.17	0.56	0.20	0.10	0.06
S13	0.00	0.45	0.43	0.53	0.67	0.60	0.65	0.77	0.67	0.81	0.24	0.74	1	0.52	0.36	0.55	0.30	0.87	0.58	0.29	0.08	0.59	0.19	0.00	0.00
S14	0.19	0.80	0.89	0.56	0.65	0.54	0.84	0.62	0.70	0.67	0.12	0.78	0.52	1	0.40	0.77	0.09	0.51	0.89	0.11	0.19	0.47	0.17	0.21	0.05
S15	0.32	0.21	0.40	0.78	0.30	0.49	0.43	0.31	0.42	0.44	0.17	0.38	0.36	0.40	1	0.67	0.15	0.33	0.24	0.18	0.21	0.40	0.18	0.77	0.06
S16	0.29	0.58	0.74	0.79	0.63	0.59	0.81	0.59	0.67	0.68	0.16	0.79	0.55	0.77	0.67	1	0.13	0.49	0.64	0.15	0.18	0.44	0.16	0.49	0.05
S17	0.05	0.09	0.08	0.05	0.18	0.29	0.11	0.07	0.13	0.30	0.24	0.22	0.30	0.09	0.15	0.13	1	0.17	0.15	0.73	0.15	0.43	0.42	0.00	0.00
S18	0.00	0.44	0.41	0.51	0.67	0.54	0.65	0.78	0.67	0.69	0.20	0.63	0.87	0.51	0.33	0.49	0.17	1	0.57	0.22	0.09	0.67	0.21	0.00	0.00
S19	0.04	0.86	0.81	0.40	0.71	0.42	0.74	0.63	0.62	0.59	0.18	0.77	0.58	0.89	0.24	0.64	0.15	0.57	1	0.12	0.11	0.46	0.14	0.00	0.00
S20	0.00	0.05	0.05	0.06	0.14	0.17	0.14	0.10	0.08	0.22	0.21	0.20	0.29	0.11	0.18	0.15	0.73	0.22	0.12	1	0.10	0.45	0.44	0.00	0.00
S21	0.22	0.09	0.17	0.16	0.18	0.25	0.24	0.08	0.27	0.25	0.12	0.17	0.08	0.19	0.21	0.18	0.15	0.09	0.11	0.10	1	0.30	0.06	0.26	0.09
S22	0.16	0.40	0.42	0.46	0.59	0.54	0.57	0.59	0.65	0.61	0.24	0.56	0.59	0.47	0.40	0.44	0.43	0.67	0.46	0.45	0.30	1	0.42	0.13	0.08
S23	0.05	0.16	0.15	0.18	0.21	0.17	0.20	0.25	0.22	0.21	0.10	0.20	0.19	0.17	0.18	0.16	0.42	0.21	0.14	0.44	0.06	0.42	1	0.05	0.69
S24	0.38	0.04	0.27	0.70	0.05	0.27	0.21	0.06	0.23	0.16	0.00	0.10	0.00	0.21	0.77	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.13	0.05	1	0.07
S25	0.06	0.05	0.05	0.06	0.07	0.05	0.06	0.09	0.07	0.07	0.00	0.06	0.00	0.05	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.08	0.69	0.07	1

Fig. 5. Índice de similitud de Bray- Curtis para los 25 sitios del bosque *Pinus-Quercus* de Huiztlatzala Guerrero

Curva de acumulación de especies

En el estudio la estabilización de la curva de acumulación de especies ocurrió a partir del sitio 15, ya que con el estimador Chao 1 alcanzó una asíntota definida, que es la media de la riqueza estimada. El estimador Chao1 tuvo una eficiencia de muestreo de 100%. El estimador Bootstrap, también alcanzó la asíntota con una efectividad de muestreo de 98% (Fig. 6) lo cual indica que a partir del sitio 15 de muestreo, ya se había encontrado la mayor parte de las especies que se podría obtener en la superficie evaluada, lo que permite afirmar que estas localizaciones serían representativas para la descripción y composición de los árboles del bosque de *Pinus- Quercus* en Huiztlatzala, Guerrero.

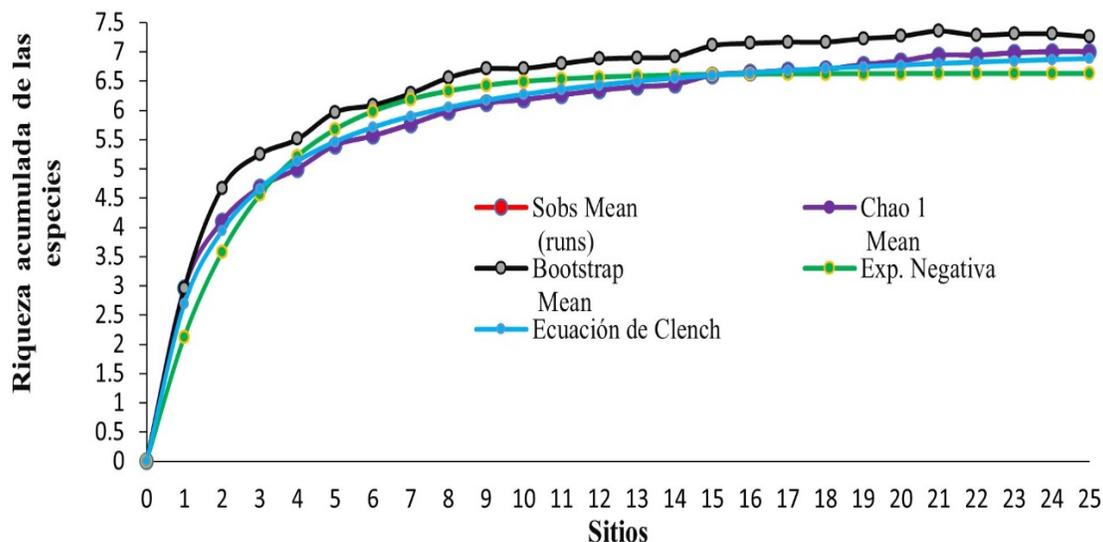


Fig. 6. Curva de acumulación de especies arbóreas del bosque *Pinus-Quercus*.

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en campo.

CONCLUSIONES

La comunidad vegetal del bosque de Huiztlatzala, municipio de Zapotitlán Tablas, en el estado de Guerrero, se compone sólo de siete especies arbóreas, lo que indica una baja diversidad, dominada por *Pinus teocote* Schiede ex Schltdl & Cham y *Quercus rubramenta* Trel, que es la asociación vegetal representativa de la Montaña del estado.

Con respecto al Valor de Importancia de las especies dominantes del género *Pinus*, ninguna presenta un $IVI \geq 180$, por lo que se rechaza la primera hipótesis planteada. Finalmente, el porcentaje promedio de afinidad de las especies arbóreas en los veinticinco sitios es $\geq 50\%$, por lo tanto, se acepta la hipótesis 2, la cual indica que las especies presentes tienen afinidad de tipo alta.

Los resultados permiten identificar los parámetros estructurales y dominancia de las especies asociadas de los bosques de *Pinus-Quercus* de Huiztlatzala del estado de Guerrero, México. *Pinus teocote* resulta ser la de mayor importancia en los sitios evaluados. Las seis especies del género *Quercus* presentan alto nivel de supresión con respecto a las del género *Pinus*. El conocimiento de la composición y estructura del bosque permite integrar algunas medidas de manejo integral en la conservación y aprovechamiento de los bienes y servicios que provee el ecosistema estudiado.

AGRADECIMIENTOS

A la comunidad de Huiztlatzala, Guerrero, por permitir realizar el estudio. Al C. Felipe Cante Juárez y al C. Bernardo Rodríguez Pacheco por el apoyo brindado en la realización del trabajo de campo.

LITERATURA CITADA

- Aguirre C., Ó. A., Jiménez P., J., Treviño G., E. J., & Meraz A., B. (2016). Evaluación de diversos tamaños de sitio de muestreo en inventarios forestales. *Madera y Bosques*, 3(1), 71–79. <https://doi.org/10.21829/myb.1997.311380>
- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Pando-Moreno, M., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., & Canizales-Velázquez, P. A. (2010). Análisis de la diversidad arbórea en áreas restauradas post-incendio en el parque ecológico Chipinque, México. *Acta Biológica Colombiana*, 15(2), 309–324. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319027885021%0ACómo>
- Alanís-Rodríguez, Eduardo, Jiménez-Pérez, J., Valdecantos-Dema, A., Pando-Moreno, M., Aguirre-Calderón, O., & Treviño-Garza, E. J. (2011). Caracterización de regeneración leñosa post-incendio de un ecosistema templado del parque ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 17(1), 31–39. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.05.032>
- Arteaga M., B., Etchevers, J. D., & Volke H., V. (1985). Influencia de las características fisiográficas y edáficas en el crecimiento *Pinus radiata* D. Don en Ayototla, Guerrero. *Agrociencia*, Abr-jun(60), 109–121. <https://biblat.unam.mx/es/revista/agrociencia/articulo/influencia-de-las-caracteristicas-fisiograficas-y-edaficas-en-el-crecimiento-de-pinus-radiata-d-don-en-ayotla-guerrero>
- Barrios-Calderón, R. de J., Pérez P., J. E., Torres V., J. R., & Aguirre-Cadena, J. F. (2022). Estructura y composición florística de un bosque de *Pinus-Quercus* en El Porvenir, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(73), 50–74. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i73.1252>
- Blanco, J. A. (2017). Bosques, suelo y agua: explorando sus interacciones. *Ecosistemas*, 26(2), 1–9. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-2.01>
- Castellanos-Bolaños, J. F., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., & Velázquez-Martínez, A. (2019). Diversidad arbórea y estructura espacial de bosques de pino-encino en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(2), 39–52. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v1i2.636>
- Cervantes, V., Arriaga, V., & Carabias, J. (1996). La problemática socioambiental e institucional de la reforestación en la Región de la Montaña, Guerrero, México. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, 59, 67–80. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1506>
- Chao, A., & Lee, S. M. (1992). Estimating the number of classes via sample coverage. *Journal of the American Statistical Association*, 87(417), 201–217. <https://doi.org/10.1080/01621459.1992.10475194>
- CONABIO. (2010). *El Bosque Mesófilo de Montaña en México: amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible* (CONABIO (ed.)). Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. www.biodiversidad.gob.mx%0APrimera
- Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1951). An upland forest continuum in the Prairie-Forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), 476–496. <https://doi.org/10.2307/1931725>
- Flores D., I., & López L., B. (2018). Distribución y conocimiento tradicional del género *Quercus* en Guerrero, México. *Foro de Estudios Sobre Guerrero, Medio Ambiente y Recursos Naturales*, 4(5), 561–570. www.fesgro.mx
- Fonseca, R. M. (2013). Flora de Guerrero. Pinaceae. In UNAM (Ed.), *Universidad Nacional Autónoma de México*. Facultad de Ciencias. <https://doi.org/10.2307/j.ctt20p56d7.46>
- Franklin, J. F., Spies, T. A., Pelt, R. Van, Carey, A. B., Thornburgh, D. A., Berg, D. R., Lindenmayer, D. B., Harmon, M. E., Keeton, W. S., Shaw, D. C., Bible, K., & Chen, J.

- (2002). Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example. *Forest Ecology and Management*, 155(1–3), 399–423. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00575-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00575-8)
- García G., S. A., Narváez F., R., Olivas G., J. M., & Hernández S., J. (2019). Diversidad y estructura vertical del bosque de pino–encino en Guadalupe y Calvo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(53), 41–63. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i53.173>
- Gaussens, P. (2018). La otra montaña roja: el cultivo de la amapola en Guerrero. *Textual*, 71, 33–69. <https://doi.org/10.5154/r.textual.2017.71.003>
- Graciano-Ávila, G., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., & Luján-Soto, J. E. (2017). Composición, estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del Noroeste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 535–542. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1114>
- Hernández-Salas, J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., Luján-Álvarez, C., Olivas-García, J. M., & Domínguez-Pereda, L. A. (2013). Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 19(2), 189–199. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.052>
- INEGI. (2000). Anuario estadístico de Guerrero. In *INEGI*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2008.01.004%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.engfracmech.2008.11.011%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2009.12.020%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2009.11.044%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.07.003%0Ahttp>
- López-Hernández, J. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Monarrez-Gonzalez, J. C., González-Tagle, M. A., & Jiménez-Pérez, J. (2017). Composición and diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera Bosques*, 23(1), 39–51. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311518>
- Lot, A., & Chiang, F. (1986). *Manual de herbario: administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos*. UNAM. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/1221409>
- Magurran, A. E. (1998). *Measuring biological diversity*. <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0632056339.html>
- Méndez-Osorio, C., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O., & Treviño-Garza, E. (2014). Análisis de la regeneración postincendio en un bosque de pino-encino de la Sierra de Guerrero, México. *Ciencia UANL*, 17(69), 63–70. <http://eprints.uanl.mx/6930/1/Art.-de-la-Sierra-Guerrero-a-colorts.pdf>
- Méndez O., C., Mora D., C. A., Alanís R., E., Jiménez P., J., Aguirre C., O. A., Treviño G., E. J., & Pequeño L., M. A. (2018). Fitodiversidad y estructura de un bosque de pino-encino en la Sierra Madre del Sur, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50), 35–53. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.236>
- Mora-Donjuán, C. A., & Alanís-Rodríguez, E. (2016). Resiliencia de bosques de pino – encino en América: una visión global del estado actual. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(33), 01–02. <https://doi.org/DOI:10.18845/rfmk.v13i33.2571>
- Moreno E., C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en Ecología Vegetal. In *Proyecto de Manejo Forestal Sostenible*. <https://doi.org/10.1080/01443610410001722590>
- Palmer, W. M. (1990). The estimation of species richness by extrapolation. *Ecological Society of America*, 71(3), 1195–1198. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/1937387>
- Ríos, C. J. M., Cantú, A. V., López, L. B., & Pacheco, F. C. (2018). Diversidad y estructura forestal en bosques de la comunidad Piedra Escalera, Tlacoapa, Guerrero. *Foro de Estudios Sobre Guerrero, Medio Ambiente y Recursos Naturales*, 4(5), 581–592.

Recibido:
16/mayo/2022

Aceptado:
16/enero/2023

- Rubio-Camacho, E. A., González-Tagle, M. A., Himmelsbach, W., Ávila-Flores, D. Y., Alanís-Rodríguez, E., & Jiménez-Pérez, J. (2017). Patrones de distribución espacial del arbolado en un bosque mixto de pino-encino del noreste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(1), 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.015>
- Santiago P., A. L., Villavicencio G., R., Godínez H., J. de J., Chávez A., J. M., & Toledo G., S. L. (2012). Tamaño de fragmentos forestales en el bosque pino-encino, Sierra de Quila, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(14), 23–38. <https://doi.org/Doi:10.29298/rmcf.v3i14.472>
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). (2007). *Lista roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la conservación de la naturaleza*. <https://www.iucnredlist.org/es>
- Valencia-Ávalos, S., Cruz-Durán, R., Martínez-Gordillo, M., & Jiménez-Ramírez, J. (2011). La flora del municipio de Atenango del río, estado de Guerrero, México. *Polibotánica*, 32, 9–39. <https://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n32/n32a2.pdf>
- Villavicencio E., L., & Valdez H., J. I. (2003). Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia*, 37(4), 413–423. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30237410.pdf>
- Williams, J. K., & Lutterschmidt, W. L. (2006). Species-Area relationships indicate large-scale data gaps in herbarium collections. *Lundellia*, 9, 41–50. <https://doi.org/10.25224/1097-993x-9.1.41>
- Zacarias-Eslava, L. E., Cornejo-Tenorio, G., Cortés-Flores, J., González-Castañeda, N., & Ibarra-Manríquez, G. (2011). Composición, estructura y diversidad del cerro El Águila, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 854–869. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.3.684>
- Zarco-Espinosa, V. M., Valdez-Hernández, J. L., Ángeles-Pérez, G., & Castillo-Acosta, O. (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia*, 26(1), 1–17. www.ujat.mx/publicaciones/uciencia

RIQUEZA, ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD FLORÍSTICA EN HUERTOS FAMILIARES DEL SURESTE DEL ESTADO DE MORELOS: UNA APROXIMACIÓN BIOCULTURAL

RICHNESS, STRUCTURE AND FLORISTIC DIVERSITY IN HOMEGARDENS OF THE SOUTHEAST OF MORELOS STATE: A BIOCULTURAL APPROACH

Tegoma Coloreano, A.; J. Blancas; A. García Flores y L. Beltrán-Rodríguez

RIQUEZA, ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD FLORÍSTICA EN HUERTOS
FAMILIARES DEL SURESTE DEL ESTADO DE MORELOS: UNA APROXIMACIÓN
BIOCULTURAL

RICHNESS, STRUCTURE AND FLORISTIC DIVERSITY IN HOMEGARDENS OF
THE SOUTHEAST OF MORELOS STATE: A BIOCULTURAL APPROACH



Riqueza, estructura y diversidad florística en huertos familiares del sureste del estado de Morelos: una aproximación biocultural

Richness, structure and floristic diversity in homegardens of the southeast of Morelos state: a biocultural approach

Tegoma Coloreano, A.;
J. Blancas; A. García Flores
y L. Beltrán-Rodríguez

RIQUEZA, ESTRUCTURA Y
DIVERSIDAD FLORÍSTICA
EN HUERTOS FAMILIARES
DEL SURESTE DEL
ESTADO DE MORELOS:
UNA APROXIMACIÓN
BIOCULTURAL

RICHNESS, STRUCTURE
AND FLORISTIC
DIVERSITY IN
HOMEGARDENS OF THE
SOUTHEAST OF MORELOS
STATE: A BIOCULTURAL
APPROACH

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 55: 41-65. Enero 2023

DOI:

10.18387/polibotanica.55.4

A. Tegoma Coloreano

Centro de Investigaciones Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

J. Blancas

*Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación.
Universidad Autónoma del Estado de Morelos.*

A. García Flores

Centro de Investigaciones Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

L. Beltrán-Rodríguez / leonardo.beltran@ib.unam.mx

Jardín Botánico, Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN: Los huertos familiares (HF) son sistemas agroforestales tradicionales que favorecen la interconexión con la vegetación natural circundante al hogar y proveen múltiples beneficios a sus usuarios. Este estudio evaluó atributos ecológicos de riqueza, estructura y diversidad florística en HF del sureste del estado de Morelos, y analizó la relación entre las prácticas de manejo en estos espacios con las métricas previamente descritas desde una perspectiva biocultural. Se llevaron a cabo entrevistas (N=60) y muestreos en 60 HF en compañía del propietario, con el propósito de conocer las formas de uso y manejo de los recursos bioculturales, la composición de especies y los nombres locales. Además, se realizó una caracterización estructural en cada HF mediante el Índice de Valor de Importancia Relativo (IVIR) e Índice de Valor Forestal Relativo (IVFR), y se estimaron índices de diversidad α . Los HF en el área de estudio son manejados principalmente por mujeres. Las especies presentes en estos espacios se emplean para 11 diferentes categorías de uso, entre las que destacan la ornamental (61.3%), alimenticia (17.7%) y medicinal (16.5%). Nueve diferentes prácticas de manejo asociadas al uso de las especies, la forma y superficie del terreno y la ubicación de éste estuvieron directamente asociadas a la configuración espacial y estructural de los HF. La riqueza presente en los HF estudiados fue de 329 especies, 47% de las cuales son nativas y procedentes del bosque tropical caducifolio circundante. La familia Fabaceae fue la más sobresaliente por el número de especies. Tanto el IVIR como el IVFR indican que *Spondias purpurea*, *Leucaena leucocephala* y *Carica papaya* son las especies que dominan estructuralmente debido al manejo intensivo por su uso como alimento. La diversidad registrada en estos HF rurales es considerablemente alta ($H' = 3.08$), por lo que se plantea que estos sistemas socialmente construidos funcionan como reservorios de la agrobiodiversidad de la región sur de la entidad, y que para salvaguardar el legado biocultural que albergan, se requieren esfuerzos dirigidos al reconocimiento de los factores socioeconómicos y culturales que originan cambios en su manejo.

Palabras clave: Agrobiodiversidad, bosque tropical caducifolio, conservación, traspatios, solares.

ABSTRACT: Homegardens (HF) are traditional agroforestry systems that favor interconnection with the natural vegetation surrounding the home and provide multiple

benefits to people. This study evaluated ecological attributes as richness, structure and floristic diversity in HF of the southeast in Morelos state and analyzed the relationship between management practices in these spaces with the metrics previously described from a biocultural perspective. Interviews (N=60) and sampling were carried out in 60 HF in the company of the owner, with the purpose of knowing the forms of use and management of biocultural resources, species composition and local names. Furthermore, a structural characterization was performed in each HF using the Value Index of Relative Importance (IVIR) and Forest Value Relative Index (IVFR), whereas α -diversity indices were estimated. The HF in the study area are mainly managed by women. The species present in these areas are used for 11 different categories of use, including ornamental (61.3%), food (17.7%) and medicinal (16.5%). Nine different management practices associated with the use of the species, the shape and surface of the land and the location of the land were directly associated with the spatial and structural configuration of the HF. The richness present in the studied HF was 329 species, 47% of which were native and from the surrounding tropical deciduous forest. The Fabaceae family was the most outstanding in terms of the number of species. Both the IVIR and IVFR point out that *Spondias purpurea*, *Leucaena leucocephala* and *Carica papaya* are the species that dominate structurally, due to intensive management for their use as food. The diversity registered in these rural HF is considerably high ($H' = 3.08$), so it is suggested that these socially constructed systems function as reservoirs of agrobiodiversity in the southern region of the state, and that in order to safeguard the biocultural legacy they harbor, efforts are required to recognize the socioeconomic and cultural factors that cause changes in their management.

Key words: agrobiodiversity, conservation, *solares*, *traspacios*, tropical deciduous forest.

INTRODUCCIÓN

Los huertos familiares (HF) son sistemas agroforestales tradicionales ubicados en áreas cercanas a la vivienda familiar (Moreno-Calles *et al.*, 2020) con aproximadamente 11,000 años de antigüedad (Trabanino, 2018). Estos sistemas se conciben como escenarios bioculturales relevantes para entender la relación humano-naturaleza (Toledo & Barrera-Bassols, 2008) debido a que brindan beneficios a los seres humanos (Caballero & Cortés, 2001) a través de estrategias múltiples de uso y manejo de la diversidad que albergan, y a que permiten la manifestación de la identidad cultural mediante la reproducción de prácticas y decisiones selectivas sobre los recursos tangibles e intangibles (Berkes, 1993). Representan también espacios de conservación (Blancas *et al.*, 2010) en los que se mantienen especies nativas, endémicas y de importancia cultural (Bhagwat *et al.*, 2008), ya sea de plantas perennes y anuales, tanto silvestres como cultivadas y con diferentes grados de domesticación (Nair, 1998).

Funcionalmente, los HF mantienen características ecológicas entre un ecosistema natural y uno manejado por el ser humano mediante prácticas culturales (Galluzzi *et al.*, 2010; Lucio, 2022). En su interior convergen elementos, procesos y mecanismos biológicos, culturales y lingüísticos que inciden en el mantenimiento de los conocimientos tradicionales, y que pueden impactar positivamente (o no) en la conservación de recursos genéticos (Mariaca, 2012; Calvet-Mir *et al.*, 2014). Es por ello que los HF emergen como creaciones bioculturales similares a otros sistemas de producción de los recursos naturales que se desarrollan en un lugar, escala y tiempo determinados, y en los que pueden originarse, desarrollarse y moldearse otras asociaciones como son las expresiones artísticas, ceremoniales o religiosas (Toledo & Barrera-Bassols, 2008).

Además de plantas, en los HF habitan otros recursos bioculturales como animales y hongos que forman parte de la articulación entre el uso, manejo y conocimiento tradicional de las comunidades (Toledo *et al.*, 2019). Kehlenbeck *et al.* (2007) han planteado que el manejo al interior de los HF coadyuva a la sostenibilidad de éstos, además de que incrementa la riqueza y diversidad florística, y brinda un hábitat para la interacción positiva entre diversas especies

(Hakim *et al.*, 2018), misma que se ven favorecidas por la interconexión de estos espacios con parches de la vegetación circundante (Yashmita-Ulman *et al.*, 2021). Lo anterior contribuye no solo a la conservación de la agrobiodiversidad mediante la construcción de paisajes socioecológicos (Nair *et al.*, 2021), sino al fortalecimiento de la cultura local (Reyes-García *et al.*, 2009).

A nivel mundial, México cuenta con el mayor número de HF por unidad de superficie (Kumar & Nair, 2006). El estudio de estos sistemas en el país ha priorizado la generación de conocimientos sobre el papel que juegan en la seguridad alimentaria (Montagnini & Metzler, 2015), las características físicas, biológicas y culturales, la soberanía alimentaria en zonas rurales y urbanas (Cano-Contreras, 2016), el conocimiento tradicional asociado a su manejo (Rebollar-Domínguez *et al.*, 2008), y la diversidad de especies vegetales relacionada a la lengua nativa (Mariaca, 2012).

Otras contribuciones abordan el efecto de la dinámica sociocultural y económica sobre las condiciones ecológicas de los HF, evidenciando que, a mayor arraigo de la cultura local más compleja es la estructura y riqueza de especies (Chablé-Pascual *et al.*, 2015). A su vez, se ha documentado que aquellos HF cercanos a mercados y con venta de productos procedentes de éstos, tienden a una mayor homogeneización de especies y a una disminución en la diversidad florística (Pagaza, 2008).

Además, se ha sugerido que la variación en algunos parámetros ecológicos (riqueza, estructura y diversidad) está relacionada con las características de la vegetación y el lugar de establecimiento de los HF (Jiménez, 2007), así como con el conocimiento tradicional que posean los propietarios (Castañeda-Guerrero *et al.*, 2020); sobre todo al considerar el valor de estas métricas entre HF urbanos y rurales (Pagaza, 2008). Por ejemplo, los HF de una comunidad rural de Yucatán tienen 171 especies y una alta diversidad vegetal $H' = 4.26$; (Salazar-Barrientos *et al.*, 2015), en tanto que, en los HF urbanos de Puebla, inmersos en un paisaje antrópico con relictos de selva mediana y alta, la riqueza florística se estima en 361 especies, con una variación en la diversidad de $H' = 0.873$ a $H' = 3.92$ (Castañeda-Guerrero *et al.*, 2020).

En el estado de Morelos, ubicado en la región centro de México, el estudio de los HF se ha focalizado en documentar las especies alimenticias y sus patrones socioculturales (Becerril Tello *et al.*, 2020), la riqueza de plantas útiles (Monroy-Martínez *et al.*, 2017), la estructura arbórea (Sotelo-Barrera *et al.*, 2016) y la composición florística en ambientes contrastantes (Monroy *et al.*, 2017).

Sin embargo, el número de investigaciones todavía es limitado, sobre todo en la porción sureste del estado, inmerso en la provincia de la cuenca del Balsas, la cual se caracteriza por la presencia de bosque tropical caducifolio (Flores-Tolentino *et al.*, 2021). Este ecosistema presenta altas tasas de deforestación por actividades antrópicas como cambio de uso de suelo y labores agrícolas (Trejo & Hernández, 1996; Trejo & Dirzo, 2002) las cuales han impactado considerablemente su estructura, diversidad y funcionalidad ecológica (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2018), y podrían generar ruptura cultural (Bridgewater & Rotherham, 2019); por lo que la presencia y mantenimiento de los HF pareciera un aspecto clave para la conservación biocultural de este socioecosistema en la región (Ortiz-Sánchez *et al.*, 2015; García-Flores *et al.*, 2021).

Aunado a lo anterior, existen antecedentes en la región sobre la fuerte presión en la pérdida de conocimiento tradicional y su impacto en el ecosistema (Arjona-García *et al.*, 2021), en la diversidad arbórea (Yescas-Albarrán *et al.*, 2016), así como en las formas de manejo (Abad-Fitz *et al.*, 2020); por lo que la caracterización de los parámetros ecológicos asociados a los HF de esta región es un tópico emergente para documentar, particularmente en lo que respecta a las prácticas sociales que los propietarios llevan a cabo para favorecer dichas métricas, así como al

papel que tienen los recursos bioculturales que estos HF albergan en la subsistencia local. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la riqueza, estructura y diversidad florística de los HF en un poblado rural inmerso en la Cuenca del Balsas, así como documentar el uso y manejo de los recursos bioculturales, específicamente plantas, y su implicación en las características ecológicas de estos sistemas agroforestales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Este estudio se realizó de noviembre 2020 a febrero de 2021 en el ejido de Los Sauces, municipio de Tepalcingo, Morelos, ubicado en el sureste de la entidad, entre las coordenadas 18° 38' 19.156" N y 98° 57' 34.613" O, a una altitud de 1,385 msnm. (Fig. 1). El 40 % del ejido se encuentra dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBIOSH), mientras que el resto pertenece a la zona poblada aledaña a esta ANP (Dorado Ramírez, 2001). El tipo de suelo que domina es el leptosol (INEGI, 2020). El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano $A_{w_0}(w) \dot{=} g$, el más seco de los subhúmedos, con una temperatura media anual 24.3 °C y una precipitación media anual de 885.3 mm (García, 2004). El tipo de vegetación dominante es Bosque Tropical Caducifolio (BTC), ecosistema que cuenta con dos estacionalidades bien definidas: lluvias y sequía; aún cuando también existen otros sistemas socioecológicos en el área de estudio, entre los que destacan los HF. La población de Los Sauces se dedica principalmente a la agricultura, ganadería, colecta de plantas medicinales, extracción de leña para venta (Yescas-Albarrán *et al.*, 2016) y recolección de resina de copal ancho y chino (*Bursera copallifera* y *Bursera bipinnata*, respectivamente (Abad-Fitz *et al.*, 2020). En Los Sauces se siembra maíz (*Zea mays* L.), calabaza (*Cucurbita pepo* L.), sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), chile (*Capsicum annuum* L.) y jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) (Abad-Fitz *et al.* 2020), principalmente para autoconsumo.

El ejido de Los Sauces se estableció en 1932, en ese entonces como una pequeña rancharía con poco menos de ocho familias, que posteriormente crecieron en extensión territorial y fueron dotadas de tierras, mismas que se parcelaron hace poco menos de 30 años, conformándose, así como ejido. Las familias que habitan en Los Sauces tienen su origen de otras rancherías cercanas y otros pueblos ubicados al sur del estado de Morelos; en pocos casos pertenecen al estado de Guerrero, Edo. de México y Michoacán. Al igual que otras comunidades y ejidos de la REBIOSH, el idioma dominante es el español (Mena, 2018). Los pobladores mantienen contacto directo con diversos centros urbanos, como son la cabecera municipal (Tepalcingo) y las ciudades de Axochiapan, Cuautla y Cuernavaca, todas ubicadas en el estado de Morelos (Arjona-García *et al.*, 2021). Entre las festividades más importantes en el ejido se encuentra el 2 de febrero, día en que se venera a la Virgen de la Candelaria. A lo largo del año también se llevan a cabo otras celebraciones patronales en Los Sauces, en las que algunas mujeres acostumbran a llevar flores de los HF a la iglesia. Cabe precisar que los HF de Los Sauces son manejados principalmente por las mujeres de diferentes edades (75%), aunque en algunos hogares los hombres también participan activamente. Las labores que las mujeres han adoptado al interior de estos sistemas conciernen a actividades como el regado, la siembra y la eliminación de competencia de malezas, mientras que los hombres se dedican a otras labores que requieren más fuerza de trabajo, como la poda de árboles y el acarreo de tierra para las plantas. Los propietarios constantemente adquieren plantas para el HF, favoreciendo la riqueza de especies, así como el número de individuos presentes, y al sembrar especies con diferente hábito de crecimiento van construyendo la estructura vertical y horizontal. Actualmente la población de Los Sauces está conformada por 341 personas distribuidas en 99 viviendas, de las cuales 159 son mujeres y 182 hombres; todos se reconocen como mestizos. Es relevante enfatizar que a pesar de que menos del 10% de la población mayor de 15 años no tiene instrucción formal ni acceso a los servicios de salud (INEGI, 2020), Los Sauces es un ejido considerado con alto grado de marginación (COESPO, 2019).

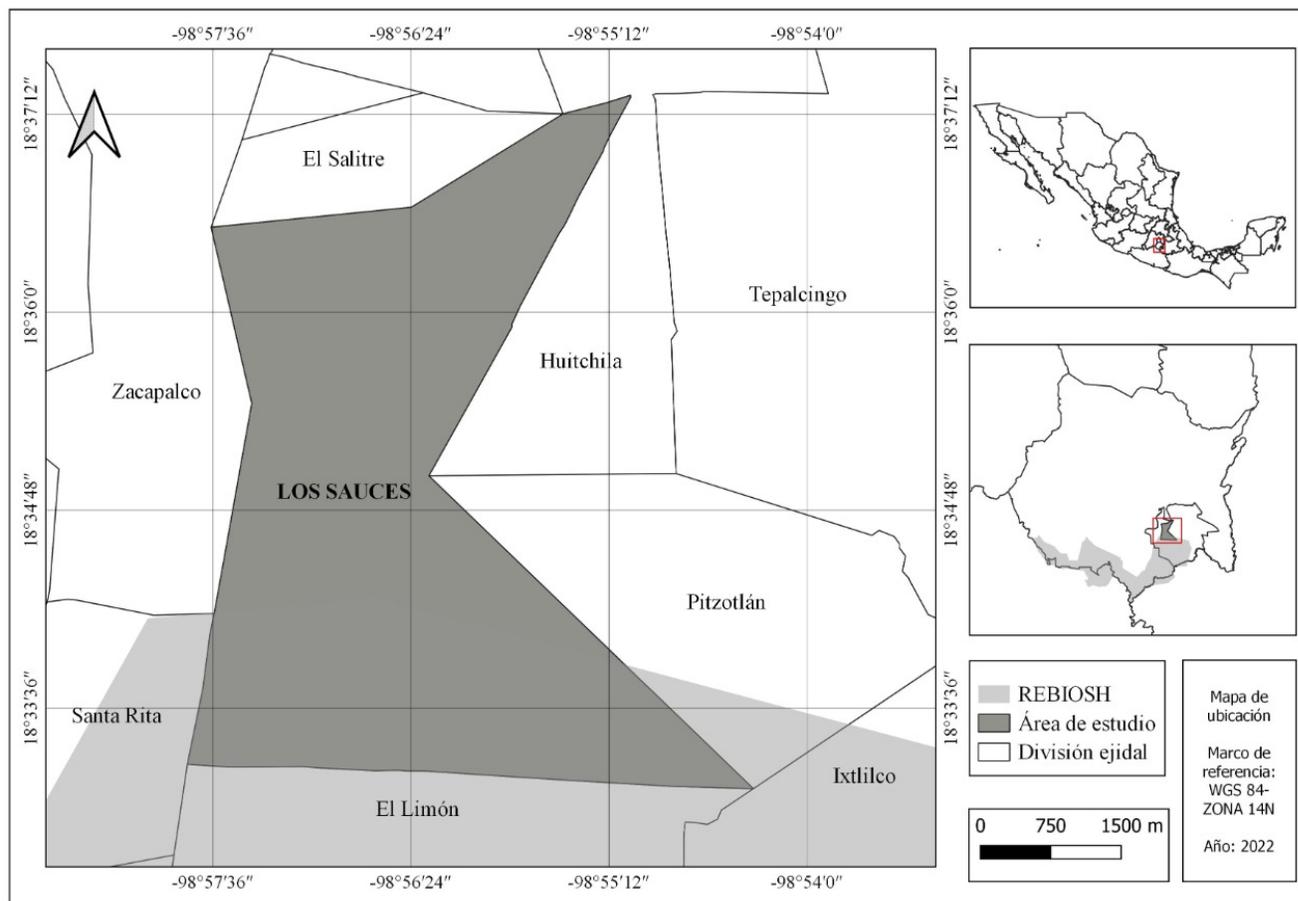


Fig. 1. Ubicación del ejido Los Sauces, Tepalcingo, Morelos. En la parte inferior de color gris se ubica la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla.

Muestreo

A partir de entrevistas previamente desarrolladas en el área de estudio por el grupo de trabajo (Abad-Fitz *et al.* 2020; Arjona-García *et al.*, 2021) y mediante recorridos de campo, se determinó que el 80% de los hogares en Los Sauces tienen HF. De éstos se seleccionaron 60 HF a través de un muestreo aleatorio estratificado desarrollado en diferentes zonas del ejido (centro, media y periferia), para así lograr captar la mayor variabilidad de las representaciones bioculturales de los HF en el área de estudio, lo que representó el 75% del total de los HF en el ejido. Se tomó como unidad de análisis todo el huerto familiar, siguiendo las recomendaciones de Sotelo-Barrera *et al.* (2016). Los muestreos se realizaron en compañía del propietario, con el propósito de conocer el tamaño de su HF y también para documentar los nombres locales, los usos y las prácticas de manejo que desarrollan con los recursos bioculturales presentes en estos espacios. La obtención de la información se llevó a cabo mediante pláticas informales, entrevistas abiertas y semiestructuradas y acción participativa (Bernard, 2006). En total se entrevistaron a 60 propietarios de HF: 45 mujeres y 15 hombres.

Durante los muestreos se registraron todas las especies pertenecientes a los diferentes estratos: arbóreo, arbustivo y herbáceo, así como su abundancia, colectándolas por quintuplicado y llevando un registro fotográfico de cada especie. Posteriormente, el material vegetal se determinó taxonómicamente con el apoyo del curador del Herbario “HUMO” del Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación (CIByC) de la Universidad Autónoma del

Estado de Morelos. La nomenclatura taxonómica se estandarizó con base en tropicos.org. Missouri Botanical Garden (2021).

Análisis de datos

Se calculó el índice de diversidad específica de Margalef ($D\alpha$) tomando en cuenta el número de especies y el número de individuos. Se realizó un inventario para conocer el número total de especies obtenido del censo de cada HF. El cálculo se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$DMg = (S - 1) / \ln N$$

Donde: DMg = Índice de diversidad específica de Margalef, (S) número de especies, (\ln) logaritmo natural y (N) el número total de individuos.

Para obtener la composición de especies botánicas, se organizaron las especies registradas en los HF a nivel de familia, género y especie, de acuerdo con la nomenclatura taxonómica referida en el sitio tropicos.org del Missouri Botanical Garden (2021).

También, con el propósito de conocer la homogeneidad o heterogeneidad de los HF en Los Sauces se calculó el índice de Shannon-Wiener (H'), ya que éste mide el grado promedio de incertidumbre para predecir la especie a la que pertenece un individuo tomado al azar dentro de los HF.

Finalmente, se calculó el índice de equidad de Pielou (J'), que nos indica si las especies se encuentran equitativamente repartidas entre cada taxón (abundancia por especie). Se calculó con base en la siguiente ecuación:

$$J' = H' / H'_{\max} \text{ y } H'_{\max} = \log_2(S)$$

Dónde: J' = Equidad, H' = Índice de Shannon-Wiener, $H'_{\max} = \log_2^2$, S = Número de especies. $H'_{\max} = \log_2^2 S$ = a la diversidad bajo condiciones de máxima equidad. Este índice toma valores de 0 a 1; a mayor equidad se obtendrá un valor más cercano a 1.

El alfa de Fisher (S) compara cuantitativamente e involucra la relación entre el número de individuos y el número de especies presentes de los HF, y no se ve afectado por el tamaño de la muestra o la superficie:

$$S = \alpha \ln [1 + (N / \alpha)]$$

Donde: S es el número de especies, n el número de individuos y α el alfa de Fisher.

Todos estos índices se determinaron mediante el software Species Diversity & Richness versión 4.1.2 (Henderson & Seaby, 2007).

Para la descripción de la estructura horizontal de los HF se realizó un ordenamiento espacial en un plano de coordenadas "X", "Y", y se tomó como unidad todo el HF (Pagaza, 2008). La estructura horizontal se refiere a la ubicación de las plantas con respecto a la casa o unidad familiar, a través del registro de todos los individuos de las especies (arbustos, árboles y plantas arborescentes) mayores a 1.5 m de altura y de la medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) y la cobertura de la copa (m^2).

A su vez, la estructura vertical analiza los diferentes estratos (arbóreo/alto, arborescente, arbustivo/medio, y herbáceo/bajo) presentes en este espacio, mediante el registro de la altura total (m) de los mismos (Pagaza, 2008).

Para el análisis estructural y la evaluación de la dominancia jerárquica de cada especie en el plano horizontal y vertical, se emplearon dos índices ecológicos que han sido utilizados para el

análisis de otros HF: el Índice de Valor de Importancia Relativo (IVIR) (Chablé-Pascual et al., 2015) y el Índice de Valor Forestal Relativo (IVFR) (Padilla-Vega et al., 2015). El IVIR de cada especie se estimó con base en valores de frecuencia relativa (FR), densidad relativa (DR) y dominancia relativa (DMR) (Curtis & McIntosh, 1951). $IVIR = \text{Dominancia relativa} + \text{Densidad relativa} + \text{Frecuencia relativa}$.

La dominancia (área basal) relativa se obtuvo de la siguiente manera:

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{Dominancia absoluta por especie}}{\text{Dominancia absoluta de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Dominancia absoluta} = \frac{\text{Área basal de una especie}}{\text{Área muestreada}}$$

La densidad relativa a través de la siguiente expresión:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Densidad absoluta por cada especie}}{\text{Densidad absoluta de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Densidad absoluta} = \frac{\text{Número de individuos de una especie}}{\text{Área muestreada}}$$

En tanto la frecuencia relativa con base en lo siguiente:

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Frecuencia absoluta por cada especie}}{\text{Frecuencia absoluta de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Frecuencia absoluta} = \frac{\text{Número de huertos familiares en los que se presenta cada especie}}{\text{Número total de huertos familiares muestreados}}$$

El Índice de Valor Forestal Relativo (IVFR) es complementario al IVIR ya que permite una evaluación bidimensional de la estructura de la vegetación (arbustos, árboles y plantas arborescentes) en los HF, tomando en cuenta tres medidas: nivel del estrato medio-superior en el plano horizontal (diámetro a la altura del pecho), los estratos medio y superior en el plano vertical (altura), y el nivel del estrato medio-superior en el plano horizontal (cobertura de copa). Con estos registros se obtuvieron datos sobre diámetro, altura y cobertura relativa. $IVFR = \text{Diámetro relativo} + \text{Altura relativa} + \text{Cobertura relativa}$ (Corella et al., 2001).

El diámetro relativo se obtuvo de la siguiente manera:

$$\text{Diámetro relativo} = \frac{\text{Diámetro absoluto de cada especie}}{\text{Diámetro absoluto de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Diámetro absoluto} = \frac{\text{Diámetro de una especie}}{\text{Área muestreada}}$$

Para obtener la altura relativa se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Altura relativa} = \frac{\text{Altura absoluta de cada especie}}{\text{Altura absoluta de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Atura absoluta} = \frac{\text{Altura de cada especie}}{\text{Área muestreada}}$$

En cuanto a la cobertura relativa se obtuvo a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Cobertura relativa} = \frac{\text{Cobertura absoluta de cada especie}}{\text{Cobertura absoluta de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Cobertura absoluta} = \frac{\text{Cobertura de una especie}}{\text{Área muestreada}}$$

La cobertura fue evaluada mediante la fórmula para el área de una elipse:

$$A = \pi ab$$

Donde:

$\pi = 3,1416$

a = semieje mayor

b = semieje menor

RESULTADOS

Riqueza, diversidad y composición florística

Se registraron un total de 329 especies pertenecientes a 234 géneros y 91 familias botánicas en los 60 HF estudiados. La riqueza de especies de los 60 HF tuvo una variación de 13 a 78 especies, con una media de 38.45 y desviación estándar de 15.44, en un área promedio de 646 m² (Fig. 2). El índice de diversidad específica de Margalef presentó valores de $D_{Mg} = 2.9$ a 14, con una media de 7.94 ± 2.44 , indicando una alta diversidad (Apéndice 1). De acuerdo con el índice de Shannon-Wiener los HF de Los Sauces presentan una alta diversidad, con un intervalo de $H' = 1.621$ a 3.958, un valor promedio de $H' = 3.08 \pm 0.46$ (Apéndice 1). La equidad de Pielou presentó valores de 0.58 a 0.96, con una media de 0.86 ± 0.076 , indicando que las especies están distribuidas equitativamente en cuanto a su abundancia en cada HF. El Alpha de Fisher obtuvo valores entre 5.1 y 42.8, con una media de 23.33 ± 9.30 (Apéndice 1).

Las hierbas representan el 47% del total de especies, árboles el 29%, arbustos el 9%, arborescentes 6%; mientras que el 9% restante lo conforman especies epífitas, bejuco y plantas rosetófilas. Las familias botánicas más representativas de los HF por el número de especies son Fabaceae (7.29%), Araceae (6.07%) y Asparagaceae (4.86%). Las especies más frecuentes en los HF son principalmente ornamentales y alimenticias (Tabla 1 y 3). El número total de individuos (hierbas, arbustos, árboles y plantas arborescentes) fue de 7,188 en un área total de 3.87 hectáreas.

En la figura 2A se muestra un HF de mayores dimensiones que se encuentra inmerso en el Bosque Tropical Caducifolio, mientras que en la figura 2B se aprecia una fracción de otro HF pero de menores dimensiones, con organización vertical de los elementos.



Fig. 2. Huertos familiares del ejido Los Sauces, en los que están presentes especies alimenticias, ornamentales y medicinales. A) Vista panorámica de un huerto familiar con mayor superficie e interconectado con la vegetación silvestre, B) Sección de un huerto familiar pequeño que ilustra el arreglo vertical de las plantas.

Caracterización estructural

Los HF de Los Sauces presentaron especies epífitas, enredaderas, herbáceas, arbustivas, arbóreas y arborescentes, cuyo arreglo espacial y horizontal es determinado por cada propietario, principalmente las mujeres (Fig. 3). Entre los principales criterios que se toman en

cuenta para establecer este arreglo en el ejido están la disponibilidad de agua y la edad del propietario, ya que los huertos localizados en las porciones más distantes (periferia) al centro de la zona poblada tienden a estar conformados por más especies silvestres con menores requerimientos para su cuidado (Fig. 2A), en comparación con los huertos de la zona centro, en donde abunda el recurso hídrico y por lo tanto se ha favorecido la presencia de plantas herbáceas que generalmente son manejadas por mujeres adultas que llevan a cabo labores de riego y deshierbe a determinadas alturas (Fig. 2B). Es relevante mencionar también a la forma del terreno y a la superficie que posee cada HF como algunos otros de los criterios determinantes en la estructuración de estos sistemas, debido a que la fragmentación del terreno en un núcleo familiar por la conformación de nuevas familias que se establecen en el mismo espacio modifica tanto la cantidad de plantas que pueden incorporarse al HF como el arreglo que éstas tendrán en dicha superficie, situación que reduce la amplitud del HF en términos horizontales.



Fig. 3. Propietaria de un Huerto Familiar en el ejido Los Sauces, Tepalcingo, Morelos.

Las especies más frecuentes en el plano horizontal fueron la rosa (*Rosa* spp.), papaya (*Carica papaya* L.), geranio (*Pelargonium x hortorum* L.H.), corona de cristo (*Euphorbia mili* Des Moul.), guaje blanco (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) y cacaloxuchil (*Plumeria rubra* L.). En la figura 4 se muestra una distribución horizontal de las plantas en HF de Los Sauces, relacionada principalmente con el uso, debido a que las especies con uso ornamental se ubican

en la parte frontal de la vivienda, mientras que las especies arbóreas-arbustivas-arborescentes cerca de la cocina, con el objeto de proporcionar sombra y alimento. De los individuos registrados, todos presentaron un DAP superior a 1.5 cm, con un valor máximo de 159.15 cm y mínimo de 1.5 cm (18.16 cm promedio \pm 17.90 cm D.E). El diámetro relativo mayor fue para *Spondias purpurea* L. con 12.04%, seguido de *Musa paradisiaca* L. (7.31%); en tanto que valores altos en cuanto a la cobertura los obtuvieron *C. papaya* (38.49 %) y *L. leucocephala* (10.19%).

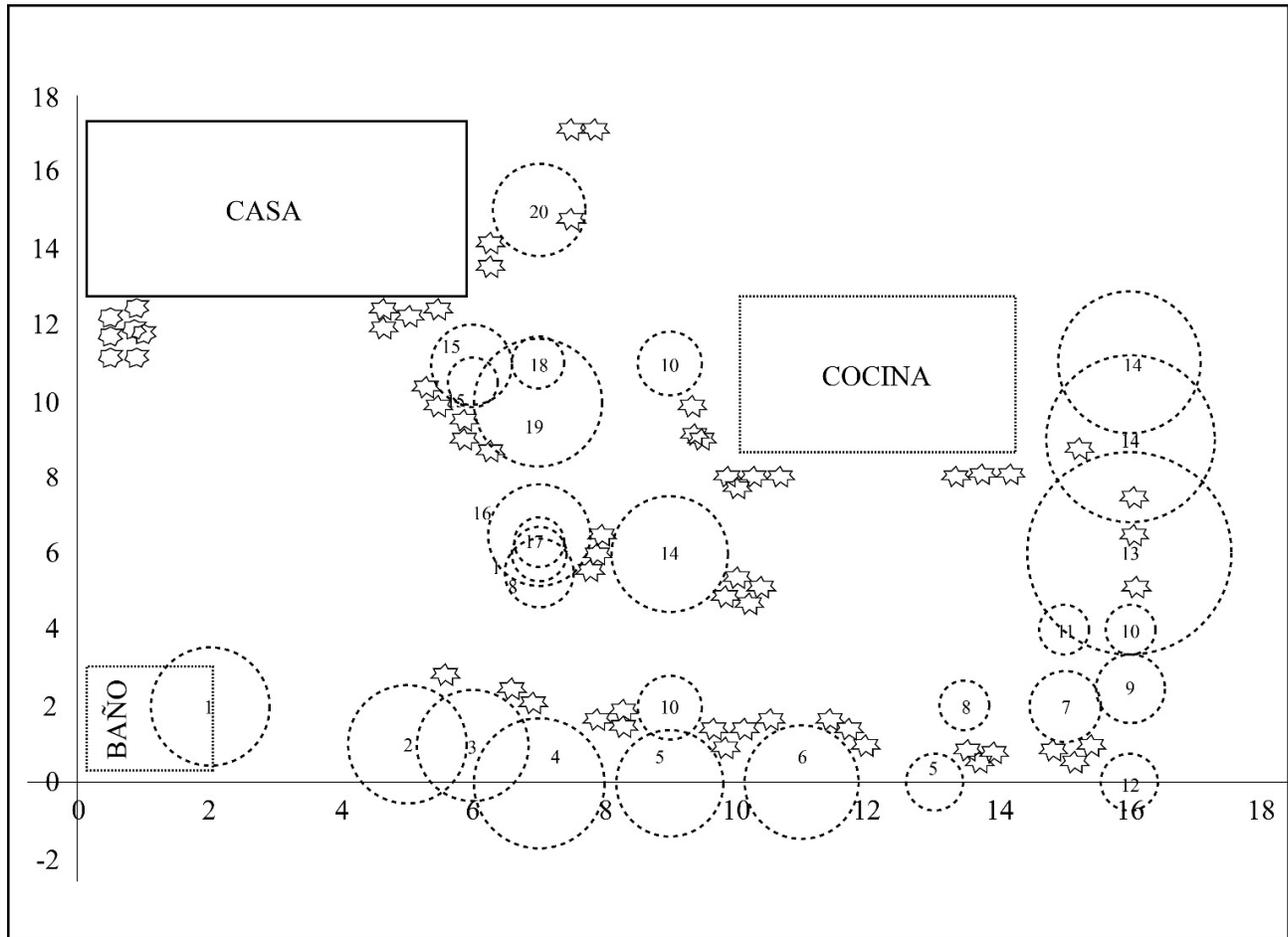


Fig. 4. Ejemplo de la distribución horizontal de plantas y casa habitación en un huerto familiar del ejido Los Sauces, el cual está relacionado con el uso de las especies. El número indica la especie. 1.- Tulipán (*Hibiscus rosa-sinensis* L.), 2.- Pata de cabra (*Lysiloma tergeminum* Benth.), 3.- Palo prieto (*Ehretia tinifolia* L.), 4.- Mandarina (*Citrus reticulata* Blanco), 5.- Nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth), 6.- Granada (*Punica granatum* L.), 7.- Plátano (*Musa paradisiaca* L.), 8.- Limón (*Citrus aurantifolia* Swingle), 9.- Guaje colorado (*Leucaena esculenta* (DC.) Benth.), 10.- Papaya (*Carica papaya* L.), 11.- Sauco (*Sambucus nigra* subsp. *canadensis* (L) Bolli), 12.- Pistache (*Simarouba amara* Aubl.), 13.- Tamarindo (*Tamarindus indica* L.), 14.- Ciruela (*Spondias purpurea* L.), 15.- Cacaloxuchil (*Plumeria rubra* L.), 16.- Delfa (*Nerium oleander* L.), 17.- Guaje blanco (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit.), 18.- Laurel (*Ficus microcarpa* L. f.), 19.- Guayaba (*Psidium guajava* L.) y 20.- Níspero (*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl). Basado en una representación hipotética promedio de los HF. Las herbáceas están representadas con estrellas, principalmente posicionadas en macetas o recipientes como tinas, botes y botellas.

En cuanto a la estructura vertical, esta configuración se explica principalmente por el hecho de que las especies que rodean la casa-habitación y la cocina proporcionan sombra, alimento y belleza, tanto por el tamaño de las copas de los árboles como por el uso ornamental de algunas especies (Fig. 5). Se lograron diferenciar tres estratos: herbáceo compuesto por especies como geranio (*P. x hortorum*), corona de cristo (*E. mili*) y sábila (*Aloe arborescens* Mill.); arbustivo como granada (*Punica granatum* L.), tulipán (*Hibiscus rosa-sinensis* L.) y chaya (*Cnidoscolus aconitifolius* (Mill.) I.M. Johnst.); arborescente como *M. paradisiaca* y *C. papaya*; y arbóreo como guaje blanco (*L. leucocephala*), palo prieto (*Ehretia tinifolia* L.) y cebollejo (*Daphnopsis americana* (Mill.) J.R. Johnst).

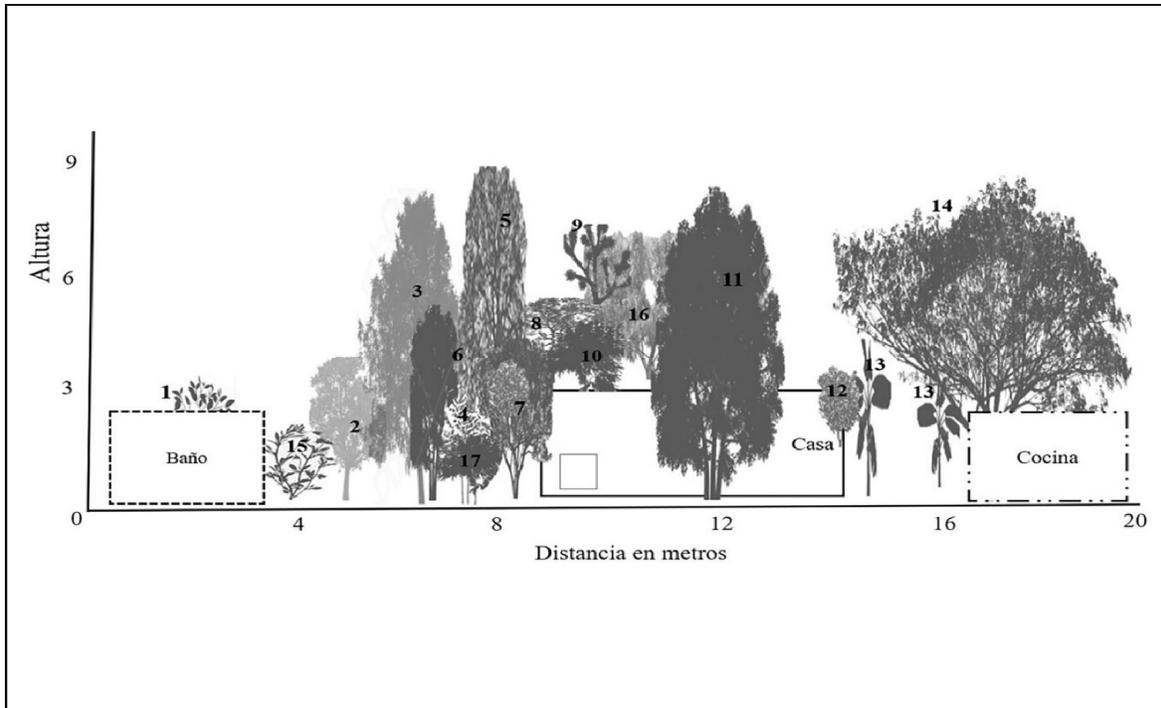


Fig. 5. Estructura vertical (promedio) observada en los huertos familiares del ejido Los Sauces, Tepalcingo, Morelos. 1.- Floripondio (*Brugmansia candida* Pers), 2.- Pata de cabra (*Lysiloma tergeninum* Benth), 3.- Palo prieto (*Ehretia tinifolia* L.), 4.- Granada (*Punica granatum* L.) 5.- Tulipán de la india (*Spathodea campanulata* P. Beauv), 6.- Guajocote (*Malpighia mexicana* A. Juss), 7.- Aguacate (*Persea americana* Mill.), 8.- Cuajilote (*Parmentiera aculeata* (Kunth) Seem.), 9.- Lizote (*Yucca gigantea* Lem.), 10.- Ciruela (*Spondias purpurea* L.), 11.- Ficus (*Ficus* spp.), 12.- Limón (*Citrus aurantifolia* Swingle), 13.- Plátano (*Musa paradisiaca* L.), 14- Tamarindo (*Tamarindus indica* L.), 15.- Delfa (*Nerium oleander* L.), 16.- Guaje colorado (*Leucaena esculenta* (DC.) Benth.) y 17.- Bugambilia (*Bougainvillea spectabilis* Willd.).

Usos de las especies en los Huertos Familiares

Se encontraron 11 categorías de usos (Tabla 1) en las cuales los propietarios de los HF de Los Sauces reflejan la importancia biocultural de las especies vegetales presentes en estos espacios, destacando el uso ornamental, alimenticio, medicinal y sombra. Cabe precisar que algunas especies como Zapote prieto (*Diospyros nigra* (J.F. Gmel.) Perrier), Chupandillo (*Cyrtocarpa procera* Kunth) y Guajocote (*Malpighia mexicana* A. Juss) tienen uso múltiple, por lo que el porcentaje es mayor a cien por ciento.

La categoría ornamental refleja la participación del género femenino, quien introduce nuevas plantas para embellecer el hogar, principalmente herbáceas como: Adelfa (*Nerium oleander* L.), Rosas (*Rosa* sp.), Vivorillo (*Sanseveria trifasciata* Prain) y Amor de un rato (*Portulaca grandiflora* Hook.). Por otra parte, las especies que conforman la categoría alimenticia proporcionan fruta a la familia como: la Granada (*Punica granatum* L.), Guamúchil (*Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth.), Guayaba (*Psidium guajava* L.); mientras que algunas especies son la base principal para la elaboración de platillos locales como el Lizote (*Yucca gigantea* Lem.), cuyas flores son utilizadas para prepararlas con huevo. Finalmente, en cuanto a la categoría medicinal se encuentran usos como: dolor de estómago, aumentar plaquetas, bajar los niveles de glucosa, bajar la presión arterial, limpiar el riñón, entre otros; atendidos mediante el uso de varias de estas especies.

Tabla 1. Diversidad de categorías de uso presentes en los Huertos familiares de Los Sauces, Tepalcingo Morelos.

Categoría de uso	Número de especies	Porcentaje de especies
Ornamental	197	61.3
Alimento	55	17.7
Medicinal	53	16.5
Sombra	41	12.7
Cerco Vivo	8	2.4
Místico-religioso	8	2.4
Condimento	6	1.8
Construcción	3	0.9
Herramienta	3	0.9
Artesanal	1	0.3
Envolver alimentos	1	0.3

Prácticas de manejo y obtención de las especies presentes en los Huertos familiares

En los 60 HF se llevan a cabo distintas prácticas de manejo tanto por mujeres como por hombres de diferentes edades, destacando el riego, la limpieza del HF (suelo libre de hojas) y el deshierbe (Tabla 2). Cabe precisar que estas prácticas están en función de diversas variables, como pueden ser la edad y el sexo del propietario, la extensión del terreno y la ubicación del HF con respecto a la zona centro del área poblada en el ejido. Debido a que cada propietario realiza más de una actividad el porcentaje supera el cien por ciento.

Tabla 2. Actividades que realizan los propietarios en sus Huertos familiares de Los Sauces, Tepalcingo Morelos.

Tipo de prácticas de manejo	Porcentaje de Huertos Familiares en lo que se desarrolla la actividad
Riego	91
Suelo libre de hojas	90
Deshierban	83
Poda	66
Eliminación de plagas	46
Aplicación de cal a los tallos de los árboles	36
Abonar	33
Fumigar	21
Cajetes y hecha tierra a sus plantas	10

El origen y las decisiones para la conformación de los HF en Los Sauces es diversa, particularmente en lo concerniente a especies no silvestres que se introducen a estos espacios. Durante las entrevistas el 75% de los propietarios mencionó que las plantas que tienen en el HF las compran en el mercado de Cuautla, Morelos. El 71% indicó que se las han regalado en eventos sociales o visitas a otras casas. El 30% hace intercambio de plantas con vecinos del ejido o de otras comunidades, el 17% trae las plantas del campo y el 8.3% menciona que cuando asisten a una fiesta toman la planta que ponen en el centro de mesa y se la llevan a su hogar. Cabe precisar que independientemente del origen de las especies, el propósito es el enriquecimiento del HF, tanto en composición y número de especies como en su densidad.

Atributos ecológicos de los huertos familiares

Con respecto a los atributos ecológicos de las especies ubicadas en los diferentes estratos de los HF, éstas presentan formas de crecimiento diversas, que como se indicó previamente están representadas sobre todo por los arbustos, árboles y plantas arborescentes. Se aprecia que las dimensiones alométricas difieren entre las formas de crecimiento, independientemente del atributo medido, pero en varios de los casos las especies dominantes son las mismas (Tabla 3). Destaca que las especies dominantes medidas a través de estos atributos ecológicos refieren a recursos bioculturales localmente valorados por sus usos ornamentales, como sombra y alimento; posibles móviles de su tolerancia y promoción en los HF y del hecho de que se procure su mantenimiento mediante diversas prácticas de manejo (Tabla 2).

Tabla 3. Variables alométricas por estrato en los Huertos familiares de Los Sauces, Tepalcingo Morelos.

	Promedio	MAX	MIN	D.E	Especies dominantes
Diámetro a la altura del pecho					
Arbusto	0.14 m	0.82 m	0.015 m	0.15 m	Astronómica (<i>Lagerstroemia indica</i> L.), delfa (<i>Nerium oleander</i> L), pitayo (<i>Stenocereus stellatus</i> (Pfeiff.) Riccob.), granada (<i>Punica granatum</i> L.)
Arborescente	0.15 m	1.59 m	0.035 m	0.17 m	Plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.), papaya (<i>Carica papaya</i> L.), pata de elefante (<i>Beaucarnea recurvata</i> Lem.).
Árbol	0.19 m	1.13 m	0.0031 m	0.18 m	Palo prieto (<i>Ehretia tinifolia</i> L.), guaje blanco (<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit.), cebollejo (<i>Daphnopsis americana</i> (Mill.) J.R. Johnst.)
Cobertura					
Arbusto	1.74 m	28.01 m	0.063 m	2.66 m	Granada (<i>Punica granatum</i> L.), floripondio (<i>Brugmansia candida</i> Pers), delfa (<i>Nerium oleander</i> L.).
Arborescente	1.26 m	15.27 m	0.038 m	1.62 m	Papaya (<i>Carica papaya</i> L.), plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.), lizote (<i>Yucca gigantea</i> Lem.).
Árbol	8.49 m	891.2 m	0.012 m	46.55 m	Pánicua (<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.), anona (<i>Annona reticulata</i> L.), laurel (<i>Ficus microcarpa</i> L.f.)
Altura					
Arbusto	3.14 m	6 m	1.6 m	1.004 m	Astronómica (<i>Lagerstroemia indica</i> L.), chaya (<i>Cnidoscolus aconitifolius</i> (Mill.) I.M. Johnst.), ayoyote (<i>Cascabela ovata</i> (Cav.) Lippold).
Arborescente	3.40 m	8 m	1.6 m	1.09 m	Plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.), papaya (<i>Carica papaya</i> L.), pitayo (<i>Stenocereus stellatus</i> (Pfeiff.) Riccob.), pata de elefante (<i>Beaucarnea recurvata</i> Lem).
Árbol	5.14 m	25 m	1.8 m	3.35 m	Ficus (<i>Ficus benjamina</i> L.), ciruela (<i>Spondias purpurea</i> L.), cacaloxuchil (<i>Plumeria</i> sp.), cebollejo (<i>Daphnopsis americana</i> (Mill.) J. R. Johnst)

Índice de Valor de Importancia e Índice de Valor Forestal de los Huertos Familiares

De acuerdo con el IVIR, las especies más relevantes en los HF estudiados son ciruela (*S. purpurea*; 25.62%), plátano (*M. paradisiaca*; 15.08%) y guaje blanco (*L. leucocephala* 13.87%) (Tabla 4 y Apéndice 2); mientras que en el caso del IVFR fueron: *C. papaya* (48.05%) y *S. purpurea* (22.92%) (Tabla 5 y Apéndice 3). En ambos índices *S. purpurea* es una especie jerarquizada con valores altos, debido a su abundancia en los HF, su fácil propagación, y su uso en la gastronomía local, debido a que dependiendo de la madurez del fruto se realizan diferentes platillos, como salsas, atole y tamales, o simplemente se consume el fruto. Mientras que *L. leucocephala* es una especie de rápido crecimiento, característica del BTC, y con las semillas se elabora un platillo típico llamado huaxmole; además de que cuando las vainas están inmaduras

las consumen sin ninguna preparación, y son la base principal para la elaboración de salsas. Por otra parte, *M. paradisiaca* está disponible todo el año, forma parte de la alimentación y con sus hojas se envuelven alimentos y se preparan tamales. Para el caso específico del IVFR, *C. papaya* también fue estructuralmente importante, y al igual que *M. paradisiaca* son plantas arborescentes cuyos frutos pueden consumirse durante todo el año, además de que ocasionalmente las semillas de *C. papaya* se ocupan como medicina para infecciones estomacales y el látex para el tratamiento de afecciones tópicas.

Tabla 4. IVIR de las 10 especies con valores más altos. FA: Frecuencia absoluta; FR: Frecuencia relativa; DA: Densidad absoluta; DR: Densidad relativa; DMA: Dominancia absoluta; DMR: Dominancia relativa.

Índice de Valor de Importancia Relativo (IVIR)								
Nombre común	Nombre científico	FA	FR	DA	DR	DMA	DMR	IVIR
Ciruella	<i>Spondias purpurea</i> L.	0.617	5.135	0.002	6.953	0	13.54	25.628
Plátano	<i>Musa paradisiaca</i> L.	0.333	2.775	0.003	9.219	0	3.092	15.086
Guaje blanco	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	0.567	4.718	0.002	7.031	0	2.128	13.878
Papaya	<i>Carica papaya</i> L.	0.533	4.441	0.002	5.625	0	2.498	12.564
Palo prieto	<i>Ehretia tinifolia</i> L.	0.5	4.163	0.001	3.594	0	4.228	11.985
Ficus	<i>Ficus benjamina</i> L.	0.35	2.914	0.001	2.266	0	6.665	11.844
Cacaloxuchil	<i>Plumeria rubra</i> L.	0.567	4.718	0.002	5.313	0	1.543	11.574
Pitayo	<i>Stenocereus stellatus</i> (Pfeiff.) Riccob.	0.067	0.555	0	0.625	0	8.704	9.884
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i> L.	0.317	2.637	0.001	1.563	0	5.457	9.656
Laurel	<i>Ficus microcarpa</i> L. f.	0.2	1.665	0	1.094	0	5.398	8.157

Tabla 5. IVFR de las 10 especies con valores más altos. IVF: CA (Cobertura absoluta), CR (Cobertura relativa), AA (Altura absoluta), AR (Altura relativa), DA (Diámetro absoluto), DR (Diámetro relativo).

Índice de Valor Forestal Relativo (IVFR)								
Nombre común	Nombre científico	DA	DR	AA	AR	CA	CR	IVFR
Papaya	<i>Carica papaya</i> L.	0	4.516	0.008	5.044	0.265	38.496	48.05
Ciruella	<i>Spondias purpurea</i> L.	0.001	12.042	0.009	6.045	0.033	4.835	22.92
Guaje blanco	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	0	3.632	0.01	6.479	0.07	10.191	20.3
Plátano	<i>Musa paradisiaca</i> L.	0.001	7.312	0.01	6.483	0.012	1.689	15.48
Ficus	<i>Ficus benjamina</i> L.	0	4.607	0.005	3.489	0.033	4.806	12.9
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i> L.	0	3.476	0.005	3	0.022	3.124	9.6
Palo prieto	<i>Ehretia tinifolia</i> L.	0	4.196	0.006	3.919	0.01	1.435	9.55
Pistache	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	0	2.812	0.006	4.085	0.016	2.367	9.263
Laurel	<i>Ficus microcarpa</i> L. f.	0	3.064	0.003	2.047	0.021	3.079	8.19
Cacaloxuchil	<i>Plumeria rubra</i> L.	0	3.455	0.005	3.39	0.009	1.302	8.147

DISCUSIÓN

Los HF de Los Sauces tienen una riqueza de 329 especies, mayor a lo que se ha reportado en otros poblados inmersos en ambientes característicos de bosque tropical caducifolio. Por ejemplo, en HF tradicionales de comunidades rurales ubicados al centro del estado de Morelos se registró una riqueza de entre 45 (Monroy-Martínez *et al.*, 2016) y 96 especies (Colin-Bahena *et al.*, 2021), mientras que para HF urbanos en el poniente y sur de la entidad la riqueza fue de 99 especies (Monroy-Martínez *et al.*, 2017). Por otra parte, en localidades urbanas de estados como Chiapas la riqueza alcanza hasta 143 especies (Neulinger *et al.*, 2014), en tanto que en Guerrero sólo se registran 104 especies (Jiménez-Alpizar *et al.*, 2021). Lo anterior sugiere una ligera tendencia en cuanto a que aparentemente en zonas urbanas la riqueza de especies en HF tiende a ser mayor en comparación a la registrada en HF rurales. Pese a ello, nuestros datos sustentan que la riqueza presente en los HF de Los Sauces es predominantemente nativa, procedente del BTC circundante, similar a lo que ocurre en HF rurales del altiplano mexicano (Gutiérrez *et al.*, 2015) y de Quintana Roo (Pulido-Salas *et al.*, 2017). Este dato contrasta con los estudios realizados en HF urbanos, los cuales mantienen porcentajes mayores al 67% de especies introducidas (Kantún-Balam *et al.*, 2013).

En términos generales se sabe que la riqueza puede variar de una región a otra y depende principalmente del tamaño de la muestra y procedimientos metodológicos (Rajagopal *et al.*, 2021). Puntualmente, la riqueza de especies en zonas rurales colindantes con BTC se relaciona con la importancia del HF para el propietario (Kantún-Balam *et al.*, 2013), las condiciones ecológicas, climáticas y fertilidad del suelo, el intercambio de especies entre familiares, amigos y vecinos, fácil acceso al mercado y particularmente a los gustos del propietario (Coomes & Ban, 2004; Bautista-García *et al.*, 2016). En el ejido de Los Sauces es posible apreciar que algunas de estas causales contribuyen a mantener el conocimiento y las prácticas tradicionales, debido a que los pobladores hacen intercambio de germoplasma local y recolectan ciertas especies procedentes del BTC, además de tener acceso a un mercado local y a otros regionales, en los que adquieren especies exóticas para sus HF, aumentando la relación ecológica, cultural y económica (Nair, 1998).

Las familias botánicas más representativas que se registraron en el presente estudio son Fabaceae, Araceae y Asparagaceae, siendo Fabaceae la más sobresaliente ya que cuenta con el mayor número de especies. La dominancia de esta familia es semejante a otros estudios sobre HF del estado de Morelos (Monroy-Ortiz & Monroy, 2004; (Monroy-Martínez *et al.*, 2017), a la vez que coincide con la dominancia ecológica de esta familia en el BTC a nivel nacional (Rzedowski & Calderón De Rzedowski, 2013); lo que podría explicarse por la gran variabilidad morfológica, fisiológica y ecológica que presentan las especies que la integran, situándola como una de las tres familias más diversas a nivel mundial (Azani *et al.*, 2017). No obstante, desde una perspectiva biocultural, también puede deberse a las características multipropósito de las especies que conforman a esta familia, ya que son usadas con fines alimenticios, medicinales, para sombra y como cercos vivos en los HF, además de ser especies silvestres del BTC.

En relación con los índices ecológicos estructurales, *S. purpurea*, *L. leucocephala* y *M. paradisiaca* obtuvieron valores altos en el IVIR. Particularmente, *S. purpurea* y el género *Leucaena* spp. se distribuyen en las zonas centro y sur del estado de Morelos, y desde tiempos prehispánicos han sido parte de los HF, con alta importancia cultural para los pobladores de esa época al igual que en el presente (González-Jácome, 2018), ya que son utilizadas como alimento además de ser comercializadas (Monroy-Martínez *et al.*, 2016; Sotelo-Barrera *et al.*, 2016; Monroy *et al.*, 2020), lo que podría incidir en los altos valores del IVIR que se registraron. En el caso de *M. paradisiaca*, su relevancia estructural en los HF de Los Sauces se explica por su aporte nutricional y disponibilidad durante todo el año. Esto debido a que es una hierba perenne con hábito arborescente de rápido crecimiento que se distribuye ampliamente en regiones tropicales y subtropicales del planeta, pero que ha sido domesticada e introducida a México desde la época colonial (Pulido *et al.*, 2008; Burgos-Hernández & Pozo,

2020) lo que ha convertido a este recurso en un componente representativo en otros HF de México (Castañeda-Guerrero *et al.*, 2020; (Pulido-Salas *et al.*, 2017) y Latinoamérica (García-Cruzatty *et al.*, 2008; Añazco, 2017).

En el caso del IVFR, la papaya (*C. papaya*), ciruela (*S. purpurea*) y guaje blanco (*L. leucocephala*) fueron las especies más sobresalientes. *Carica papaya* es una especie con hábito arborecente que se distribuye en el BTC (Pulido-Salas *et al.*, 2017), es nativa de Mesoamérica y fue domesticada en esta región (Acevedo *et al.*, 2009; Núñez Farfán *et al.*, 2017) debido a su uso alimenticio, por lo que actualmente es frecuente observarla en los HF de todo el país (Bonfil *et al.*, 2020). Por otra parte, *S. purpurea* ha sido manejada de manera ancestral en los HF de Mesoamérica (Ruenes-Morales *et al.*, 2010; Ruenes-Morales *et al.*, 2012), ya que la depresión del Balsas y la península de Yucatán son centros de diversidad genética y de domesticación de este recurso (Fortuny-Fernández *et al.*, 2017), por lo que se ha sugerido que su manejo constante ha favorecido la mejora de sus atributos alométricos (Vargas-Simón *et al.*, 2011), ya que regularmente crecen, se toleran o se trasplantan en los HF y tiene una amplia tradición de consumo en México (Ramírez Hernández *et al.*, 2008), lo que se refleja en la dominancia de esta especie tanto unidimensional como bidimensionalmente. Por otra parte, *L. leucocephala* es también una especie característica del BTC, de fácil propagación y rápido crecimiento, y debido a la relevancia alimenticia de sus frutos fue un recurso de gran importancia cultural en Mesoamérica (Zárate, 1997; Casas, 2001) y lo es ahora en los HF de México (Sotelo-Barrera, 2016; Peralta-Juarez *et al.*, 2017); lo que explica su dominancia estructural en los HF de Los Sauces, manteniendo la diversidad biocultural debido a las múltiples estrategias de uso y manejo.

La diversidad de los HF en Los Sauces en promedio es de $H' = 3.08$, lo que sugiere una alta diversidad tomando en cuenta que la localidad se encuentra inmersa dentro del BTC, ya que existen planteamientos que proponen que entre más cercanos a la vegetación natural se encuentren estos sistemas agroforestales, la diversidad disminuirá proporcionalmente (Pulido *et al.*, 2008). De hecho, es importante resaltar que poco más del 40% de la superficie de Los Sauces forma parte de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBIOSH), en la cual se encuentra la mayor concentración de biodiversidad de la entidad (Dorado *et al.*, 2005), lo que, sumado al conocimiento sobre los procesos de selección y manejo de estos recursos por parte de los pobladores locales, explicaría los altos valores de diversidad registrados en los HF de la población rural estudiada.

Monroy-Martínez *et al.* (2016) reportan un valor similar en la diversidad para los HF en una zona rural con vegetación de BTC ($H' = 3.29$), lo cual es consistente con el resultado obtenido en la Península de Yucatán (Salazar-Barrientos *et al.*, 2015), en donde se registraron valores de diversidad en HF rurales ligeramente mayores ($H' = 4.26$), ambos inmersos en BTC. De acuerdo con Rajagopal *et al.* (2021), la diferencia en la diversidad entre HF rurales y urbanos también puede ser entendida desde una perspectiva área-especie, ya que los HF rurales albergan más formas de crecimiento (árboles, arbustos y hierbas) pero menor densidad a diferencia de los HF urbanos, los cuales tienden a tener mayor cantidad de plantas herbáceas debido a una menor superficie, lo que impacta directamente en la diversidad esperada. Por ello, la diversidad es dinámica y está relacionada con la densidad y el tamaño del HF, aunque también intervienen los factores agroecológicos de cada región, la influencia del mercado y características culturales de la población (Wiersum, 2006; Kehlenbeck *et al.*, 2007; Pulido *et al.*, 2008). Futuros estudios para comprender los factores socioeconómicos y culturales asociados a la riqueza, estructura y diversidad de los HF en la región de estudio son necesarios, lo que permitirá profundizar en los mecanismos de incidencia del humano en su entorno biocultural inmediato, y abonar información sobre las tendencias de estas métricas en HF rurales del país.

CONCLUSIONES

Los huertos familiares del ejido Los Sauces funcionan como reservorios de la agrobiodiversidad de la flora del sur del estado de Morelos. Su riqueza se conforma principalmente por especies silvestres arbóreas y arbustivas nativas del bosque tropical caducifolio, que tienen usos múltiples y que son manejadas por los propietarios en función de diversos criterios; lo que favorece la configuración espacial y estructural de estos sistemas agroforestales y permite la reproducción de la diversidad biocultural en su interior. Este interés social por enriquecer los huertos familiares en Los Sauces favorece la conservación *in situ* de la flora regional, ejemplo de ello son *S. purpurea*, *L. leucocephala* y *C. papaya*, todas ellas domesticadas en Mesoamérica debido a su amplia importancia cultural, por lo que estructuralmente dominan en estos espacios. Pese a la jerarquía estructural de algunas especies, existe una elevada diversidad florística en estos huertos familiares, producto tanto de intercambios locales y regionales entre habitantes como de los saberes que se aplican para su manejo. Además de las expresiones utilitarias de la diversidad biocultural presente en los huertos familiares de Los Sauces, existen otras manifestaciones culturales que permiten la reproducción de los saberes y prácticas locales, como son la convivencia familiar en estos espacios que emana recuerdos, aromas y sabores, que en no pocos casos son factores intrínsecos que direccionan la decisión sobre el posible futuro de un huerto familiar. Por lo que esfuerzos múltiples son necesarios para aminorar el impacto de procesos como la urbanización sobre el bienestar social de los pobladores de este ejido, y, en consecuencia, de la agrobiodiversidad que albergan. Lo anterior es particularmente relevante ante el escenario de crisis socioecológica que actualmente aqueja a la porción sur de la entidad, y debido a que los sistemas de manejo de recursos naturales dependen en gran medida de la cultura local para su reproducción, el legado biocultural que ha surgido y evolucionado en estos espacios socialmente construidos sólo logrará persistir si se comprenden sus medios de cambio y éstos se integran a las decisiones individuales, familiares y colectivas sobre su manejo.

AGRADECIMIENTOS

A la Maestría en Manejo de Recursos Naturales del Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Al CONACYT por la beca otorgada (No. 453868) para el desarrollo de los estudios de posgrado y de la tesis de investigación del primer autor. A la Red Temática Productos Forestales No Maderables: "Aportes desde la Etnobiología para el Aprovechamiento Sostenible" por el financiamiento (Proyectos No. 271837, 280901, 293914 y 299274) para el trabajo de campo. Finalmente, a los habitantes y autoridades del ejido Los Sauces por recibirnos y por su disposición a colaborar, así como por las facilidades otorgadas para la realización de este proyecto; particularmente a Margarito Tajonar, Agustina Coyote y Juan Vidaña por su apoyo en campo.

LITERATURA CITADA

- Abad-Fitz, I., Maldonado-Almanza, B., Aguilar-Dorantes, K. M., Sánchez-Méndez, L., Gómez-Caudillo, L., Casas, A., Blancas, J., García-Rodríguez, Y. M., Beltrán-Rodríguez, L., Sierra-Huelsz, J. A., Cristians, S., Moreno-Calles, A. I., Torres-García, I., & Espinosa-García, F. J. (2020). Consequences of traditional management in the production and quality of Copal resin (*Bursera bipinnata* (Moc. & Sesse ex DC.) Engl.) in Mexico. *Forests*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/f11090991>
- Acevedo, F., Huerta Ocampo, E., Lorenzo Alonso, S., & Ortiz García, S. (2009). La bioseguridad en México y los organismos genéticamente modificados: cómo enfrentar un nuevo desafío. In *Capital natural de México: Vol. II* (pp. 319–353).
- Añazco, M. (2017). Agroforestería ancestral para el "buen vivir": caracterización preliminar de los sistemas agroforestales ancestrales en la Amazonía Ecuatoriana. In B. Torres, J. C.

- Vargas, Y. Arteaga, A. Torres, & P. Lozano (Eds.), *Gente, Bosque y Biodiversidad: El rol del bosque sobre la biodiversidad y las poblaciones rurales*. (p. 253). 2017.
- Arjona-García, C., Blancas, J., Beltrán-Rodríguez, L., López Binnquist, C., Colín Bahena, H., Moreno-Calles, A. I., Sierra-Huelsz, J. A., & López-Medellín, X. (2021). How does urbanization affect perceptions and traditional knowledge of medicinal plants? *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s13002-021-00473-w>
- Azani, N., Babineau, M., Bailey, C. D., Banks, H., Barbosa, A. R., Pinto, R. B., Boatwright, J. S., Borges, L. M., Brown, G. K., Bruneau, A., Candido, E., Cardoso, D., Chung, K. F., Clark, R. P., Conceição, A. D. S., Crisp, M., Cubas, P., Delgado-Salinas, A., Dexter, K. G., Zimmerman, E. (2017). A new subfamily classification of the leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny. *Taxon*, 66(1), 44–77. <https://doi.org/10.12705/661.3>
- Bautista-García, G., Sol-Sánchez, Á., Velázquez-Martínez, A., & Llanderal-Ocampo, T. (2016). Composición florística e importancia socioeconómica de los huertos familiares del Ejido La Encrucijada, Cárdenas, Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(14), 2725–2740.
- Becerril Tello, M. N., Saldaña Fernández, M. C., Vargas Guadarrama L. A., Moctezuma Pérez, S., Monroy Ortiz, C., & García Flores, A. (2020). Los huertos familiares de San Juan Tlacotenco, Tepoztlán Morelos, como marcadores de identidad cultural. *Revista de Geografía Agrícola*, 143–160.
- Beltrán-Rodríguez, L., Valdez-Hernández, J. I., Luna-Cavazos, M., Romero-Manzanares, A., Pineda-Herrera, E., Maldonado-Almanza, B., Borja-De La Rosa, M. A., & Blancas-Vázquez, J. (2018). Structure and tree diversity of secondary dry tropical forests in the Sierra de Huautla Biosphere Reserve, Morelos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(1), 108–122. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.1.2004>
- Berkes, F. (1993). Traditional Ecological Knowledge in perspective. In Julian. T. Inglis (Ed.), *Traditional ecological Knowledge: Concepts and cases* (p. 142).
- Bernard, H. R. (2006). *Research Methods in Anthropology. Qualitative and Quantitative Approaches*. Altamira Press.
- Bhagwat, S. A., Willis, K. J., Birks, H. J. B., & Whittaker, R. J. (2008). Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends in Ecology and Evolution*, 23(5), 261–267. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.01.005>
- Blancas, J., Casas, A., Rangel-Landa, S., Moreno-Calles, A., Torres, I., Pérez-Negrón, E., Solís, L., Delgado-Lemus, A., Parra, F., Arellanes, Y., Caballero, J., Cortés, L., Lira, R., & Dávila, P. (2010). Plant Management in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Economic Botany*, 64(4), 287–302.
- Bonfil, C., Núñez Cruz, A., & Barrales Alcalá, B. (2020). *Diagnóstico de sistemas productivos y prácticas actuales de conservación de la diversidad vegetal en el estado de Morelos*. (1st ed.). Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México.
- Bridgewater, P., & Rotherham, I. D. (2019). A critical perspective on the concept of biocultural diversity and its emerging role in nature and heritage conservation. *People and Nature*, 1(3), 291–304. <https://doi.org/10.1002/pan3.10040>
- Burgos-Hernández, M., & Pozo, C. (2020). ¿Y si los plátanos no son de oriente? *Ecofronteras*, 24(70), 26–29.
- Caballero, J., & Cortés L. (2001). Percepción, uso y manejo tradicional de los recursos vegetales en México. In *PLANTAS, CULTURA Y SOCIEDAD Estudio sobre la relación entre seres humanos y plantas en los albores del siglo XXI* (Primera Edición, pp. 79–100).
- Calvet-Mir, L., Garnatje, T., Parada, M., Vallés, J., & Reyes-García, V. (2014). Más allá de la producción de alimentos: los huertos familiares como reservorios de diversidad biocultural. *Ambienta*, 107, 40–53. <http://www.chil.org/innova/group/red-ita>
- Cano-Contreras, E. J. (2016). Huertos Familiares: un camino hacia la soberanía alimentaria. *Revista Pueblos y Fronteras Digital*, 10(20), 70–91.
- Casas, A. (2001). Silvicultura y domesticación de plantas en Mesoamérica. In B. Rendón Aguilar, S. Rebollar Domínguez, J. Caballero Nieto, & M. A. Martínez Alfaro (Eds.),

- PLANTAS, CULTURA Y SOCIEDAD estudio sobre la relación entre seres humanos y plantas en los albores del siglo XXI* (1st ed., Vol. 1, p. 315). Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.
- Castañeda-Guerrero, I., Aliphat-Fernández, M. M., Caso-Barrera, L., Lira-Saade, R., & Martínez-Carrera, D. C. (2020). Conocimiento tradicional y composición de los huertos familiares totonacas de Caxhuacan, Puebla, México. *Polibotánica*, 49, 185–217. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.49.13>
- Chablé-Pascual, R., Palma-López, D. J., Vázquez-Navarrete, C. J., Ruiz-Rosado, O., Mariaca-Méndez, R., & Ascensio-Rivera, J. M. (2015). Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(4), 23–39. www.ujat.mx/era23
- COESPO. (2019). *Consejo Estatal de Población. Síntesis Estadística Municipal, Tepalcingo Morelos*.
- Colin-Bahena, H., Castro-Rodríguez, K. E., Monroy-Martínez, R., Monroy-Ortiz, R., García-Flores, A., & Monroy-Ortiz, C. (2021). Rasgos de sostenibilidad en los sistemas productivos familiares establecidos por inmigrantes indígenas en Morelos, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(16), 1–17.
- Coomes, O. T., & Ban, N. (2004). Cultivated plant species diversity in homegardens of an amazonian peasant village in northeastern Peru. *Economic Botany*, 58(3), 420–434.
- Corella, F., Valdez-Hernández, J. I., Cetina Alcalá, V. M., Gonzáles Cossio, F. v, Santos, T. A., & Aguirre Rivera, J. R. (2001). Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. *Ciencia Forestal En México*, 26(90), 73–102.
- Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1951). An Upland Forest Continuum in the Prairie-Forest Border Region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), 476–496.
- Dorado, O., Arias, D. M., Alonso, G., & Maldonado, B. (2005). *Educación para la biodiversidad a través de la Universidad pública en áreas naturales protegidas: el caso de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Dorado Ramirez, O. R. (2001). *Sierra de Huautla-Cerro Frío, Morelos: Proyecto de reserva de la biosfera. Informe final del Proyecto Q025*. www.conabio.gob.mx
- Flores-Tolentino, M., Beltrán-Rodríguez, L., Morales-Linares, J., Ramírez Rodríguez R., Ibarra-Manríquez, G., Dorado, Ó., & Villaseñor, J. L. (2021). Biogeographic regionalization by spatial and environmental components: Numerical proposal. *PLoS ONE*, 16(6), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253152>
- Fortuny-Fernández, N. M., Ferrer, M. M., & Ruenes-Morales, M. R. (2017). Centros de origen, domesticación y diversidad genética de la ciruela mexicana, *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). *Acta Botánica Mexicana*, 2017(121), 7–38. <https://doi.org/10.21829/abm121.2017.1289>
- Galluzzi, G., Eyzaguirre, P., & Negri, V. (2010). Home gardens: Neglected hotspots of agrobiodiversity and cultural diversity. *Biodiversity and Conservation*, 19, 3635–3654. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9919-5>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. (5th ed.). Instituto de Geografía, UNAM.
- García-Cruzatty, L., Suatunce Cunuhay, P., & Torres Navarrete, E. (2008). Plantas útiles en los sistemas agroforestales tradicionales del litoral ecuatoriano. *Ciencia y Tecnología*, 1(2), 65–71.
- García-Flores, A., Valle Marquina, R., & Monroy Martínez, R. (2021). El patrimonio biocultural de la selva baja caducifolia, Sierra de Huautla, Morelos. *Inventio*, 17(41). <https://doi.org/10.30973/inventio/2021.17.41/3>
- González-Jácome, E. (2018). Historia y origen de un agroecosistema. Los Huertos en México. In María. de J. Ordóñez Díaz (Ed.), *Atlas biocultural de huertos familiares en México: Chiapas, Hidalgo, Oaxaca, Veracruz y península de Yucatán*. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, UNAM.

- Gutiérrez, J. G., White Olascoaga, L., Juan Pérez, J. I., & Chávez Mejía, M. C. (2015). Agroecosistemas de huertos familiares en el subtrópico del altiplano mexicano. Una visión sistémica. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18, 237–250.
- Hakim, L., Pamungkas, N. R., Wicaksono, K. P., & Soemarno. (2018). The conservation of osingnese traditional home garden agroforestry in banyuwangi, east java, Indonesia. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 40(3), 506–514. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v40i3.1605>
- Henderson, P. A., & Seaby, R. M. (2007). *Species, diversity and richness* (4.1.2). Pisces Conservation Ltda.
- INEGI. (2020). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de población y vivienda. Los Sauces, Tepalcingo Morelos.*
- Jiménez, W. (2007). Huertos mixtos en la economía familiar en fincas del noratlántico de Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales (TropJ EnvironSci)*, 33–39.
- Jiménez-Alpizar, V. P., Melesio-Velázquez, M., & Martínez-Rodríguez, I. (2021). Plantas útiles en Huertos Familiares Tradicionales de Xalpatláhuac, Región Montaña de Guerrero. *Ciencias Sociales y Humanidades*, 8(1), 43–55.
- Kantún-Balam, J., Salvador-Flores, J., Tun-Garrido, J., Navarro-Alberto, J., Arias-Reyes, L., & Martínez-Castillo, J. (2013). Diversidad y origen geográfico del recurso vegetal en los huertos familiares de Quintana Roo, México. *Polibotánica*, 36, 163–196.
- Kehlenbeck, K., Susilo Arifin, H., & Maass, B. L. (2007). Plant diversity in homegardens in a socio-economic and agro-ecological context. In T. Tschardtke, C. Leuschner, M. Zeller, E. Guhardja, & A. Bidin (Eds.), *Stability of Tropical Rainforest Margins. Environmental Science and Engineering*. (pp. 297–319). Springer.
- Kumar, B. M., & Nair, P. K. R. (2006). *Tropical homegardens*. Springer.
- Lucio, C. (2022). Los sistemas agroforestales de los alrededores del Nevado de Colima. La importancia biocultural de un patrimonio amenazado. *Revista Páginas*, 14(34). <https://doi.org/10.35305/rp.v14i34.584>
- Mariaca, R. (2012). La complejidad del huerto familiar maya del sureste de México. In R. Mariaca (Ed.), *El Huerto Familiar del Sureste de México* (1st ed.). Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco. El Colegio de la Frontera Sur.
- Mena, F. (2018). *Estrategias ecológicas y culturales para garantizar la disponibilidad de Productos Forestales No Maderables en la Selva Baja del sur de Morelos* [Maestría]. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Monroy, R., García-Flores, A., Monroy-Ortiz, C., Colín, H., & Monroy-Ortiz, R. (2020). *Ciruela Spondias purpurea L. en los huertos frutícolas de Morelos* (1st ed.). Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Monroy-Martínez, R., García-Flores, A., & Monroy-Ortiz, C. (2017). Plantas útiles de los huertos frutícolas tradicionales de Coatetelco, Morelos, México, frente al potencial emplazamiento minero. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 3(3), 87–97.
- Monroy-Martínez, R., Ponce-Díaz, A., Colín-Bahena, H., Monroy-Ortiz, C., & García-Flores, A. (2016). Los huertos familiares tradicionales soporte de seguridad alimentaria en comunidades campesinas del estado de Morelos, México. *Ambiente y Sostenibilidad*, 33–43.
- Monroy-Ortiz, C., & Monroy, R. (2004). Análisis preliminar de la dominancia cultural de las plantas útiles en el estado de Morelos. *Botanical Sciences*, 74, 77–95. <https://doi.org/10.17129/botsci.1687>
- Montagnini, F., & Metzler, R. (2015). Biodiversidad, manejo de nutrientes y seguridad alimentaria en huertos caseros mesoamericanos. In F. Montagnini, E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola, & B. Eibl (Eds.), *Sistemas agroforestales funciones productivas, socioeconómicas y ambientales* (1st ed., p. 454). CIPAV.
- Moreno-Calles, A. I., Soto-Pinto, L., Cariño Olvera, M. M., Palma García, J. M., Moctezuma Pérez, S., Rosales Adame, J. J., Irene, P., Montañez Escalante, P. I., Sosa Fernández, V. de J., Ruenes Morales, M. del R., & López Martínez, W. (2020). *Los Sistemas*

- Agroforestales de México: Avances, experiencias, acciones y temas emergentes*. Red Temática de Sistemas Agroforestales de México (Red SAM).
- Nair, P. K. R. (1998). Directions in tropical agroforestry research: past, present, and future. *Agroforestry Systems*, 38, 223–245.
- Nair, P. K. R., Kumar, B. M., & Nair, V. D. (2021). Agroforestry for Biodiversity Conservation. In P. K. R. Nair, B. M. Kumar, & V. D. Nair (Eds.), *An Introduction to Agroforestry Four Decades of Scientific Developments* (2nd ed.). Springer.
- Neulinger, K., Alayón-Gamboa, J. A., & Reinhard Vogl, C. (2014). Uso de la diversidad vegetal para su conservación en los huertos familiares de grupos étnicos en Calakmul, Campeche. In Alayón-Gamboa José Armando & Morón Ríos Alejandro (Eds.), *El huerto familiar: Un sistema socioecológico y biocultural para sustentar los modos de vida campesinos en Calakmul, México* (Primera Edición, pp. 56–74). El Colegio de la Frontera Sur.
- Núñez Farfán, J., Chávez Pesqueira, M., Wegier Briuolo, A., Casas Fernández, A., Álvarez Gómez, A., Suárez Monte, M. del P., & Rosas Plaza, S. (2017). *Informe final del Proyecto WQ003 Análisis para la determinación de los centros de origen y diversidad genética de Carica papaya (Caricaceae)*. www.conabio.gob.mx
- Ortiz-Sánchez, A., Monroy-Ortiz, C., Romero-Manzanares, A., Luna-Cavazos, M., & Castillo-España, P. (2015). Multipurpose functions of home gardens for family subsistence. *Botanical Sciences*, 93(4), 791–806. <https://doi.org/10.17129/botsoci.224>
- Pagaza, E. M. (2008). *Efecto de la urbanización y el cambio cultural en la estructura florística de los huertos familiares y su papel en la conservación de especies silvestres, un estudio de caso en Tlacuilotepec, Puebla* [Maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Peralta-Juarez, I., Gómez-Campos, A., Romero-Castillo, P. A., & Reyes-Dorantes, A. (2017). Uso antropocéntrico del guaje *Leucaena esculenta* (Moc. & Sessé ex. D. C.) Benth, en dos comunidades de la mixteca baja oaxaqueña, México. *Polibotánica*, 43, 1–16.
- Pulido, M. T., Pagaza-Calderón, E. M., Martínez-Ballesté, A., Maldonado-Almanza, B., Saynes, A., & Pacheco, Reyna. M. (2008). Home gardens as an alternative for sustainability: Challenges and perspectives in Latin America. In U. P. Albuquerque & M. Alves Ramos (Eds.), *Current Topics in Ethnobotany*. Research Signpost.
- Pulido-Salas, M. T., Díaz, M. D. J. O., & de Dios, H. C. (2017). Flora, usos y algunas causales de cambio en quince huertos familiares en el municipio de José María Morelos, Quintana Roo, México. *Península*, 119–145.
- Rajagopal, I., Cuevas Sánchez, J. A., Baca Del Moral, J., Montejo, D. A., Gómez Hernández, T., Luis, J., & Lozano, R. (2021). The scope and constraints of homegardens for sustainable development: A review. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(2).
- Ramírez Hernández, B. C., Barrios Eulogio, P., Castellanos Ramos, J. Z., Urias, A. M., Hasbach, G. P., & Barrios, E. P. (2008). Sistemas de producción de *Spondias purpurea* (Anacardiaceae) en el centro-occidente de México. *Revista de Biología Tropical*, 56(2), 675–687.
- Rebollar-Domínguez, S., Santos-Jiménez, V. J., Tapia-Torres, N. A., & Pérez-Olvera, C.P. (2008). Huertos familiares, una experiencia en Chanchah Veracruz, Quintana Roo. *Polibotánica*, 25, 135–154.
- Reyes-García, V., Broesch, J., Calvet-Mir, L., Fuentes-Peláez, N., McDade, T., Parsa, S., Tanner, S., Huanaca, T., Leonard W, & Martínez-Rodríguez, M. (2009). Cultural transmission of ethnobotanical knowledge and skills: an empirical analysis from an Amerindian society. *Evolution and Human Behavior*, 30, 274–285.
- Ruenes-Morales, M. D. R., Montañez-Escalante, P., Casas, A., Jiménez-Osorio, J. J., & Caballero, J. (2012). Cultivo de *Spondias purpurea* “abales” en los huertos familiares de Yucatán. In J. S. Flores (Ed.), *Los huertos familiares de Mesoamérica*. Universidad Autónoma de Yucatán. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.
- Ruenes-Morales, M. R., Casas, A., Jiménez-Osorio, J. J., & Caballero, J. (2010). Etnobotánica de *Spondias purpurea* L. (Anacardiaceae) en la península de Yucatán. *Interciencia*, 35(4), 247–254.

Recibido:
5/mayo/2022

Aceptado:
15/enero/2023

- Rzedowski, J., & Calderón De Rzedowski, G. (2013). Datos para la apreciación de la flora fanerogámica del bosque tropical caducifolio. *Acta Botánica Mexicana*, 102, 1–23.
- Salazar-Barrientos, L., Magaña-Magaña, M. A., & Latournerie-Moreno, L. (2015). Importancia económica y social de la agrobiodiversidad del traspatio en una comunidad rural de Yucatán, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 12, 1–14.
- Sotelo-Barrera, M., García-Moya, E., Romero-Manzanares, A., Monroy, R., & Luna-Cavazos, M. (2016). Arboreal structure and cultural importance of traditional fruit homegardens of Coatetelco, Morelos, Mexico. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 25(3), 137–153. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.01.002>
- Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2008). *La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. (1st ed.). Icaria Editorial.
- Toledo V. M., Barrera-Bassols N., & Boege, E. (2019). *¿Qué es la Diversidad Biocultura?* (Primera Edición). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Trabanino, F. (2018). Arqueobotánica y huertos familiares en Mesoamérica. In: Ordoñez Díaz, M. J. (Ed.), *Atlas biocultural de huertos familiares en México: Chiapas, Hidalgo, Oaxaca, Veracruz y península de Yucatán*. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, UNAM.
- Trejo, I., & Dirzo, R. (2002). Floristic diversity of Mexican seasonally dry tropical forests. *Biodiversity and Conservation*, 11(11), 2063–2048.
- Trejo, I., & Hernández, J. (1996). Identificación de la selva baja caducifolia en el estado de Morelos, México, mediante imágenes de satélite. *Investigaciones Geográficas*, 5, 11–18.
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 21 Mar 2021 <https://tropicos.org>*.
- Vargas-Simón, G., Hernández-Cupil, R., & Moguel-Ordoñez, E. (2011). Caracterización morfológica de ciruela (*Spondias purpurea* L.) en tres municipios del estado de Tabasco, México. *Bioagro*, 23(2), 141–149.
- Wiersum, K. F. (2006). Diversity and change in homegardens cultivation in Indonesia. In B. M. Kumar & P. K. R. Nair (Eds.), *Tropical homegardens: A time-tested example of sustainable agroforestry*. Springer.
- Yashmita-Ulman, Singh, M., Kumar, A., & Sharma, M. (2021). Conservation of wildlife diversity in agroforestry systems in eastern Himalayan biodiversity hotspot. *Proceedings of the Zoological Society*, 74(2), 171–188. <https://doi.org/10.1007/s12595-021-00361-x>
- Yescas-Albarrán, C., Cruz León, A., Uribe Gómez, M., Lara Bueno, A., & Maldonado Torres, R. (2016). Árboles nativos con potencial dendroenergético para el diseño de tecnologías agroforestales en Tepalcingo, Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(16), 3301–3313.
- Zárate, S. (1997). Domestication of cultivated *Leucaena* (Leguminosae) in Mexico: the sixteenth century documents. *Economic Botany*, 51(3), 238–250.

EFECTOS DE JALES MINEROS Y MATERIA ORGÁNICA EN LA SUPERVIVENCIA DE *Arbustus xalapensis* Kunth PROPAGADO SIMBIÓTICAMENTE

EFFECT OF MINING TAILINGS AND ORGANIC MATTER ON THE SURVIVAL OF SYMBIOTICALLY PROPAGATED *Arbutus xalapensis* Kunth

Rodríguez González, F.; M. Rangel Villafranco; A.R. Velasco Reyes; J.M. Gómez Bernal y E.A. Ruiz Huerta

EFECTOS DE JALES MINEROS Y MATERIA ORGÁNICA EN LA SUPERVIVENCIA DE *Arbustus xalapensis* Kunth PROPAGADO SIMBIÓTICAMENTE

EFFECT OF MINING TAILINGS AND ORGANIC MATTER ON THE SURVIVAL OF SYMBIOTICALLY PROPAGATED *Arbutus xalapensis* Kunth



Efectos de jales mineros y materia orgánica en la supervivencia de *Arbutus xalapensis* Kunth propagado simbióticamente

Effect of mining tailings and organic matter on the survival of symbiotically propagated *Arbutus xalapensis* Kunth

Rodríguez González, F.;
M. Rangel Villafranco;
A.R. Velasco Reyes;
J.M. Gómez Bernal
y E.A. Ruiz Huerta

EFFECTOS DE JALES
MINEROS Y MATERIA
ORGÁNICA EN LA
SUPERVIVENCIA DE
Arbutus xalapensis Kunth
PROPAGADO
SIMBIÓTICAMENTE

EFFECT OF MINING
TAILINGS AND ORGANIC
MATTER ON THE
SURVIVAL OF
SYMBIOTICALLY
PROPAGATED *Arbutus*
xalapensis Kunth

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 53: 67-80 Enero 2023

DOI:

10.18387/polibotanica.55.5

F. Rodríguez González
M. Rangel Villafranco
A.R. Velasco Reyes

Laboratorio de cultivo de tejidos vegetales y microscopía,
Universidad Intercultural del Estado de México, Lib. Francisco Villa S/N,
Col. Centro, 50640 San Felipe del Progreso, Estado de México.

J.M. Gómez Bernal / gupi02@yahoo.com.mx

Departamento de Biología, Facultad de química,
Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior S/N,
Coyoacán, Cd. Universitaria, 04510, CDMX, México.

E.A. Ruiz Huerta

Departamento Recursos Naturales, Instituto de Geofísica,
Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior S/N,
Coyoacán, Cd. Universitaria, 04510, CDMX, México.

RESUMEN: Las actividades de extracción de minerales han dejado una gran cantidad de sitios contaminados conocidos como “jales” y terraplenes, que presentan concentraciones de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) y nula presencia de materia orgánica lo que impide el establecimiento de cobertura vegetal. Estos sitios pueden ser rehabilitados usando tecnologías de biorremediación, como la fitorremediación asistida por microorganismos y técnicas agronómicas como la adición de materia orgánica. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de jales mineros y materia orgánica en la supervivencia de *Arbutus xalapensis* Kunth (Ericaceae) propagados simbióticamente con hongos micorrízicos ericoides. Se establecieron 6 tratamientos evaluando la supervivencia, crecimiento, biomasa y presencia o ausencia de colonización micorrízica después de 6 meses. Los resultados observados muestran que la mayor supervivencia se dio en los tratamientos sin materia orgánica teniendo una supervivencia de 91 y 94%, mientras que la altura de las plantas presentó diferencias estadísticamente significativas, teniendo un solo tratamiento que es diferente del resto con menor crecimiento Terraplén de 150 años + suelo + agrolita. Para la colonización micorrízica no se encontraron diferencias, entre los tratamientos con contaminantes y sin contaminantes, observando que los procesos de simbiosis entre hongos y las raíces de los árboles no se ve afectada por la presencia de EPT, siendo viable la fitorremediación de jales con *A. xalapensis* y micorrizas.

Palabras clave: Biorremediación, Fitorremediación, Hongos Micorrízicos, Elementos Potencialmente Tóxicos, Simbiosis.

ABSTRACT: Mineral extraction activities have left a large number of contaminated sites known as "tailings" and embankments, which have concentrations of Potentially Toxic Elements (PTE) and there is no presence of organic matter, which prevents the establishment of vegetation cover. These sites can be rehabilitated using bioremediation technologies, such as microbial-assisted phytoremediation, and agronomic techniques such as the addition of organic matter. The objective of this

work was to evaluate the effect of mining tailings and organic matter on the survival of *Arbutus xalapensis* Kunth (Ericaceae) propagated symbiotically with ericoid mycorrhizal fungi. Six treatments were established, evaluating survival, growth, biomass and presence or absence of mycorrhizal colonization after 6 months. The observed results show that the greatest survival is found in the treatments without organic matter, having a survival of 91 and 94%, while the height of the plants presented statistically significant differences, having a single treatment that is different from the rest with lower growth embankment of 150 years + soil + agrolite, while for mycorrhizal colonization no significant differences were found between the treatments with contaminants and without contaminants, observing that the symbiosis processes between fungi and tree roots are not affected by the presence of EPT, being viable the phytoremediation of tailings with *A. xalapensis* and mycorrhizae.

Keywords: Bioremediation, Phytoremediation, Mycorrhizal Fungus, Potentially Toxic Elements, Symbiosis.

INTRODUCCIÓN

El proceso de extracción de minerales realizado a nivel mundial y en México practicado por más de 500 años, ha dejado una gran cantidad de sitios contaminados por residuos llamados jales que son definidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT, 2004) como el resultado de las operaciones primarias de extracción de minerales que son acumulaciones de roca extraída en trabajos de explotación, pero que contienen porcentaje de mineral aprovechable (Barbosa Gay & González, 2014) y terreros que son definidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT-2009 como Residuos conformados por apilamiento de material mineral de baja ley que no pasaron por el proceso de extracción (SEMARNAT, 2011).

Estos residuos llegan a presentar Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT), representados por metales y metaloides (Montes Rocha, 2016), que al encontrarse a la intemperie generan un proceso químico denominado Drenaje Acido de Mina (DAM), el cual consiste en el contacto de minerales como carbón, sulfuros metálicos, hierro y uranio, con moléculas de oxígeno y agua, lo que provoca la lixiviación de estos, aumentando su pH (Aduvire, 2006). Esto genera problemas de salud y ambientales por lo que la estabilización de estos sitios puede ser mediante procesos de biorremediación o fitorremediación. Esta última técnica aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos (Delgadillo-López, *et al.*, 2011).

Otra estrategia para facilitar el establecimiento de la vegetación es agregar materia orgánica, ya que esta estabiliza y une a las partículas del suelo en agregados estructurales, mejorado la capacidad del suelo para almacenar y permitir el flujo de agua y aire, proporciona nutrientes, incrementa la capacidad de intercambio catiónico y disminuye la posibilidad de compactación, técnica conocida como remediación inducida (Carrillo-González, 2017).

De la misma forma, la adición de microorganismos simbióticos, ayuda al establecimiento de vegetación. Dentro de estos se encuentran los hongos micorrízicos: arbusculares, ericoides y ectomicorrízicos ya que son capaces de inmovilizar de forma efectiva los metales al unirlos con la pared celular de las hifas (Vital Vilchis, 2019), siendo esta estrategia viable para la recuperación de sitios contaminados por residuos de minería.

El sitio de estudio pertenece al municipio de Mineral de Angangueo, en el Estado de Michoacán en donde se ha desarrollado la actividad minera desde el periodo colonial, por lo que, en estudios realizados por Ruiz *et al.*, (com. Pers.) en cuerpos de agua cercanos a un terrero y un jal de 150 y 100 años de antigüedad respectivamente, se encontraron altos niveles de EPT (As, Fe, Zn y Mg). Por lo tanto, se considera que los EPT pueden estar presentes en los diferentes ambientes relacionados a la actividad minera, en este sentido se han considerado estrategias de

recuperación y/o retención de los contaminantes con vegetación que pueda servir como barrera o como especies acumuladoras para disminuir las concentraciones de EPT en el suelo, Aramburu *et al.* (2009), aporta un listado de especies nativas con potencial para ser usadas en procesos de biorremediación y Liu *et al.* (2000) han hecho estudios de plantas para fitorremediación como *Zea maíz*, en ambos casos analizando la presencia de interacciones simbióticas que favorecen este proceso. *Arbutus xalapensis* Kunth (Ericaceae), es una especie nativa que establece relaciones simbióticas y es capaz de crecer en suelos con altas concentraciones de metales pesados (Díaz Armendáriz, 2018). Estas plantas desarrollan raíces laterales especializadas de diámetro estrecho, con una anatomía simple, con un cilindro vascular rodeado de una o dos filas de células corticales y una capa epidérmica, la asociación implica la colonización de las células epidérmicas por hifas fúngicas seguida de la formación de una hifa ramificada en cada célula colonizada (Peterson *et al.*, 2004).

Por lo anterior el objetivo del presente estudio es evaluar la supervivencia y crecimiento de *Arbutus xalapensis* simbióticos sobre residuos mineros enmendados con materia orgánica, así como conocer el porcentaje de colonización micorrízicas y diversidad de morfotipos micorrízicos, para implementarse en fitorremediación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Área de Estudio

Se tomaron muestras de un jal minero de 100 años y un terrero de 150 años en el municipio de Mineral de Angangueo, Michoacán. El cual se localiza al oriente del Estado de Michoacán en las coordenadas 19°37'00" de latitud norte y en los 100°17'00" de longitud oeste a una altura de 2,580 msnm (Fig. 1) (INEGI, 2016).



Fig.1. Localización del Área de Estudio (Mineral De Angangueo, Michoacán).

Descripción del Área de Estudio

Estudios históricos realizados en el área muestran que la explotación Minera en el sitio inicio desde el periodo prehispánico, hasta el año 1992 (Servicio Geológico Mexicano, 2018), generando grandes cantidades de residuos, depositados en presas de jales y terreros, estos con las características de no contar con cobertura vegetal, lo que provoca la movilidad de los EPT.

Los análisis realizados a los cuerpos de agua cercanos arrojaron la presencia de elementos como Arsénico (As) con un promedio de 1.68 mg/l, Hierro (Fe) con 313.33 g/l, Zinc (Zn) 80 mg/l y Magnesio (Mg) con 35 m/l, algunos por arriba de los límites permisibles por las normas oficiales en México (Tabla 1).

Tabla 1. Concentraciones de elementos potencialmente tóxicos encontrados en jales muestreados *Ruiz et al. in press*. Las concentraciones de metales y metaloides están expresadas en mg/l.

Nombre	pH	SO ₄	As	Fe	Zn	Mg
Rio Carrillo (parte superior)	7.14	19.61	1.32	0.16	nd	nd
Rio Carrillo (parte inferior)	7.11	19.61	1.27	0.07	nd	nd
Lixiviados del jal Carrillo	2.48	5278	2.44	940	240	105
<i>Limites permisible en ríos</i>	6.5-8	100	0.2	1	10	0.1

Los niveles marcados en rojo sobrepasan las concentraciones permisibles en Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017 que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. nd (no detectado).

Tratamientos, Diseño y Unidad Experimental

Se seleccionó a la especie vegetal *A. xalapensis* al ser capaz de crecer en suelos con altas concentraciones de metales pesados (Díaz Armendáriz, 2018), es un árbol de 10 a 20 metros de altura, perennifolio, de importancia ecológica y económica y que ha sido poco estudiada y con problemas de amenaza (Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001) (SEMARNAT, 2002). Se distribuye en México en por los estados de Chihuahua, Nuevo León, Durango, Sinaloa, Jalisco, Oaxaca, Michoacán, San Luis Potosí, Guanajuato, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Veracruz. Forma parte del matorral xerófilo y de bosques de *Quercus* y Coníferas.

Se probaron un total de 4 tratamientos y dos controles con diferentes condiciones: sin materia orgánica y con materia orgánica (T1 y T2) con 35 repeticiones cada uno (Tabla 2). Usando lombricomposta como materia orgánica, sobre residuos mineros de Jal (100 años) y Terrero (150 años). El experimento bajo condiciones de invernadero duro 6 meses, con base al trabajo realizado por Ríos (2019). Para establecer los tratamientos se usaron como unidades experimentales 210 árboles de la especie *A. xalapensis*, de 6 meses de edad propagados sobre suelo rizosférico, que permitió el establecimiento de la micorriza misma que fue constatada al tomar muestras de las raíces de cada árbol, estos fueron colocados en macetas de 2 kg aproximadamente, con una base de papel filtro llenados en las siguientes proporciones:

Tratamientos con materia orgánica: 1/3 de suelo rizosférico, 2/3 de sustrato (jal de mina/terrero) y 100 g de enmienda orgánica (lombricomposta). Tratamientos con agrolita: 1/3 de suelo, 1/3 de sustrato (jal de mina/terrero) y 1/3 de agrolita. Los elementos que se utilizaron como sustrato no fueron esterilizados para simular las condiciones de revegetación que dan sobre los jales.

Tabla 2. Tratamientos establecidos para evaluar supervivencia de *A. xalapensis* micorrizados, crecimiento, colonización micorrizica y caracterización de morfotipos micorrizicos.

Tratamiento	Condición
T1	Suelo = control 1
T2	Suelo + MO control 2
T3	Terraplén de 150 años + suelo + agrolita
T4	Jal de 100 años + suelo + agrolita
T5	Terraplén de 150 años + suelo + MO
T6	Jal de 100 años + Suelo + MO

C=control; S+MO=Suelo+ Materia orgánica; T150+S+A=Terraplén 150 años+Suelo+Agrolita; 100+S+A= Jal 100 años+Suelo+Agrolita; T150+S+MO= Terraplén 150 años, Materia Orgánica, Suelo; 100+MO+S=Jal 100 años Materia Orgánica+Suelo.

Evaluación de supervivencia y crecimiento

Para realizar la evaluación de la supervivencia y crecimiento se contabilizaron y midieron desde la base del sustrato el total de árboles por tratamiento y se les asignó un número consecutivo al iniciar el experimento, registrándolos en una base de datos. Al finalizar el tiempo de evaluación, se contabilizaron y midieron nuevamente, y se ignoraron los individuos muertos, para obtener el porcentaje de supervivencia final. Se realizó un análisis estadístico ANOVA y prueba de Tukey usando el software Statistica 7 a la variable de Crecimiento, para observar si se presentaron diferencias significativas en los tratamientos.

Crecimiento total y biomasa

Para el análisis de crecimiento total se contabilizaron 35 individuos en los diferentes tratamientos (210 individuos en total) y para la cuantificación de la biomasa, se tomó una muestra al azar de tres individuos por tratamiento, teniendo un total de 18 individuos los cuales fueron desenterrados y lavados para retirar todo el sustrato, se tomaron las medidas total, aérea y subterránea de las plantas, mientras que para la biomasa se obtuvo el peso total, y se separó la parte aérea de la parte subterránea, la cual se pesó por separado para obtener el peso fresco. A continuación, se registraron las medidas y pesos totales y separados en una base de datos, posterior a obtener el porcentaje de colonización, biomasa aérea y subterránea se colocó en la estufa de secado a 60 °C por tres días y se registró peso seco. Finalmente, para obtener el porcentaje de pérdida de biomasa.

$$BSA+BSS=PTS$$

$$PTF-PTS = \% \text{ de pérdida de biomasa}$$

BSA: Biomasa Seca Aérea

BSS: Biomasa Seca Subterránea

PTF: Peso Total Fresco

PTS: Peso Total Seco

Evaluación de porcentaje de colonización

Para realizar la evaluación de colonización se tomó la parte subterránea (raíces) de las plantas usadas para crecimiento total y biomasa. Se utilizó el método de intersección de cuadrantes propuesto por (SEMARNAT, 2007), que consiste en realizar el conteo de las raíces colonizadas, cortando la raíz en segmentos y colocando estas en una caja de Petri, con cuadrícula de un centímetro cuadrado. Posteriormente, se realizó la observación en microscopio estereoscópico, examinando las raíces, evaluando las intersecciones en un sentido vertical y horizontal. Finalmente, se observó toda la longitud de la raíz y se cuantificó la presencia de estructuras micorrizicas, se contaron las raíces observadas, separando las colonizadas y no

colonizadas, realizando el conteo en cada centímetro cuadrado, siguiendo la metodología antes descrita. Con los datos obtenidos, se realizó el cálculo de la longitud radical colonizada para obtener el porcentaje de micorrización, de acuerdo con la siguiente fórmula (SEMARNAT, 2007):

$$\% \text{ de Micorrización: } \frac{\text{Longitud Colonizada}}{\text{Longitud Total}} * 100$$

Caracterización de morfotipos erocoides

Después de obtener el porcentaje de colonización, cada una de las cajas Petri con presencia de micorrizas fueron aisladas e individualizadas mismas que se fijaron en Navashin y etanol al 70% para su preservación y posterior caracterización. Se contabilizaron los ápices modificados por el hongo en cada raíz y fueron retirados de la plántula, para ser clasificados en morfotipos tomando como base la clasificación propuesta por Díaz Armendáriz (2018), Agerer (1987), con la clave DEEMY (Rambold & Agerer, 1997). Esta clasificación se hizo de acuerdo con características morfológicas y anatómicas para morfotipos ericoide, entre las que se encuentran dimensiones, tipo de ramificación, forma del ápice, textura o superficie del manto, tipos de red de Hartig y tipos de manto. Posteriormente se clasificaron y realizaron microfotografías empleando un microscopio estereoscópico de columna marca Leica M125, con el programa Leica application suite v4.

RESULTADOS

Supervivencia y Crecimiento

Los tratamientos mostraron que de los 210 individuos sólo sobrevivieron 114 individuos en los 6 tratamientos y los tratamientos que generaron mejores resultados después de 6 meses fueron los tratamientos T3 y T4, teniendo un total de 32 y 33 individuos vivos lo que representa 91 y 94 %, respectivamente. Mientras que el tratamiento de T6 presentó un total de 7 individuos vivos lo que representa el 20 % de supervivencia siendo este el tratamiento con menor número de individuos vivos (Fig. 2). Comparados con los tratamientos T1 y T2 que presentaron 26 y 16 individuos vivos lo que representa el 74 y 45 % de supervivencia. Observando que presentaron un menor porcentaje de supervivencia los tratamientos con MO.

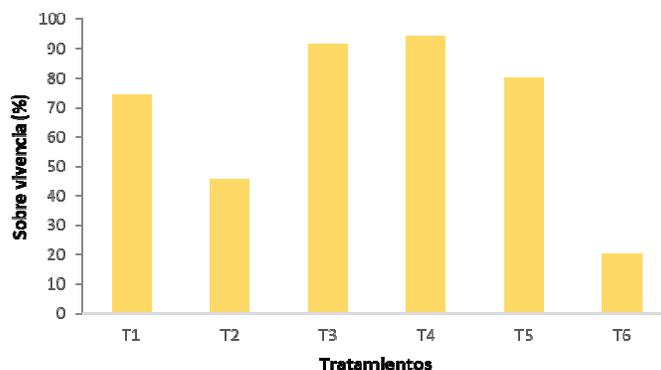


Fig. 2. Gráfica de supervivencia de *A. xalapensis* después de 6 meses de tratamientos.

Para crecimiento se encontraron diferencias significativas, ($F=7.27$; $p=0.000005$), teniendo que los tratamientos T4 y T5 presentaron los valores más altos, teniendo una altura promedio de 15.78 y 16.60 cm respectivamente con una tasa de crecimiento promedio de 2.63 y 2.76 cm al mes individualmente.

Siendo similares a los controles T1 y T2 que presentaron una altura promedio de 14 y 15 cm teniendo una tasa de crecimiento de 2.4 y 2.5 cm al mes respectivamente. Mientras tanto el tratamiento T3 mostro el crecimiento más bajo con 7.63 cm y una tasa de crecimiento de 1.27 cm al mes (Fig. 3).

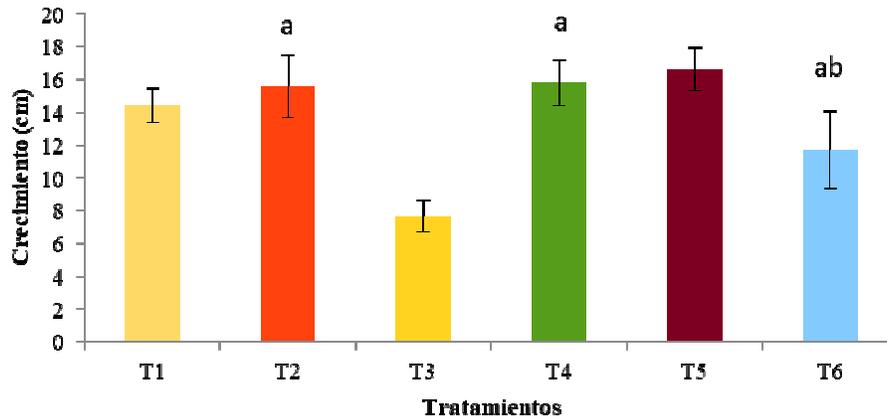


Fig. 3. Grafica de promedio de Crecimiento de *A. xalapensis* en los diferentes tratamientos.

Análisis para la muestra destructiva crecimiento Total

El análisis estadístico realizado a la muestra destructiva indica que no existe diferencia significativa entre los tratamientos. Encontrando que los valores más altos en cuanto a crecimiento total se presentaron en los tratamientos T4 y T5 teniendo un crecimiento promedio de 48 y 52 cm, respectivamente. Presentando una distribución de crecimiento, para la parte aérea de 26 y 27.7 cm, mientras que para la parte subterránea de 22.67 y 24.83 cm, respectivamente, teniendo una diferencia de crecimientos de 3.33 y 3.4 cm, siendo una diferencia baja, lo que indica que el crecimiento se distribuyó casi de manera equitativa (Fig. 4).

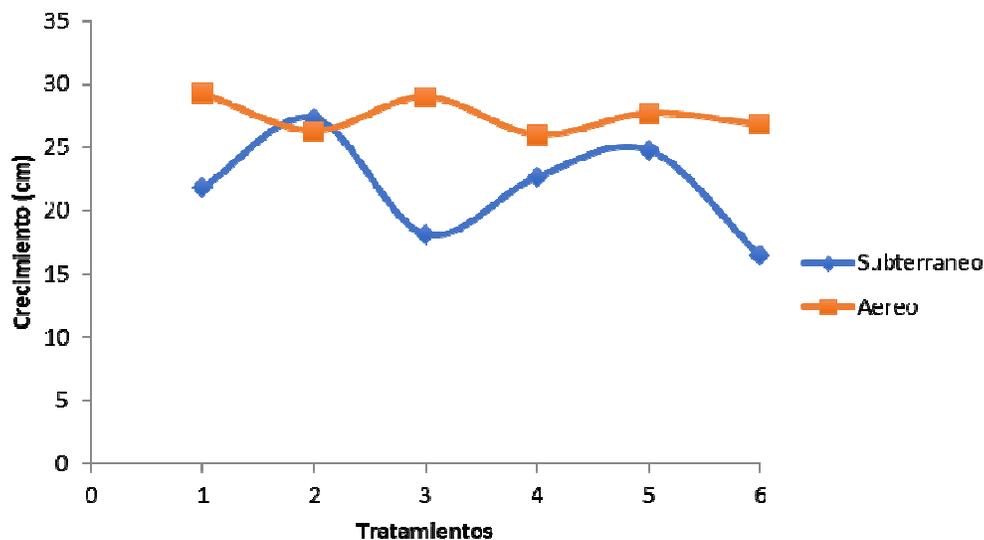


Fig. 4. Grafica de distribución de crecimiento aéreo y subterráneo.

Biomasa

En términos de biomasa total los tratamientos con los valores más altos fueron T3 y T6 teniendo un promedio de biomasa seca de 7.3 y 5.4 g individualmente. Presentaron así un porcentaje de pérdida de biomasa de 72 y 77.5% respectivamente, siendo estos los tratamientos que presentaron menor pérdida de biomasa, similarmente a los controles T1 y T2, que perdieron el 81% y 75%, no habiendo diferencias significativas (Tabla 3).

Tabla 3. Porcentaje de pérdida de biomasa en *Arbutus xalapensis* en los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Biomasa fresca	Biomasa seca	Pérdida de biomasa	% de pérdida
C	23	4.3	18.7	81.3
S+MO	22	5.4	16.6	75.5
T150+S+A	27	7.3	19.7	73.0
100+S+A	23	5.1	17.9	77.8
T150+S+MO	18	4.1	13.9	77.2
100+MO+S	24	5.4	18.6	77.5

Porcentaje de colonización y caracterización de morfotipos micorrízicos ericoides

Los resultados obtenidos para porcentaje de colonización muestran que no existen diferencias significativas, encontrando que los tratamientos con mayor porcentaje fueron T1 y T2 con 49.33 y 44.96% respectivamente (Tabla 4).

Finalmente, se identificaron 6 morfotipos (Fig. 5) de 6 tratamientos estos se describieron con base a Agerer (1987) y con la clave DEEMY (Rambold & Agerer, 1997) y corroborado con el trabajo de Díaz Armendáriz (2018) que estudio las micorrizas de *A. xalapensis* sobre suelos volcánicos. Además, se aplicó KOH al 10%, reactivo que reacciona con las paredes celulares del manto que genera el hongo en los ápices de las raíces para comprobar la presencia de la simbiosis (Fig. 6).

Tabla 4. Variable de respuesta de muestras destructivas en los diferentes tratamienitos.

Tratamiento	Crecimiento total (cm)	Biomasa fresca (g)	Biomasa seca (g)	No. TIPS
C	51.13 ± 3.16	23 ± 4.9	4.3 ± 0.9	214.50 ± 52.50
S+ MO	53.7 ± 5.86	22 ± 5.0	5.4 ± 1.7	272.66 ± 15.21
T150+S+A	47.2 ± 4.00	27 ± 7.0	7.3 ± 2.4	333.00 ± 118.97
100+S+A	48.7 ± 8.25	23 ± 5.7	5.1 ± 1.3	256.66 ± 111.83
T150+S+MO	52.5 ± 2.22	18 ± 1.1	4.1 ± 0.4	295.33 ± 55.18
100+MO+S	43.3 ± 6.00	24 ± 8.2	5.4 ± 1.8	358.00 ± 78.83

C=control, S+MO=Suelo+ Materia orgánica, T150+S+A=Terraplén 150 años+Suelo+Agrolita, 100+S+A= Jal 100 años+Suelo+Agrolita, T150+S+MO= Terraplén 150 años Materia Orgánica Suelo, 100+MO+S=Jal 100 años Materia Orgánica +Suelo.

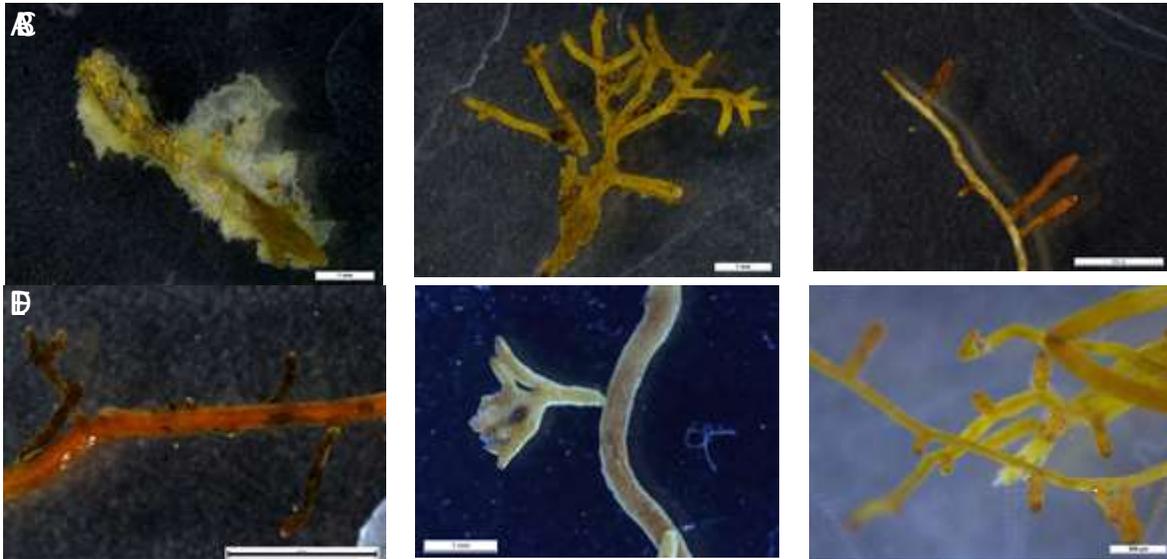


Fig. 5. Morfotipos micorrízicos ericoide caracterizados de acuerdo con Agerer (1987). **A)** Macrofotografía a 12 aumentos; Ramificación pinnada piramidal; con la forma de los ápices rectos; textura o superficie del manto Lanosa-fibrosa; lobulada; Tipo de manto plectenquimatoso con hifas dispuestas en forma de estrella y fuertemente pegadas. **B)** Macrofotografía a 12 aumentos; Tipo de ramificación Irregular pinnada; Forma del ápice ligeramente tortuosa; Textura o superficie del manto lisa; lobulada; tipo de manto H transicional entre hifas plectenquimatosas y pseudoparenquimáticas de forma irregular que forman una red gruesa. **C)** Macrofotografía a 12 aumentos con recorte y ajuste de escala (1 px= 0.2 mm); Tipo de ramificación simple; Forma del ápice recta ligeramente curvada; textura lisa; lobulada; Tipo de manto H transicional. **D)** Macrofotografía a 12 aumentos con recorte y ajuste de escala (1 px= 0.2 mm); Tipo de ramificación simple; Forma del ápice ligeramente curvado; Textura lisa-fibrosa; Tipo de manto H transicional. **E)** Macrofotografía a 12 aumentos; Tipo de ramificación dicotómica; forma del ápice curvada; textura algodonosa; Tipo de manto Pseudoparanquemitaso: mantos con células angulares portando una delicada red de hifas. **F)** Microfotografía a 25 aumentos (1 μ m= 0.001 mm); Tipo de ramificación simple: Forma del ápice recta; Textura lisa; Tipo de manto H transicional.

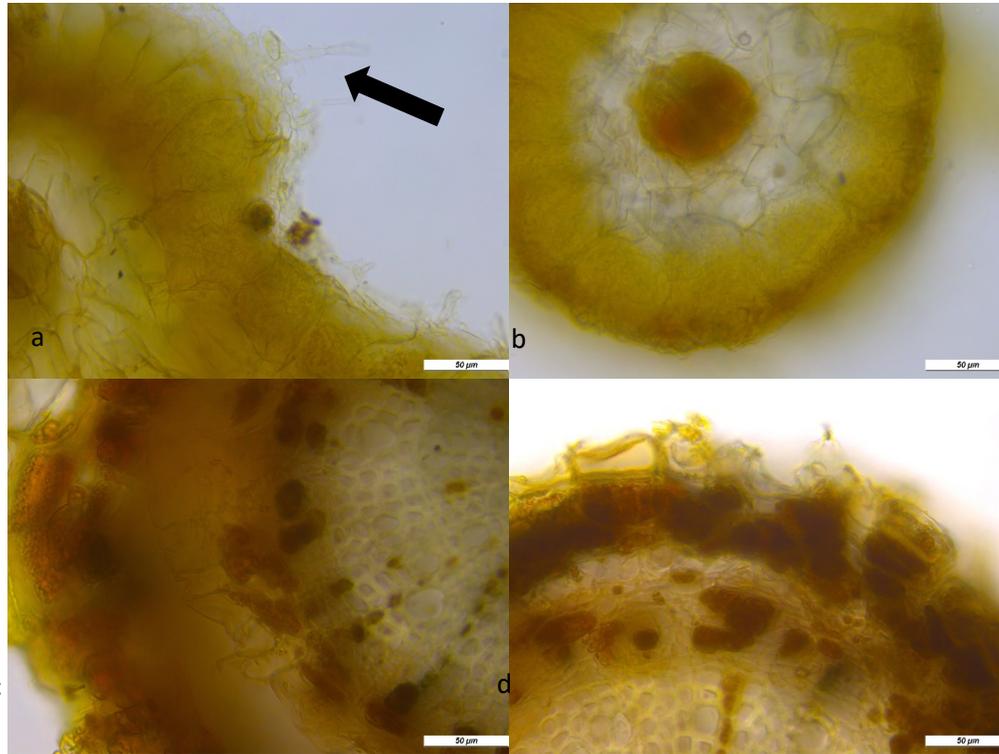


Fig. 6. Sección transversal de la raíz modificada de *A. xalapensis* que muestra una estructura similar a un manto (a), una hifa que penetra en la epidermis (flecha) y espirales de hifas (puntas de flecha) (b); c y d cambio de coloración de las hifas de los ápices modificados que crecieron en el tratamiento T5.

DISCUSIÓN

El estudio mostró que la fitorremediación es una alternativa viable para tratar suelos contaminados con metales, metaloides y compuestos orgánicos. Durante la última década, numerosos estudios han demostrado su potencial para remediar suelos. No obstante, para superar algunas de sus limitaciones es importante continuar realizando investigaciones. Con este trabajo se genera información sobre el efecto de residuos mineros sobre *A. xalapensis*, inoculado con micorrizas de tipo ericoide y se contribuyó con datos para poder emplear esta especie en procesos de fitorremediación.

Los resultados presentan variaciones en relación a la supervivencia, siendo los tratamientos con MO los que presentaron los resultados más bajos, así como cambios en la coloración de hojas (Fig. 7), lo que indica que la adición de materia orgánica a jales de temporalidad reciente (100 años) no es viable, ya que de acuerdo a Carrillo-González (2017), en algunos casos aumenta la disponibilidad de elementos potencialmente tóxicos, ampliando las posibilidades de ser absorbidos en mayor cantidad por la planta, además de acrecentar los niveles de pH en el suelo o sustrato, coincidiendo con Asati *et al.*, (2016) y Ríos Esparza (2019), quienes mencionan que la adición de enmiendas orgánicas aumenta la disponibilidad de Zn reportando un aumento de 500 mg/kg en los tratamientos con enmiendas, y a sus vez indican que la fitotoxicidad causada por Zn está caracterizada por la disminución del crecimiento y la aparición de un color rojo violáceo y marrón necrótica en las hojas inferiores de la planta siendo estas características encontradas en diferentes individuos como se muestra en la Fig. 7.



Fig. 7. Cambio de coloración en las hojas de *A. xalapensis*.

Se observó que la presencia de micorrizas de tipo ericoide favorecieron la supervivencia de los individuos colocados sobre tratamientos con residuos de mina que presentaban altas concentraciones de Zn, Fe, As y Mg, aumentando las posibilidades de crecimiento, a excepción del tratamiento T3 que tuvo un crecimiento bajo, pero con el mayor porcentaje de supervivencia, teniendo que la presencia de esta interacción es favorable para la supervivencia de las plantas sobre residuos mineros, esto con base en lo reportado por Márquez *et al.* (2005), la supervivencia de *Erica andevalensi* sobre residuos mineros, y que la presencia de la interacción simbiótica, genera que los metales se acumulen en las raíces, y en algunos casos como el Zn sean translocados hacia las hojas de las plantas, teniendo como similitud que *E. andevalensi* pertenece a la misma familia botánica que *A. xalapensis*.

Esto da lugar a estudios reportados por (Molina & Trappe, 1982), quienes mencionan que hongos formadores de Ectomicorrizas son capaces de formar también micorrizas ericoides, siendo así que los reportaron como hongos generalistas, por tal motivo se deduce que al estar presentes individuos del género *Pinus* cercanos a los sitios de muestreo estos tenían la presencia de hongos micorrízicos lo que aumento la presencia de más Morfotipos de los originales.

Así, Barbachano García (2020) reporta que *Ipomea tricolor* Cav. presento un bajo desarrollo de longitud en sus tratamientos con jales provenientes de Anganguo, mientras tanto el alto crecimiento y la supervivencia de algunos tratamientos por la presencia de las micorrizas, considerando lo que plantean González-Chávez (2017), quienes hacen un análisis del uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en la fitorremediación de sitios contaminados con EPT, en donde mencionan, que estos interactúan con la planta modificando las condiciones para que estas se puedan establecer, crecer e incrementar su tolerancia y productividad en estos sitios.

Las micorrizas de tipo ericoides asociadas a *A. xalapensis* permitieron soportar las limitaciones de materia orgánica y la alta presencia de EPT, brindando protección a la planta, esto coincide con lo reportado por Rangel *et al.*, (2014) quienes analizan el efecto de hongos micorrízicos arbusculares asociados a plantas leguminosas en la absorción de As, ellos reportan un retraso en la aparición de toxicidad por As, sin embargo este efecto fitoprotector varia en relación a la

planta y la especie de HMA. Por ende, podemos argumentar que la presencia de Hongos micorrízicos ericoides considerados generalistas favorecen la supervivencia ya que al realizar cortes transversales a morfotipos y ser observadas al microscopio se lograron encontrar estructuras circulares posiblemente en donde se almacenaron EPT, los que nos da una de que es favorable la presencia y uso de la especie y la inoculación para la formación de estas micorrizas y su aplicación en la fitorremediación de zonas mineras con características similares.

Finalizando, Gutiérrez Alas (2015) encontró que las ectomicorrizas asociadas a *Betula celtibérica* Rothm, que crecen de manera natural en un sitio contaminado con metales pesados, presenta una amplia diversidad fúngica lo que favoreció el desarrollo de la especie, encontrando a las micorrizas en *A. xalapensis* presentan las mismas modificaciones en las raíces, por lo cual se piensa que esto ayuda a la especie a sobrevivir en sitios contaminados con EPT.

CONCLUSIONES

La presencia de jales y terraplenes sin ningún tipo de manejo para su estabilización lleva un proceso muy lento de recuperación, siendo este a largo plazo, en este caso los sitios con temporalidades de 100 y 150 años que no presentaban ningún manejo presentaban muy poca y nula vegetación, por lo que se logró obtener una alta supervivencia de *A. xalapensis* en los tratamientos sin enmiendas orgánicas, mientras que los tratamientos con enmienda presentaron la menor supervivencia pudiéndose deber a que no se esterilizó el sustrato. Sin embargo, estos presentaron los crecimientos más altos, teniendo así que la adición de lombricomposta como enmienda orgánica a jales de 100 años con presencia de Zn, provoca una baja supervivencia, suponemos que con el cambio de pH se pudieran liberar en mayor cantidad los EPT, afectando en mayor proporción a la planta. Se encontró una gran diversidad de morfotipos de ericoides (Micorrizas), caracterizando un total de 6 morfotipos, siendo esto favorable para las plantas ya que la presencia de este tipo de asociaciones, ayudan a la supervivencia y crecimiento en sitios con presencia de EPT.

LITERATURA CITADA

- Aduvire, O. (2006). *Drenaje Ácido de Mina. Generación y Tratamiento*. España: Instituto Geológico y Minero de España Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente.
- Agerer, R. (1987). *Colour atlas of ectomycorrhizae*. Germany: Einhorn-Verlag Eduard Dietenberger, Schwabisch Gmund.
- Aramburu Maqua, M. P., Escribano Bombin, M. d., Escribano Bombin, R., López Rodríguez, A., Mataix González, C., Pastor Piñuela, M., & Turc Cuesta, I. (2009). *Especies Vegetales de Interés Para La Restauración Minera En La Comunidad de Madrid* (1 ed.). Madrid, España: Consejería de Economía y Hacienda. Comunidad de Madrid.
- Asati, A., Pichhode, M., & Nikhil, K. (2016). Effect of heavy metals on plants: An overview. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, 5(3), 56-66.
- Barbachano García, C. (2020). *Importancia del Potencial Micorrícico de Hongos Provenientes de Suelos de Jales Mineros y su Efecto en el Rendimiento Vegetal de Ipomoea tricolor Cav.* Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia: Tesis de Maestría.
- Barbosa Gay, D., & González, C. (2014). *Conceptos de Derecho Minero* (Vol. 7). Cordoba, Argentina: Serie de Materiales de Investigación.
- Carrillo-González, R. (2017). Fitorremediación asistida con enmiendas y fitoestabilización de elementos potencialmente tóxicos. *Agro Productividad*, 10(4), 6.
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.

Recibido:
11/abril/2022

Aceptado:
12/enero/2023

- Díaz Armendáriz, A. (2018). *Caracterización de morfotipos ericoides asociados a Arbutus xalapensis Kunth, en suelos volcánicos del corredor biológico Chichinautzin*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- González-Chávez, M. A. (2017). Fitorremediación Asistida Por Microorganismos Con Énfasis En Hongos Arbusculares. *Agro Productividad*, 10(4), 28-33.
- Gutiérrez Alas, N. (2015). *Estudio de la diversidad micorrícica de Betula celtibérica Rothm y Vasc en zonas contaminadas por metales pesados*. Universidad de Oviedo. Oviedo: Tesis de Ingeniería.
- INEGI. (2016). *Anuario Estadístico y Geográfico de Michoacán de Ocampo*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R. I., Ma, B. L., & Smith, D. L. (2000). Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. *Mycorrhiza*, 9(6), 331-336.
- Márquez, B., Hidalgo, P. J., Heras, M. A., Velasco, R., & Córdoba, F. (2005). Erica andevalensis: Un brezo endémico y en peligro de extinción de la zona minera de huelva. *Jornadas Técnicas de Ciencias Ambientales*, 1-19.
- Molina, R., & Trappe, J. M. (1982). Lack of micorrhizal specificity by the Ericaceous hosts *Arbutus menziessi* and *Arctostaphylos uva-ursi*. *New Phytologist*, 90(3), 495-509.
- Montes Rocha, J. A. (2016). *Efecto de los Metales Pesados en Suelo de Jales Mineros de San Luis Potosí*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí: REPOSITORIO NACIONAL CONACYT.
- Peterson, R. L., Massicote, H. B., & Melville, L. H. (2004). *Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology*. Ontario, Canada: NRC Research Press.
- Rambold, G., & Agerer, R. (1997). The concept of a characterization and determination system for ectomycorrhizae. *Mycorrhiza*, 7(2), 113-116.
- Rangel, W. M., Schneider, J., Costa, E. D., Soares, C. F., Guilherme, L. G., & Moreira, F. D. (2014). Phytoprotective Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Species Against Arsenic Toxicity in Tropical Leguminous Species. *International Journal of Phytoremediation*, 16(7-8), 840-858.
- Ríos Esparza, A. M. (2019). *Estabilización de jales mineros utilizando biocarbón y composta para promover el crecimiento de pastos e inmovilizar elementos potencialmente tóxicos*. Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico: Tesis de Licenciatura.
- SEMARNAT. (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001 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*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT. (2004). *Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003, que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT. (2007). *Caracterización de hongos ectomicorrícicos en un bosque de Pinus jeffreyi y su uso potencial como inóculo*. México: Comisión Nacional Forestal.
- SEMARNAT. (2011). *Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Servicio Geológico Mexicano. (2018). *Panorama Minero del estado de Michoacán*. Guadalajara: Secretaria de Economía.
- Vital Vilchis, I. (2019). *Evaluación De Acciones Ornamentales De Helianthus spp Colonizadas Por Hongos Micorrízicos Arbusculares Para Remediar Suelos Contaminados Con Metales Pesados*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Zapopan, Jalisco: CIATEJ.

CONCENTRACIÓN DE KINETINA Y TIPO DE EXPLANTE EN LA MULTIPLICACIÓN *in vitro* DE *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.

KINETIN CONCENTRATION AND EXPLANT TYPE IN *in vitro* MULTIPLICATION OF *Sequoia* *sempervirens* (D. Don) Endl.

Castro Garibay, S.L.; A. Villegas Monter y I.J. Cruz Larios

CONCENTRACIÓN DE KINETINA Y TIPO DE EXPLANTE EN LA
MULTIPLICACIÓN *in vitro* DE *Sequoia sempervirens* (D. Don). Endl.

KINETIN CONCENTRATION AND EXPLANT TYPE IN *in vitro* MULTIPLICATION
OF *Sequoia sempervirens* (D. Don). Endl.



Concentración de kinetina y tipo de explante en la multiplicación *in vitro* de *Sequoia sempervirens* (D. Don). Endl.

Kinetin concentration and explant type in *in vitro* multiplication of *Sequoia sempervirens* (D. Don). Endl.

Castro Garibay, S.L.;
A. Villegas Monter
y I.J. Cruz Larios

COMPONENTES DEL
RENDIMIENTO DE
Crotalaria longirostrata HOOK.
& ARN. EN GUERRERO,
MEXICO

YIELD COMPONENTS OF
Crotalaria longirostrata HOOK.
& ARN. IN GUERRERO,
MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 53: 81-94. Enero 2022

DOI:
10.18387/polibotanica.55.6

S.L. Castro Garibay / sandracastro9024@gmail.com

A. Villegas Monter / villemas3@hotmail.com

Colegio de Postgraduados, Postgrado en Fisiología Vegetal.

I.J. Cruz Larios / iris.crul22@gmail.com

Postgrado en Ciencias Forestales.

Km. 36.5, Carretera México- Texcoco, Montecillo estado de México, C.P. 56230.

RESUMEN: *Sequoia sempervirens* (D. Don). Endl. es considerado el árbol de mayor altura en el mundo, con bajo porcentaje de germinación, por lo cual, se ha recurrido al cultivo *in vitro* para su propagación, pero los protocolos desarrollados para obtener brotes son poco eficaces. El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un esquema eficiente de multiplicación *in vitro* de *S. sempervirens* utilizando explantes de tallo apicales y basales, cuatro concentraciones de kinetina, además de un medio de cultivo con baja concentración de sales para sustituir el uso del medio MS. Se establecieron *in vitro* 20 yemas axilares de una planta de 18 años, después de tres subcultivos fueron colocados tres experimentos consecutivos cada seis semanas. Se evaluaron cuatro concentraciones de kinetina (6-furfuril-aminopurina) (0, 0.92, 1.85 y 3.71 μM) y dos tipos de explantes: apicales y basales. Las variables evaluadas fueron: incremento de altura, crecimiento a través del tiempo, número de brotes axilares emitidos por tipo de explante. Los mayores incrementos en altura de explantes apicales (2.35, 4.26 y 4.78 cm) se obtuvieron con 0 μM de kinetina, en los tres experimentos. En las semanas dos y cuatro, se presentaron los mayores incrementos en altura en todos los tratamientos evaluados. La mayor cantidad de brotes se obtuvieron en explantes basales (2.11). El esquema de propagación *in vitro* de *S. sempervirens* fue eficiente con explantes apicales y basales, y el crecimiento de los explantes fue satisfactorio con 12.38 mM de nitrógeno total en el medio de cultivo.

Palabras clave: Brotación, concentración de citocinina, micropropagación, propagación vegetativa.

ABSTRACT: *Sequoia sempervirens* is the tallest tree in the world, it has a low germination percentage, due to it the *in vitro* tissue culture has been used for its propagation. Even so, the multiplication technique development is still not efficient. This work aimed to the development of an efficient protocol for *in vitro* multiplication of *S. sempervirens*, using apical and basal stem explants, and four concentrations of kinetin and a culture medium with a low concentration of mineral salts to replace the use of the MS medium. Twenty axillary buds from an 18-years-old tree were established *in vitro*, after three subcultures, three experiments were established every six weeks. Kinetin (6-furfuryl-aminopurin) concentrations (0, 0.92, 1.85 y 3.71 μM) and two types of explants: apical and basal, were evaluated. The parameters evaluated were: height increase, over time growth, and number of axillary shoots emitted by explant type. The height increase for the three experiments was in apical explants (2.35, 4.26, and 4.78 cm) with 0 μM kinetin. The greatest increases in height of apical explants (2.35, 4.26 and 4.78 cm) were obtained with 0 μM of kinetin, in the three experiments. The greatest increases in height were in all evaluated treatments in the second and the fourth week. The greatest number of axillary shoots (2.11) were obtained in basal explants. The *in vitro* propagation protocol for *S. sempervirens* using

apical and basal explants is efficient, the growth of the explants was successful with 12.38 mm of total nitrogen in culture medium.

Key words: Sprouting, cytokinin concentrations, micropropagation, vegetative propagation.

INTRODUCCIÓN

Sequoia sempervirens (D. Don). Endl. pertenece a la familia Taxodiaceae; especie poliploide ($2n = 6x = 66$) (Ahuja, 2005), originaria de la costa oeste de California y suroeste de Oregón, Estados Unidos (Olson *et al.*, 1990). Se ha introducido como especie de ornato en: Nueva Zelanda (Davies *et al.*, 2014), Brasil (Ribeiro *et al.*, 2011), Rumania (Clapa *et al.*, 2010), Chile (Toral Ibañez *et al.*, 2009), Italia (Ozudogru *et al.*, 2011) y España (Rojas-Vargas *et al.*, 2021).

S. sempervirens presenta bajo porcentaje de germinación (10%) y problemas de crecimiento de las plántulas (Olson, Roy, & Walters, 1990), debido a ello se ha optado por métodos de propagación asexual, como enraizamiento de estacas (Pereira, Ângelo, Navroski, Dobner Júnior, & De Oliveira, 2017) y cultivo *in vitro* (Rojas Vargas *et al.*, 2021).

En cultivo *in vitro*, aspectos como concentración de macro y micronutrientes, tipo y concentración de carbono, pH, y reguladores de desarrollo afectan el crecimiento en explantes (Molinos Da Silva *et al.*, 2004). Para la proliferación de brotes en cultivo *in vitro* son utilizadas las citocininas (Hill & Schaller, 2013).

En *S. sempervirens* o secuoya se han realizado protocolos de embriogénesis somática (Liu, Xia, Yin, Huang, & Zhou, 2006), proliferación de brotes axilares (Whan Sul & Korban, 1994), en donde se utilizan principalmente sales MS (Murashige & Skooge, 1962), las cuales contienen concentraciones altas de macronutrientes. En el caso de proliferación de brotes se han empleado ápices (Ribeiro *et al.*, 2011), ocasionando crecimiento en longitud, con tasa de multiplicación baja, pero no se han explorado metodologías con medios de cultivo diferentes a los comúnmente usados (Phillips & Garda, 2019), además de explantes de tallo con y sin yemas apicales.

Secuoya tiene un papel ecológico importante en el área de distribución natural, y potencial como especie de ornato, por lo que el objetivo de este trabajo fue desarrollar una metodología *in vitro* para la proliferación de *S. sempervirens* D. Don. Endl. utilizando explantes de tallo apicales y basales, cuatro concentraciones de kinetina, además de un medio de cultivo con baja concentraciones de sales para sustituir el uso del medio MS.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y desinfección

En febrero de 2019 se recolectaron brotes laterales de 15 cm con yemas axilares en crecimiento activo, de un árbol de *S. sempervirens* de 18 años ubicado en la Universidad Autónoma Chapingo. Los brotes fueron lavados con agua y jabón, con cepillo dental se frotaron en sentido del crecimiento de las yemas, enjuagaron con agua y obtuvieron fracciones de tallo con dos yemas, para facilitar la desinfección en la campana de flujo laminar.

Las soluciones utilizadas para desinfectar el tejido fueron: etanol 80%, hipoclorito de sodio comercial (10%) y peróxido de hidrógeno comercial (10%) por 2, 5 y 10 minutos, respectivamente; finalmente se realizaron tres enjuagues con agua desionizada estéril, de 5, 3 y 1 min. Al terminar dicho proceso, las fracciones de tallo se mantuvieron en agua desionizada estéril para evitar su deshidratación.

Medio de cultivo y establecimiento de explantes

Los componentes del medio de cultivo para establecimiento fueron: agar (Sigma®) y azúcar comercial no refinada; con 6 y 20 g L⁻¹, respectivamente, estabilizado a pH 5.7 y esterilizado a 20 libras de presión en autoclave, por 15 minutos. Del material vegetal se extrajeron 20 ápices y colocaron en tubos de ensayo (25 × 150 mm) con 10 mL de medio de cultivo antes mencionado. Una semana después de colocar los ápices en medio de establecimiento, aquellos que no presentaron contaminación se subcultivaron en el medio de cultivo para multiplicación (Tabla 1), con pH de 5.7 y esterilizado a 20 libras de presión, durante 15 minutos. Todos los reactivos utilizados fueron marca Sigma®.

Tabla 1. Medio de cultivo para multiplicación de *Sequoia sempervirens* (D. Don). Endl.

Nutrientos	Concentración
NH ₄ NO ₃	8 mM
KNO ₃	6 mM
Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	1.5 mM
MgSO ₄ 7H ₂ O	1.5 mM
KH ₂ PO ₄	1.2 mM
Quelatos*	0.1 mM
Micronutrientos**	0.1 mM
Ácido indolbutírico	0.98 µM
Kinetina	1.85 µM
Sacarosa	20 g
Agar	6 g

*Quelatos: FeSO₄ 7H₂O (695 mg) y Na EDTA (931 mg), preparados en 250 mL de agua desionizada.

** Micronutrientos: H₃BO₃: 155 mg, MnSO₄ H₂O: 422.5 mg, ZnSO₄ 7H₂O: 215 mg, Na₂ MoO₄ H₂O: 6.25 mg, CuSO₄ 5H₂O: 0.625 mg, preparados en 250 mL de agua desionizada. Las concentraciones de los componentes del medio de cultivo fueron para preparar un litro de medio.

Multiplicación y tratamientos establecidos

El material vegetal para establecer tres experimentos consecutivos se obtuvo siete meses después de hacer el establecimiento *in vitro*. Durante este tiempo se hicieron tres subcultivos en el medio para multiplicación (Tabla 1) con el fin de tener la cantidad de explantes suficientes.

Los tratamientos establecidos fueron ocho: dos tipos de explante (apical y basal) que se obtuvieron del mismo brote (Fig. 1) y cuatro concentraciones de kinetina (6- furfurilaminopurina) 0, 0.92, 1.85 y 3.71 µM L⁻¹, con las que fue suplementado el medio de cultivo para multiplicación (Tabla 1). En cada tratamiento se utilizaron 12 explantes, siendo estos las unidades experimentales, numerados del 1 al 12.

Los subcultivos (experimentos) se hicieron cada seis semanas. Las evaluaciones se hacían en ambos tipos de explantes, pero para establecer el experimento posterior solo se utilizaron explantes apicales, por dos razones, la primera, debido a la longitud que estos presentaban para obtener secciones apical y basal, y la segunda, para mantener el orden de la numeración colocada a los brotes (Fig. 1). El cuarto de incubación *in vitro* se mantuvo a 25 °C y fotoperiodo de 16 horas.

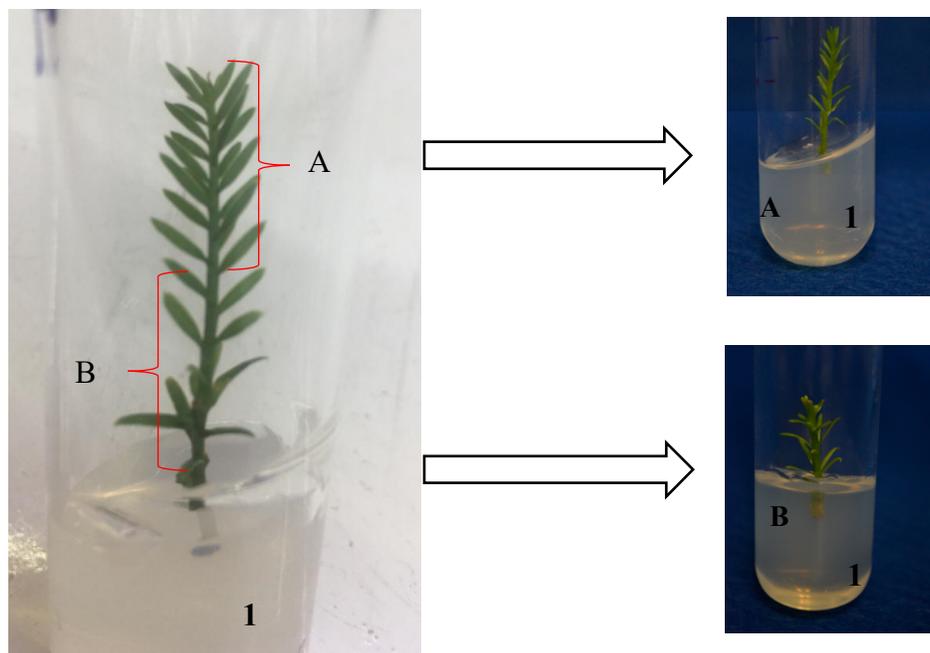


Fig. 1. Tipo de explante utilizado en la multiplicación *in vitro* de *S. sempervirens*. A: apical; B; basal.

Variables evaluadas

Crecimiento de explantes apicales

Al momento del subcultivo se midió la longitud inicial de los explantes, y durante seis semanas se colocaron marcas en el tubo de ensayo para denotar el crecimiento de los segmentos. La altura real de cada explante se midió con papel milimétrico durante el subcultivo, determinando así el incremento de cada uno de ellos. Dicho proceso se hizo en los tres experimentos.

Efecto del tipo de explante en la brotación

En los tres experimentos se determinó de manera visual el desarrollo de yemas laterales, y durante el subcultivo de ambos tipos de explantes se contaron los brotes laterales aptos para ser utilizados. Los criterios que se consideraron para brotes aptos fueron: no presentar hiperhidratación, longitud mayor a 0.5 cm y cuando eran ≥ 5 cm, fueron divididos en segmentos apical y basal. En todos los subcultivos realizados se obtuvo material vegetativo extra, que se colocó en medio de cultivo para multiplicación (Tabla 1) con el objetivo de seguir multiplicando la especie, pero sin fines de experimentación.

Diseño experimental y análisis estadísticos

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial (2×4). Dos tipos de explantes (apical y basal) y cuatro concentraciones de kinetina (0, 0.92, 1.85 y $3.71 \mu\text{M L}^{-1}$). Para los análisis de incremento en altura, solo se tomaron en cuenta los explantes apicales, haciendo pruebas de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$), con el programa SAS 9.4, las unidades experimentales fueron 12 ya que se analizaron los tres experimentos por separado. Se usó el análisis de series de tiempo (Minitab 18.1), para determinar la dinámica de crecimiento semanal, utilizando 36 unidades experimentales por tratamiento, tomando en cuenta los datos de los tres experimentos.

El efecto del tipo de explante en el número de brotes emitidos, se analizó con regresión Poisson (R 4.1.0), debido a que es variable de conteo. Para el número total de brotes aptos para subcultivo, se determinaron por conteo directo; reportándose de la misma forma. Las unidades

experimentales usadas fueron 48 (resultado de 12 explantes por cuatro tratamientos), ya que no se tomaron en cuenta las concentraciones de kinetina.

RESULTADOS

Establecimiento

De los 20 ápices colocados en el medio de cultivo para establecimiento, ninguno presentó daño visible por la desinfestación utilizada. A pesar de haber utilizado material de campo, no hubo contaminación ni oxidación. Lo que permite señalar que el protocolo de desinfestación aplicado y las medidas asépticas utilizadas durante el proceso de establecimiento; fueron eficientes.

Para obtener material suficiente y establecer los experimentos, fue necesario hacer tres subcultivos en medio para multiplicación (Tabla 1), el primero fue 3 meses después de colocados los 20 ápices, y se obtuvieron 27 brotes, en el segundo, un mes después se lograron 43 brotes y el último subcultivo se hizo seis semanas después con 75 brotes. El incremento en el número de brotes, del primero al tercer subcultivo puede deberse a que los explantes se adaptaron a las condiciones *in vitro*.

Incremento en altura

Con el medio de cultivo y las concentraciones de kinetina utilizadas, se generaron brotes de 3.46 – 7.05 cm, longitud suficiente para obtener fracciones de tallos de 1.5 – 2 cm para realizar subcultivos y seguir con el proceso de multiplicación de la especie.

Respecto a la prueba de medias, en el primer experimento no hubo diferencias estadísticas, pero sí en los posteriores. En los experimentos dos y tres, en el tratamiento sin kinetina se obtuvieron los mayores incrementos con 4.26 y 4.78 cm, respectivamente (Tabla 2). De manera general, con las concentraciones 0.92, 1.85 y 3.71 $\mu\text{M L}^{-1}$ de kinetina, el incremento en altura disminuyó del experimento dos al tres, lo que indica que secuoya en condiciones *in vitro* no requiere kinetina para crecimiento.

Tabla 2. Comparación de medias para incremento en altura (cm) de *S. sempervirens*, en los tres experimentos realizados.

Kinetina ($\mu\text{M L}^{-1}$)	Exp. 1		Exp. 2		Exp. 3	
	AI (cm)	Incremento (cm)	AI (cm)	Incremento (cm)	AI (cm)	Incremento (cm)
0	2.08	2.35 a	2.03	4.26 a	2.27	4.78 a
0.92	2.02	1.85 a	1.96	2.99 b	1.92	2.20 b
1.85	2.34	1.88 a	1.84	2.92 b	2.09	2.58 b
3.71	2.54	2.15 a	1.96	2.71 b	1.96	1.50 b
DMSH		1.11		1.22		1.17

Exp.1: Experimento 1; Exp.2: Experimento 2; Exp.3: Experimento 3; AI: altura inicial DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; letras diferentes en las columnas indican diferencia estadística significativa; $p = 0.05$; $n = 12$.

Crecimiento en el tiempo

Determinar el crecimiento de los explantes a través del tiempo, proporciona información para definir cuándo deben realizarse los subcultivos, ya que al colocar el explante en medio nuevo, la disponibilidad de nutrientes y reguladores de desarrollo es mayor, lo que permite el crecimiento del brote.

Los experimentos se establecieron cada seis semanas, sin embargo, de acuerdo con los resultados se demuestran que los subcultivos para secuoya puede realizarse a las cinco semanas (Fig. 2, Tabla 3), ya que en la semana cuatro y cinco no se observa elongación del brote. Sin embargo, el pronóstico de crecimiento (Tabla 3), muestra que en la semana siete puede existir crecimiento, por lo que secuoya pudiera subcultivarse hasta esa semana, pero es necesario corroborarlo mediante experimentos.

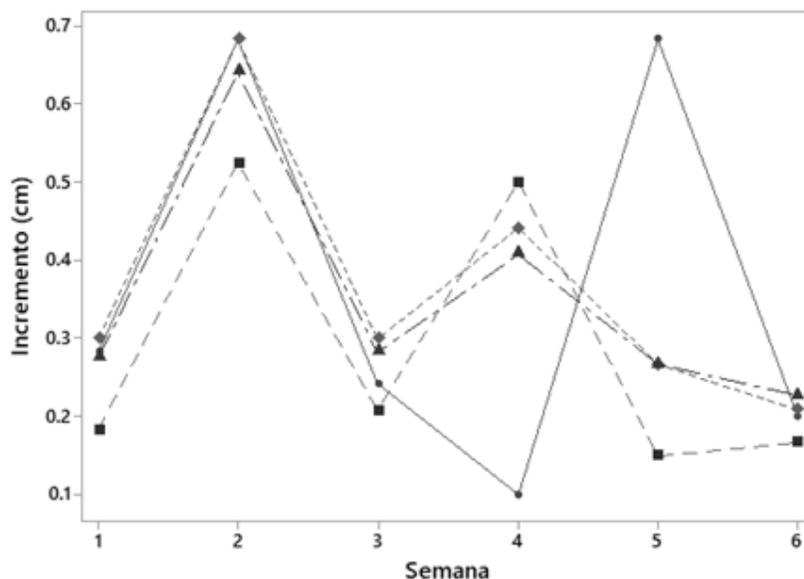


Fig. 2. Incremento en altura de explantes apicales de *S. sempervirens* a través del tiempo, en concentraciones de kinetina μM (0 \rightarrow \bullet , 0.92 \rightarrow \blacksquare , 1.85 \rightarrow \blacklozenge y 3.71: \blacktriangle), n = 36.

Tabla 3. Pronóstico de crecimiento de explantes apicales de *S. sempervirens* a través del tiempo, en cultivo *in vitro*

Semanas	Concentraciones de kinetina ($\mu\text{M L}^{-1}$)			
	0'	0.92 [□]	1.85 [◇]	3.71 [△]
Crecimiento (cm)				
1	0.28	0.18	0.30	0.28
2	0.68	0.53	0.68	0.64
3	0.24	0.21	0.30	0.28
4	0.10	0.50	0.44	0.41
5	0.68	0.15	0.27	0.27
6	0.20	0.17	0.21	0.23
Pronóstico				
7	0.31	0.20	0.21	0.23
8	0.29	0.17	0.17	0.19
9	0.28	0.14	0.12	0.16
10	0.26	0.12	0.08	0.12

Ecuaciones de pronósticos de crecimiento de *S. sempervirens* en concentraciones de kinetina, ' $Y_t = 0.421 - 0.0160 \times t$; [□] $Y_t = 0.381 - 0.0262 \times t$; [◇] $Y_t = 0.523 - 0.0447 \times t$; [△] $Y_t = 0.474 - 0.0354 \times t$; Y_t : Altura del explante con respecto al tiempo; t : tiempo en semanas.

Efecto del tipo de explante en la brotación

Con el esquema de propagación establecido se determinó que la multiplicación de secuoya puede realizarse por elongación y formación de brotes axilares (Fig. 3) aumentando la tasa de multiplicación. Cabe mencionar que para fines del experimento los segmentos apicales y basales, tenían en promedio 2 cm de longitud, pero en subcultivos (que no formaban parte del experimento) se colocaron segmentos de 1–1.5 cm, obteniendo brotes aptos para multiplicación, lo que hace aún más eficiente la metodología propuesta.

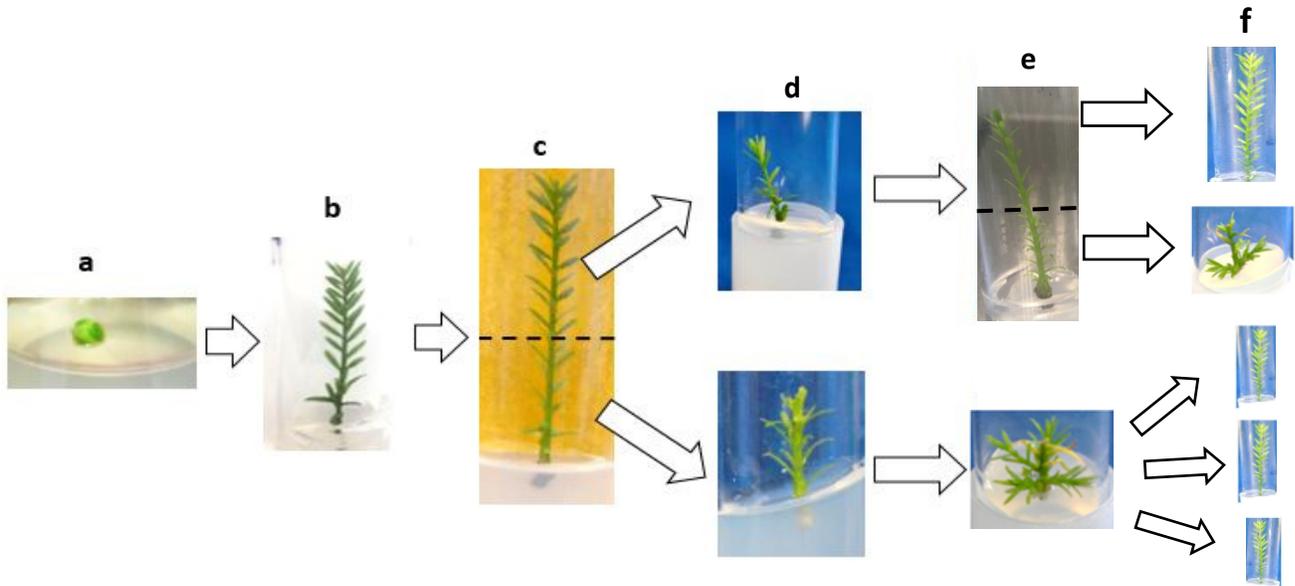


Fig. 3. Esquema de propagación propuesto para *S. sempervirens*. a) yema apical, b) elongación, c) obtención de explantes apicales y basales, d) multiplicación por explantes apicales y basales e) crecimiento y brotación de explantes y f) obtención y subcultivo de brotes.

Respecto al número de brotes originados por tipo de explante, en los basales se obtuvieron más brotes axilares en promedio con respecto a los apicales (Fig. 4), esto debido a la pérdida de dominancia apical. El uso de explantes basales en la multiplicación *in vitro* de secuoya no se utiliza, en este trabajo se utilizaron y demostraron una respuesta favorable en la formación de brotes, además puede ser una alternativa para aumentar de manera eficiente la multiplicación.

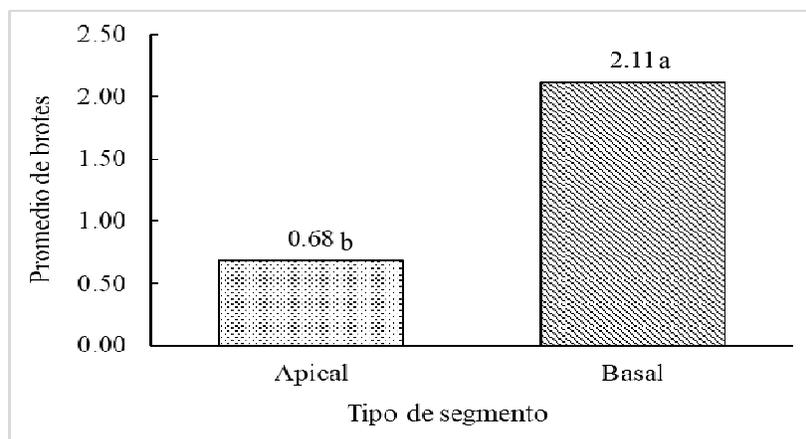


Fig. 4. Efecto del explante en la cantidad de brotes axilares emitidos. Letras diferentes en las barras indican diferencia estadística significativa, $p = 0.05$, $n = 48$ por tipo de explante.

Respecto al número de brotes (Tabla 4), se clasificaron en totales (tomando en cuenta todos los brotes sin importar la condición) y óptimos para subcultivo los cuales tenían al menos 2 cm de longitud y no presentar hiperhidratación. En los tres experimentos, la cantidad inicial de explantes fueron 12 por tipo de explante.

De manera general, en los explantes apicales se obtuvieron más brotes óptimos para subcultivo que en las fracciones basales. Con $0.92 \mu\text{M L}^{-1}$ de kinetina la eficiencia de brotes aptos fue de 90.8%, y con $3.71 \mu\text{M L}^{-1}$ solamente 77.2%. Respecto a la cantidad de brotes emitidos, con tres subcultivos realizados, la tendencia general en los explantes es a disminuir, siendo más notorio en los explantes basales, y en los apicales del segundo al tercer subcultivo el número de brotes se mantiene, y solo en la concentración de $3.71 \mu\text{M L}^{-1}$ aumenta (Tabla 4). Probablemente esto sucedió porque para los tres experimentos, los 12 explantes apicales iniciales se mantuvieron en cada experimento y tratamiento, ya que estos dieron origen a los explantes para los subcultivos posteriores; afectando probablemente la tasa de multiplicación.

Tabla 4. Cantidad de brotes totales y aptos por subcultivo de acuerdo a concentración de kinetina y tipo de explante.

Kinetina ($\mu\text{M L}^{-1}$)	NB	Exp.1		Exp.2		Exp.3		Total
		Tipo de explante						
		Apical	Basal	Apical	Basal	Apical	Basal	
0	BT	33	55	24	64	24	31	231
	BO	24	32	27	35	28	24	170
0.92	BT	36	45	26	44	27	29	207
	BO	24	30	26	40	31	37	188
1.85	BT	38	50	30	58	29	28	233
	BO	24	30	33	34	30	20	171
3.71	BT	33	55	33	63	39	36	259
	BO	24	35	36	41	41	23	200

NB: número de brotes; BT: brotes totales; BO: brotes aptos para subcultivo; E1: experimento 1; E2: experimento 2; E3: experimento 3; BTE: brotes totales de todos los experimentos. $n = 12$ por tipo de segmento.

De acuerdo con las observaciones y datos obtenidos, las yemas en secuoya son visibles en la segunda semana de subcultivo; habiendo más en explantes basales que en apicales. Se considera que secuoya puede multiplicarse utilizando ambos tipos de explantes: apical y basal, y con el último obtener mayor proliferación.

DISCUSIÓN

El cultivo *in vitro* en plantas es una técnica que se ha utilizado en la multiplicación de especies ornamentales, forestales, y frutales, con propósito distintos. Para el desarrollo de un protocolo de micropropagación es necesario contar con una metodología adecuada para desinfección del explante inicial; los productos más utilizados para dicho proceso son: hipoclorito de sodio, de calcio, cloruro de mercurio y Tween-20, para el caso de secuoya no es la excepción (El-kadder & Fathy, 2012). Sin embargo, estos pueden resultar tóxicos para el investigador y dañinos para el ambiente. Chen *et al.* (2017) mencionan que el peróxido de hidrógeno y dióxido de cloro son alternativas efectivas para eliminar agentes patógenos en explantes establecidos *in vitro*. En el protocolo de desinfección del presente estudio se utilizó peróxido de hidrogeno comercial, adicional al etanol e hipoclorito de sodio; a pesar de que el material se recolectó de campo no hubo contaminación, lo que comprueba que las concentraciones y tiempo de exposición fueron adecuadas para el tejido usado.

Los medios de cultivo utilizados para micropropagación de *S. sempervirens* son los constituidos por sales minerales MS (Murashige & Skoog, 1962) y WS (Wolter & Skoog, 1966) formuladas para proliferación de callo en tabaco y fresno, respectivamente. Ambos medios de cultivo tienen concentraciones contrastantes de nitrato de amonio 20.61 mM y 0.62 mM, para MS y WS, respectivamente. El medio de cultivo (Tabla 2) para la multiplicación de secuoya contiene 39 % (8 mM) de la concentración de nitrato de amonio que posee el MS, con estas concentraciones se observaron resultados favorables para multiplicación y crecimiento (Tablas 2 y 4). La propuesta aquí referida es acorde a lo indicado por Zhang *et al.* (2019) quienes mencionan que no se requieren altas concentraciones de nitrógeno (60 mM en medio MS), ya que mucho de este elemento se desperdicia, estas cantidades se encuentran por encima de los requerimientos *in vitro* de muchas especies, mientras que el medio de cultivo propuesto solo tiene 12.38 mM de nitrógeno total, 1.81 mM de amonio y 10.57 mM de nitrato (Tabla 2). Por lo que es necesario dejar de generalizar el uso de sales MS para propagación *in vitro* de especies leñosas y es necesario realizar medios de cultivo de acuerdo a los requerimientos de cada especie. Otro aspecto a resaltar es la utilización de medio de cultivo para establecimiento (agua, azúcar comercial y agar), que sirve como filtro para eliminar explantes contaminados, sin desperdiciar nutrimentos y reguladores de crecimiento, ya que las sales minerales no son necesarias para el desarrollo de hongos y bacterias *in vitro* como se usa en microbiología.

La adición de reguladores de crecimiento es parte fundamental del cultivo *in vitro* dependiendo de la etapa, por ejemplo, el uso de auxinas está relacionado con inducción de enraizamiento y las citocininas con brotación. Para la multiplicación de secuoya se ha utilizado: 6-benciladenina (BA), 6-N-bencilaminopurina (BAP), thidiazurom (TDZ), N6-(2-isopentaniil) adenina (2ip) kinetina y zeatina, con diferentes concentraciones y resultados (Whan Sul & Korban, 1994; Meneguzzi *et al.*, 2019; Rojas-Vargas *et al.*, 2021). Con las concentraciones de kinetina utilizadas, se determinó que sin citocinina en explantes apicales hubo mejor crecimiento en longitud (Fig. 3). Sin embargo, con 0.92 $\mu\text{M L}^{-1}$ de kinetina la eficiencia de brotes aptos para subcultivo fue 98%, y con concentraciones más altas disminuyó hasta 76% (Cuadro 4). El mayor crecimiento obtenido en el medio de cultivo sin kinetina muestra que esta especie no requiere este regulador, y que su presencia limita el crecimiento.

El crecimiento de las plantas en condiciones *in vitro*, está determinado por los componentes del medio de cultivo como: concentración de nitrógeno (Molinos Da Silva *et al.*, 2004), fuente y concentración de carbono (Sato *et al.*, 2001); al igual que la absorción de nutrimentos (de

Oliveira *et al.*, 2010). Se ha estandarizado que el sub-cultivo de explantes debe realizarse cada cuatro semanas, porque estos disminuyen su crecimiento (Rios *et al.*, 2013). Se determinó con los resultados del pronóstico de crecimiento que los sub-cultivos en secuoya pueden ser cada siete semanas; sin embargo, se observó que a partir de la semana cinco el medio de cultivo comienza a deshidratarse pudiendo afectar el crecimiento de los explantes, por lo que se tomó como base hacer los subcultivos cada seis semanas.

La dinámica de crecimiento *in vitro* de secuoya (Fig. 3), puede estar asociada a la disponibilidad de nutrimentos, afectada por el pH del medio de cultivo (Chen *et al.*, 2015). Se ha comprobado que en condiciones *in vitro* la relación nitrato: amonio modifica el pH en el medio de cultivo, esto influye en la absorción nutrimental (Chen *et al.*, 2015; Singha *et al.*, 1987). En el presente trabajo no se determinó la oscilación de pH, pero probablemente las fluctuaciones en el crecimiento de los brotes de secuoya están asociados a la relación nitrato: amonio, donde los mayores crecimientos semanales pueden ser resultado de la forma de nitrógeno asimilable por la especie, además de las múltiples interacciones con el resto de los componentes del medio. No hay estudios en secuoya para conocer la forma de nitrógeno asimilable, fluctuaciones de pH, relación nitrato: amonio y su relación en la absorción con los nutrimentos del medio de cultivo.

Los tipos de explantes utilizados *in vitro* son: ápices apicales o laterales (Chen *et al.*, 2015), segmentos nodales (da Rocha *et al.*, 2015), de tallo más yema (Raya-Montaño, Villegas-Monter, & Arellano-Ostoa, 2009). Para secuoya se han utilizado secciones de tallo con yema apical (Whan Sul & Korban, 1994), propiciando solo crecimiento en longitud y tasa de multiplicación baja. De acuerdo a los resultados, el tipo de explante utilizado, apical o basal afectan la cantidad de brotes emitidos (Fig. 5). Los explantes basales presentan más brotes en promedio (2.11), debido a la pérdida de dominancia apical; ya que la concentración endógena de citocininas incrementa, favoreciendo el crecimiento de yemas laterales (Tanaka, Takei, Kojima, Sakakibara, & Mori, 2006; El-Sayed, Salama, Salim, & Taha, 2021) obtuvieron hasta 18 brotes por explante con 7.5 cm de longitud, dichos resultados son superiores a cualquier trabajo reportado en secuoya, sin embargo en dicho trabajo no se reporta la cantidad de brotes aptos, aspecto importante al momento de hacer cultivo de tejidos. Cabe mencionar que la presente metodología, el uso de fragmentos de tallos en cultivo *in vitro* para aumentar el número de brotes axilares para multiplicación se ha reportado es una opción viable que también se ha reportado en *Quercus robur* L. (Puddephat, Alderson, & Wright, 1997), *Pinus taeda* L. (Francisco de Oliveira, Ribas, Quoirin, Koehler, & Higa, 2011), *Calendula officinalis* L. (Victório, Lage, & Sato, 2012), *Selenicereus megalanthus* L., y *Hylocereus polyrhizus* L. (Suárez Román, Caetano, Ramírez, & Morales Osorio, 2014).

El esquema de propagación propuesto (Fig. 4), permite que la multiplicación de *S. sempervirens* sea eficiente. Los explantes apicales al alcanzar 5 cm de longitud, pueden ser fraccionados en apical, medio y basal, para aumentar la tasa de proliferación. Por otro lado, los explantes basales dan origen a segmentos apicales, debido a la elongación de yemas axilares. Aun cuando se determinó que brotes de 2 cm de longitud eran aptos (sin hiperhidratación) para continuar con el proceso de multiplicación, también se comprobó que secciones apicales y basales de 0.5 cm generan brotes con características deseables para dichos procesos. Es importante mencionar que, aunque el protocolo propuesto se estableció para secuoya, puede ser utilizado para otras especies leñosas, debido a que, al utilizar secciones de tallo sin yema apical, se puede propiciar la elongación de yemas axilares.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un protocolo de desinfección eficiente, sin necesidad de utilizar productos que puedan ser dañinos para el humano y el ambiente, esto a su vez permitió que la propuesta de multiplicación de *S. sempervirens* utilizando explantes apicales y basales tuviera éxito.

Respecto a las concentraciones de kinetina utilizadas, se demostró que secuoya tiene mayor crecimiento en longitud sin la adición de este regulador de crecimiento, caso contrario cuando se requiere obtener brotes con $0.92 \mu\text{M L}^{-1}$ se promueve el desarrollo de brotes axilares en explantes basales. Respecto al medio de cultivo, con el propuesto en el presente trabajo, secuoya presentó buen crecimiento y brotación, por lo que puede sustituirse el medio de cultivo MS para esta especie.

LITERATURA CITADA

- Ahuja, M. R. (2005). Polyploidy in gymnosperms: Revisited. *Silvae Genetica*, 54(2), 59–69. <https://doi.org/10.1515/sg-2005-0010>
- Chen, C.-C., Bates, R., & Carlson, J. (2015). Effect of environmental and cultural conditions in medium pH and plant growth performance of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) shoot culture. *F1000Research*, 3(0), 1–16. <https://doi.org/10.12688/f1000research.5919.1>
- Chen, L. R., Hsiung, T. C., Lin, K. H., Huang, T. Bin, Huang, M. Y., & Wakana, A. (2017). Supplementary effect of hydrogen peroxide as a pre-disinfectant for sterilizing rhizome bud explants of *Zantedeschia aethiopica* L. with Chlorine Dioxide. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 62(1), 81–86. <https://doi.org/10.5109/1799306>
- Clapa, D., Fira, A., Hărășan, E., Chiș, L., Roman, G., & Cantor, M. (2010). *Sequoia sempervirens* in Transylvania. *Acta Horticulturae*, 885(October 2017), 85–90. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.885.11>
- da Rocha, P. S. G., de Oliveira, R. P., & Scivittaro, W. B. (2015). New light sources for *in-vitro* potato micropropagation. *Bioscience Journal*, 31(5), 1312–1318. <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n5a2015-26601>
- Davies, N. T., Wu, H. F., & Altaner, C. M. (2014). The chemistry and bioactivity of various heartwood extracts from redwood (*Sequoia sempervirens*) against two species of fungi. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 44(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40490-014-0017-4>
- de Oliveira, L. M., Paiva, R., Ferreira de Santana, Raniere, J., Pereira, F. D., Nogueira, R. C., & Silva, L. C. (2010). Effects of cytokinins on *in vitro* mineral accumulation and bud development in *Annona glabra* L. *Ciencia e Agrotecnologia*, 34(6), 1439–1445. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542010000600012>
- El-kadder, E. M. A., & Fathy, H. (2012). Production of Indole Acetic Acid from *Sequoia sempervirens* and its Reuse Under *In vitro* Culture. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 8(2), 167–173.
- El-Sayed, I. M., Salama, W. H., Salim, R. G., & Taha, L. S. (2021). Relevance of Nanoparticles on Micropropagation, Antioxidant Activity and Molecular Characterization of *Sequoia sempervirens* L. Plant. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 14(2), 374–382. <https://doi.org/10.54319/jjbs/140225>
- Francisco de Oliveira, L., Ribas, L. L. F., Quoirin, M., Koehler, H. S., & Higa, A. R. (2011). Micropropagation of *Pinus taeda* L. via axillary buds. *BMC Proceedings*, 5(P144), 1–3. <https://doi.org/10.1186/1753-6561-5-s7-p144>
- Hill, K., & Schaller, G. E. (2013). Enhancing plant regeneration in tissue culture: A molecular approach through manipulation of cytokinin sensitivity. *Plant Signaling and Behavior*, 8(10). <https://doi.org/10.4161/psb.25709>
- Liu, C., Xia, X., Yin, W., Huang, L., & Zhou, J. (2006). Shoot regeneration and somatic embryogenesis from needles of redwood (*Sequoia sempervirens* (D. Don.) Endl.). *Plant Cell Reports*, 25(7), 621–628. <https://doi.org/10.1007/s00299-006-0120-y>
- Meneguzzi, A., Konzen, E. R., Navroski, M. C., Camargo, S. S., Pereira, M. D. O., Rufato, L., & Lovatel, Q. C. (2019). Shoot multiplication of two *Sequoia sempervirens* genotypes with addition of small concentrations of kinetin. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 39(1). <https://doi.org/10.4336/2019.pfb.39e201701550>

- Molinos Da Silva, C., Villegas Monter, Á., Sánchez García, P., Alcántar González, G., Rodríguez Mendoza, M. N., & Ruíz Posadas, L. del M. (2004). Efectos del potencial osmótico y contenido de Ca en el medio de cultivo sobre la distribución de $\text{Ca}^{2+} + \text{Y K}^{+}$, producción de biomasa y necrosis apical de vid R110. *Inter ciencia*, 29(7), 384–388.
- 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/10.1016/S0031-9422\(01\)00179-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(01)00179-0)
- Olson, D. F., Roy, D. F., & Walters, G. A. (1990). *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. In R. M. Barnes & B. H. Honkala (Eds.), *Silvics of North America. Agriculture handbook 654* (pp. 541–551). Washington, DC, USA: USDA Forest Service.
- Ozudogru, E. A., Kirdok, E., Kaya, E., Capuana, M., De Carlo, A., & Engelmann, F. (2011). Medium-term conservation of redwood (*Sequoia sempervirens* (D. Don.) Endl.) in vitro shoot cultures and encapsulated buds. *Scientia Horticulturae*, 127(3), 431–435. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.10.013>
- Pereira, M. de O., Angelo, A. C., Navroski, M. C., Dobner Júnior, M., & De Oliveira, L. M. (2017). Resgate vegetativo e enraizamento de estacas de diferentes matrizes de *Sequoia sempervirens*. *Cerne*, 23(4), 435–444. <https://doi.org/10.1590/01047760201723042452>
- Phillips, G. C., & Garda, M. (2019). Plant tissue culture media and practices: an overview. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 55(3), 242–257. <https://doi.org/10.1007/s11627-019-09983-5>
- Puddephat, I. J., Alderson, P. G., & Wright, N. A. (1997). Influence of explant source, plant growth regulators and culture environment on culture initiation and establishment of *Quercus robur* L. in vitro. *Journal of Experimental Botany*, 48(309), 951–962. <https://doi.org/10.1093/jxb/48.4.951>
- Raya-Montaña, Y. A., Villegas-Monter, A., & Arellano-Ostoa, G. (2009). Cinética de enraizamiento in vitro de portainjertos de vid en respuesta a la fuente y concentración de azúcar. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(2), 111–117.
- Ribeiro, J. M., Teixeira, S. L., & Bastos, D. C. (2011). Cultivo in vitro de *Sequoia sempervirens* L. em meio de nutritivo esterilizado com hipoclorito de sódio. *Ciência Florestal*, 21(1), 77–82.
- Rios, G., Añez, N., Ramírez, M., Bracho, B., Araujo, D., Suárez, H., & Nava, J. (2013). Cultivo in vitro de yemas, tratadas con benciladenina, provenientes de cormos enteros o seccionados de plátano “Cambur manzano.” *Bioagro*, 25(2), 137–142.
- Rojas Vargas, A., Castander-Olarieta, A., Moncaleán, P., & Montalbán, I. A. (2021). Optimization of the micropropagation of elite adult trees of *Sequoia sempervirens*: Forest species of interest in the Basque Country, Spain. *Revista Bionatura*, 6(1), 1511–1519. <https://doi.org/10.21931/RB/2021.01.01.11>
- Sato, A. Y., Pereira Pinto, J. E., Morais, A. R. De, Lameira, O. A., & de Castro, N. E. (2001). Efeito de diferentes níveis de nitrogênio, em presença ou ausência de benzilaminopurina, na multiplicação de gerbera (*Gerbera* sp.) de vaso. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, 25(5), 1071–1078.
- Singha, S., Oberly, G. H., & Townsend, E. C. (1987). Changes in nutrient composition and pH of the culture medium during in vitro shoot proliferation of crabapple and pear. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 11(3), 209–220. <https://doi.org/10.1007/BF00040426>
- Suárez Román, R. S., Caetano, C. M., Ramírez, H., & Morales Osorio, J. G. (2014). Multiplicación de *Selenicereus megalanthus* (pitahaya amarilla) e *Hylocereus polyrhizus* (pitahaya roja) vía organogénesis somática. *Acta Agronomica*, 63(3), 1–14. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n3.40980>
- Tanaka, M., Takei, K., Kojima, M., Sakakibara, H., & Mori, H. (2006). Auxin controls local cytokinin biosynthesis in the nodal stem in apical dominance. *Plant Journal*, 45(6), 1028–1036. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2006.02656.x>
- Toral Ibañez, M., Caru, M., Herrera, M. A., Gonzalez, L., Martin, L. M., Miranda, J., & Navarro-Cerrillo, R. M. (2009). Clones identification of *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. in Chile by using PCR-RAPDs technique. *Journal of Zhejiang University*:

Recibido:
28/marzo/2022

Aceptado:
12/enero/2023

- Science B*, 10(2), 112–119. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0820162>
- Victório, C. P., Lage, C. L. S., & Sato, A. (2012). Tissue culture techniques in the proliferation of shoots and roots of *Calendula officinalis*. *Revista Ciencia Agronomica*, 43(3), 539–545. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000300017>
- Whan Sul, I., & Korban, S. S. (1994). Effect of different cytokinins on axillary shoot proliferation and elongation of several genotypes of *Sequoia sempervirens*. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 30(3), 131–135. <https://doi.org/10.2307/j.ctt1ffjkd5.19>
- Wolter, K. E., & Skoog, F. (1966). Nutritional Requirements of *Fraxinus* Callus Cultures. *American Journal of Botany*, 53(3), 263–269. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1966.tb07333.x>
- Zhang, K., Wu, Y., & Hang, H. (2019). Differential contributions of NO^3/NH^4 to nitrogen use in response to a variable inorganic nitrogen supply in plantlets of two Brassicaceae species *in vitro*. *Plant Methods*, 15(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0473-1>

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y CITOTÓXICA DEL ACEITE ESENCIAL DE LAS HOJAS DE LAUREL AROMÁTICO (*Litsea glaucescens* Kunth)

ANTIOXIDANT AND CYTOTOXIC ACTIVITY OF ESSENTIAL OIL FROM AROMATIC BAY LEAVES (*Litsea glaucescens* Kunth)

**Tepixtle-Colohua, V.V.; M.R. Gonzalez-Tepale; D. Guerra-Ramirez; B. Reyes-Trejo;
H. Zuleta-Prada; A.M. Borja-de la Rosa y F. Reyes-Fuentes**

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y CITOTÓXICA DEL ACEITE ESENCIAL DE LAS
HOJAS DE LAUREL AROMÁTICO (*Litsea glaucescens* Kunth)

ANTIOXIDANT AND CYTOTOXIC ACTIVITY OF ESSENTIAL OIL FROM
AROMATIC BAY LEAVES (*Litsea glaucescens* Kunth)



**Actividad antioxidante y citotóxica del aceite esencial de las hojas de laurel aromático
(*Litsea glaucescens* Kunth)**

**Antioxidant and cytotoxic activity of essential oil from aromatic bay leaves
(*Litsea glaucescens* Kunth)**

Tepixtle-Colohua, V.V.;
M.R. Gonzalez-Tepale;
D. Guerra-Ramirez;
B. Reyes-Trejo;
H. Zuleta-Prada;
A.M. Borja-de la Rosa
y F. Reyes-Fuentes

ACTIVIDAD
ANTIOXIDANTE Y
CITOTÓXICA DEL ACEITE
ESENCIAL DE LAS HOJAS
DE LAUREL AROMÁTICO
(*Litsea glaucescens* Kunth)

ANTIOXIDANT AND
CYTOTOXIC ACTIVITY OF
ESSENTIAL OIL FROM
AROMATIC BAY LEAVES
(*Litsea glaucescens* Kunth)

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 55: 95-107. Enero 2023

DOI:
10.18387/polibotanica.55.7

V. V. Tepixtle-Colohua

División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Texcoco, Edo. de México, México. Tel. 01 (55) 5133-1108

M.R. Gonzalez-Tepale

D. Guerra-Ramirez

B. Reyes-Trejo / breyest@chapingo.mx

H. Zuleta-Prada

*Laboratorio de Productos Naturales, Área de Química,
Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.
Km 38.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Texcoco, Edo. de México, México.*

A.M. Borja-de la Rosa

División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Texcoco, Edo. de México, México. Tel. 01 (55) 5133-1108

F. Reyes-Fuentes

*Laboratorio de Productos Naturales, Área de Química,
Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.
Km 38.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Texcoco, Edo. de México, México.*

RESUMEN: El laurel aromático (*Litsea glaucescens*) es una especie vegetal forestal no maderable aprovechada ampliamente en México. Actualmente *Litsea glaucescens* se encuentra registrado en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2019) con la categoría de P (peligro de extinción), se emplea como condimento en alimentos, para el tratamiento de la inflamación, infección estomacal, vómito, cólicos y enfermedades del sistema nervioso central, entre otras. En este trabajo se obtuvo el aceite esencial de las hojas de laurel de tres localidades: Chignahuapan, Puebla, Nopalillo, Hidalgo y Zongolica, Veracruz, así como de cuatro muestras comerciales. De cada muestra de aceite se evaluaron, la capacidad antioxidante, empleando el método ABTS y la actividad citotóxica mediante el bioensayo de *Artemia salina*, además se analizó la composición del aceite esencial por cromatografía de gases. La mayor capacidad antioxidante se observó para el aceite esencial de las hojas colectadas en Zongolica, Veracruz con $10.72 \pm 0.37 \mu\text{mol ET}/\mu\text{L}$, dicha muestra también mostró una mayor capacidad citotóxica (CL_{50} de $59.0 \mu\text{g}/\text{mL}$). Se encontró que el aceite esencial de laurel de la colecta de Chignahuapan, Puebla contiene alrededor de 42 componentes, de los cuales los mayoritarios fueron: 34.99% de eucaliptol (1,8-cineol), 7.31% de 1R- α -pineno, 6.01% de L-limoneno, 4.62% de L- β -pineno, 4.46% de acetato de bornilo, 4.12% de 4-terpineol, 3.85% de canfeno, 3.06% de γ -terpineno y 2.92% de cariofileno. El contenido de mono y sesquiterpenos (44.37%) en los aceites esenciales podría estar relacionado con su capacidad antioxidante y citotóxica.

Palabras clave: *Litsea glaucescens*, citotoxicidad, *Artemia salina*, Cromatografía de gases, ensayo ABTS, laurel aromático.

ABSTRACT: The aromatic laurel (*Litsea glaucescens*) is a non-timber forest plant species widely used in Mexico. Currently *Litsea glaucescens* is registered in the Official Mexican Standard (NOM-059-SEMARNAT-2019) with the category of P (danger of extinction), it is used as a condiment in food, for the treatment of inflammation, stomach infection, vomiting, colic and diseases of the central nervous system, among others. In this work, the essential oil was obtained from bay leaves from three locations: Chignahuapan, Puebla, Nopalillo, Hidalgo and Zongolica, Veracruz, as well as from four commercial samples. From each oil sample, the antioxidant capacity was evaluated, using the ABTS method and the cytotoxic activity by means of the *Artemia salina* bioassay, in addition the composition of the essential oil was analyzed by gas chromatography. The highest antioxidant capacity was observed for the essential oil of the leaves collected in Zongolica, Veracruz with $10.72 \pm 0.37 \mu\text{mol ET} / \mu\text{L}$, this sample also showed a greater cytotoxic capacity (CL 50 of $59.0 \mu\text{g} / \text{mL}$). It was found that the essential oil of laurel from the collection of Chignahuapan, Puebla contains about 42 components, of which the majority were: 34.99% eucalyptol (1,8-cineole), 7.31% 1R- α -pinene, 6.01% L-limonene, 4.62% L- β -pinene, 4.46% bornyl acetate, 4.12% 4-terpineol, 3.85% camphene, 3.06% γ -terpinene and 2.92% caryophyllene. The content of mono and sesquiterpenes (44.37%) in essential oils could be related to their antioxidant and cytotoxic capacity.

Key words: *Litsea glaucescens*, cytotoxicity, *Artemia salina*, Gas chromatography, ABTS assay, aromatic laurel.

INTRODUCCIÓN

La familia Lauraceae cuenta con aproximadamente 50 géneros con una distribución tropical y subtropical de todo el mundo (Van Der Werff *et al.*, 1997), el género *Litsea* engloba aproximadamente a 400 especies (Azhar *et al.*, 2022), dentro de las cuales se incluye el laurel aromático (*Litsea glaucescens*). En México se encuentran 10 géneros y 13 especies de esta familia. Desde el siglo XVI se habla del uso de *Litsea glaucescens* para el tratamiento de varios padecimientos. Francisco Hernández en su publicación “La Historia de las plantas de la Nueva España” describe a una planta llamada “ecapatli” con características similares al laurel de Europa, a diferencia en el tamaño de sus hojas (Valdés y Flores, 1984). Antiguamente esta planta se usaba para el tratamiento de enfermedades como epilepsia y la parálisis, las cuales están relacionados con problemas del sistema nervioso (Guzmán-Gutiérrez *et al.*, 2012). En el libro “Florilegio Medicinal” escrito por Juan de Esteyneffer describe una combinación entre la medicina tradicional de Europa y la del nuevo Mundo, en dicho documento se hace mención del uso de los vapores de las hojas de laurel (aceites esenciales) para curar enfermedades frías, dolores de cabeza y también la parálisis. Asimismo, se documenta que las hojas de laurel se utilizaban en diversas recetas para el tratamiento de otras enfermedades (de Esteyneffer, 1978; Jiménez-Pérez *et al.*, 2011). Actualmente esta especie es utilizada ampliamente en México como condimento para la elaboración de platillos y en las industrias de alimentos, perfumería y farmacéutica (Montañez-Armenta *et al.*, 2011).

Los aceites esenciales se han definido como sustancias volátiles presentes en ciertas familias de plantas y son obtenidos por diferentes técnicas como la destilación por arrastre de vapor, prensado del epicarpio de frutas (Leite de Souza, 2021), extracción con disolventes no polares, extracción con fluidos supercríticos e hidrodestilación. Recientemente, los procesos asistidos por ultrasonido y microondas se han vuelto atractivos (Božović *et al.*, 2017). Los aceites esenciales son mezclas complejas y muy variables de constituyentes que pertenecen, de manera casi exclusiva, a dos grupos caracterizados por orígenes biogenéticos distintos: el grupo de los terpenoides por una parte y el grupo de los compuestos aromáticos derivados del fenilpropano, mucho menos frecuentes (Bruneton, 2001). En general, los aceites esenciales solos o en combinación se utilizan para garantizar el control microbiano en los alimentos. El uso de aceites esenciales en combinación con otras tecnologías tradicionales o emergentes ha encontrado una aplicación práctica en la industria (Leite de Souza, 2021).

Estudios más recientes se han enfocado a conocer las propiedades fitoquímicas de los aceites esenciales, con el fin de lograr la identificación y posterior aislamiento de sus componentes químicos para evaluar sus propiedades farmacológicas como: antibacterianas, antifúngicas, antiinflamatoria, antiespasmódica y antioxidante (Osuna *et al.*, 2005; Jiménez-Pérez *et al.*, 2011). Se ha descrito que los monoterpenoides β -pineno y linalool, componentes mayoritarios del aceite esencial de *Litsea glaucescens* tienen actividad antidepresiva y sedante a las dosis de 100 y 300 mg/kg, respectivamente (Calvo-Iraben, 2018). El extracto metanólico de las hojas de esta especie colectada en Xico, Veracruz, México exhibió actividad antioxidante cuya naturaleza química correspondió a compuestos fenólicos (López-Romero *et al.*, 2018). Por otro lado, la aplicación de diversos ensayos como FRAP, DPPH y ABTS ha demostrado la actividad antioxidante de los aceites esenciales de *L. glutinosa*, *L. coreana* y *L. akoensis* (Azhar & Salleh, 2020).

Con base en la importancia que representa el laurel aromático a nivel cultural y a los escasos estudios de los aceites esenciales de esta especie en México, el objetivo del presente trabajo fue obtener el aceite esencial de varias muestras de laurel aromático (*Litsea glaucescens*) por hidrodestilación para evaluar sus propiedades antioxidantes y citotóxicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolecta de la planta

Las muestras de laurel se colectaron en el ejido “El Nopalillo”, Epazoyucan, estado de Hidalgo (20° 03'48"O, 98°35'06"N a 2800 m.s.n.m.), Chignahuapan, Puebla, (19°50'00"N 98°02'00"O A 2300 m.s.n.m.) y Zongolica Veracruz (18°39'51"N 97°00'04"O a 1200 m.s.n.m.), durante los meses de junio a octubre de 2021. Las plantas fueron herborizadas e identificadas por el Dr. Antonio Cortés Jiménez y depositadas en el Herbario-Hortorio “Jorge Espinoza Salas” del departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo con los números de registro 36205, 36206 y 36207 respectivamente. De igual forma se adquirieron cuatro muestras comerciales para su estudio y comparación.

Aceite esencial de laurel aromático

El aceite esencial de las hojas de laurel fue obtenido por hidrodestilación, empleando un equipo tipo Clevenger (Sundararajan *et al.*, 2018). Las hojas secas de laurel (100 g), previamente trituradas, se colocaron en un matraz bola de 1L, se agregaron aproximadamente 300 mL de agua destilada y se calentó a ebullición durante 60 min. Finalmente, el aceite fue separado y se guardó en un frasco ámbar bajo refrigeración a 4 °C hasta su uso. Esta operación se hizo por triplicado para todas las muestras.

Una vez obtenido el aceite esencial se calculó el rendimiento, en base seca, utilizando la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Rendimiento} = \left(\frac{\text{mL del aceite}}{\text{gramos de hojas secas}} \right) \times 100$$

Capacidad antioxidante

Para el análisis de las muestras se preparó una dilución del aceite esencial con propanol a diferentes concentraciones desde 0.003 a 0.01 $\mu\text{L/mL}$, de tal manera que las lecturas de absorbancia estuvieran dentro de la curva de calibración. El ensayo de ABTS se llevó a cabo aplicando el método descrito por Re *et al.* (1999) adaptado a microplacas. La disolución stock del radical ABTS^{•+} fue preparada mezclando 10 mL de solución ABTS (7.4 mmol) con 10 mL de la solución de persulfato de potasio y se dejó incubar a temperatura ambiente durante 16 horas en un lugar oscuro. La disolución stock del radical ABTS^{•+} fue diluida con metanol puro y se verificó en un lector de microplacas que la absorbancia estuviera en un rango de 0.7 a 1.2. El ensayo se hizo en una microplaca de 96 pozos colocando 20 μL de muestra a probar y 180 μL de la disolución ABTS^{•+} (diluida) en cada pozo. Como control se utilizaron 200 μL de

la dilución ABTS•+. La disminución de la absorbancia se registró después de 10 minutos de incubación y se leyó en un lector de microplacas a 734 nm. La actividad antioxidante de las muestras fue determinada con base a una curva de calibración de Trolox, cada aceite se analizó por triplicado y se tomaron cuatro lecturas para cada determinación. Finalmente, los resultados se expresaron como micromoles equivalentes de Trolox por microlitro de aceite esencial ($\mu\text{mol ET}/\mu\text{L}$).

Evaluación citotóxica: Prueba con *Artemia salina*

La prueba de citotoxicidad se llevó a cabo por el método de Meyer *et al.* (1982) y Michael *et al.* (1956), con algunas modificaciones. Se evaluaron los aceites obtenidos de hojas de *Litsea glaucescens* a concentraciones de 1, 10, 100, 1,000 y 10,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$, de cada tratamiento se preparó una solución madre a una concentración de 10,000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ de cada uno de los aceites esenciales, disolviendo 50mg de aceite en 5 mL de acetona. De cada tratamiento se tomaron 0.5 mL y se depositaron en un frasco vial, considerando tres repeticiones por cada concentración. El disolvente se evaporó a temperatura ambiente durante un periodo de 24 horas. Como tratamiento testigo se usó 0.5 mL de acetona con la ayuda de una pipeta pasteur se depositaron 10 larvas en cada uno de los frascos viales que contenían cada concentración de prueba. Se aforó a un volumen de 5 mL con agua salada a concentración de 28 g/L. Posteriormente los viales se colocaron en una incubadora donde se controló la temperatura, la aireación y el calor con un foco de 60 watts. Al cabo de 24 horas se contabilizó el número de larvas muertas en cada vial, lo que permitió estimar la concentración letal media (CL_{50}), el análisis se llevó a cabo empelando la función Probit en el programa estadístico SAS y R Studios. Para la clasificación de toxicidad se empleó lo descrito por Meyer *et al.* (1982) y las recomendaciones de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (2014) como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de la toxicidad por concentración de muestra

	Descripción	$[\mu\text{g}/\text{mL}]$
I	Extrema	1-10
II	Alta	10-100
III	Moderada	100-500
IV	Ligera	500-1000
V	No tóxico	1000-1500
VI	Relativamente inocuo	>1500

Fuente: Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 2014.

Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas

Una muestra de 5 μL de aceite esencial de las hojas de *Litsea glaucescens* colectada de Chignahuapan, Puebla, se diluyó en 995 μL de hexano grado HPLC, de esta disolución se inyectaron 5 μL en un cromatógrafo de gases (7890 A, Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA) acoplado a un espectrómetro de masas de trampa de iones (Agilent 240, Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA). La temperatura del inyector se mantuvo a 250 °C, con un modo de inyección split/splitless (1:20), se utilizó una columna VF-5 MS (30 m x 250 μm x 0.25 μm) utilizando helio como gas acarreador, con un flujo de 0.5 mL/min y una presión de 0.5 atm. El horno se operó con una rampa de calentamiento de 70 °C a 120 °C, a una velocidad de calentamiento de 2 °C/min y de 120 °C a 230 °C a 15 °C/min. En el sistema de detección los espectros de masas se registraron en un rango de 41-350 m/z a velocidad de 1.0 scan/s, usando un voltaje de ionización de 70 eV. El espectro de masas fue calibrado con una disolución FC-43. Los espectros experimentales de los componentes de los aceites esenciales fueron comparados con los patrones de fragmentación de los espectros de la librería del National Institute of Standard and Technology (NIST, 2022) del equipo versión 2.0. Se tomaron en cuenta sólo aquellos componentes cuya señal del pico presentara un R. Match mayor de 800 y una probabilidad mayor del 10% en el cromatograma (NIST, 2022). También se utilizaron los

índices de Kovats para la confirmación de los componentes; se compararon los índices de retención lineal para una columna VF-5 o similares reportados en la librería NIST Chemistry WebBook, relativos a los estándares de n-alcenos (C8-C20). Finalmente, el área bajo la curva del pico cromatográfico se usó para determinar el porcentaje relativo de los principales compuestos.

RESULTADOS

Rendimiento del aceite esencial

En la Tabla 2, se muestra la información del rendimiento en mililitros de aceite esencial por cada 100 gramos de hoja seca, obtenidos en el proceso de hidrodestilación.

Tabla 2. Rendimiento del aceite esencial de laurel aromático (*Litsea glaucescens*).

Muestra	Cantidad (mL/100g)
Muestras colectadas	
El Nopalillo Hgo. Oyamel	1.43±0.40 ^a
El Nopalillo Hgo. Pino-Encino	1.37±0.29 ^a
El Nopalillo Hgo. Bosque Mixto Chignahuapan, Puebla	1.32±0.16 ^a
Zongolica, Veracruz.	0.63±0.15 ^b
Muestras comerciales	
1	1.32±0.35 ^a
2	0.78±0.03 ^a
3	1.20±0.20 ^a
4	1.13±0.15 ^a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Tukey, $p > 0.05$)

El rendimiento obtenido de las muestras de laurel oscila entre 0.63-1.43 mL/100g, el más bajo se presentó en las hojas de laurel obtenidas en la región de Zongolica Veracruz y el más alto lo presenta la muestra del ejido “El Nopalillo” Hgo., bosque de oyamel, con 1.43 mL/100g.

Capacidad Antioxidante de laurel aromático

Los resultados de la capacidad antioxidante de los aceites esenciales de *Litsea glaucescens* exhibieron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Como se observa en el Tabla 3, de las muestras colectadas, la de Zongolica, Veracruz tuvo los valores más altos en el ensayo ABTS. Por otro lado, una de las muestras comerciales presentó la mayor capacidad antioxidante (10.95 $\mu\text{mol ET}/\mu\text{L}$).

Tabla 3. Capacidad antioxidante del aceite esencial de laurel aromático (*Litsea glaucescens*).

Nombre de la muestra	ABTS. ⁺ (μmol ET/μL)
Muestras colectadas	
Zongolica, Veracruz.	10.72 ± 0.37 ^{a b}
Chignahuapan, Puebla	10.11 ± 0.01 ^c
El Nopalillo Hgo. (Oyamel)	3.72 ± 0.19 ^f
El Nopalillo Hgo. (Bosque Mixto)	3.58 ± 0.07 ^f
El Nopalillo Hgo. (Pino-Encino)	3.45 ± 0.22 ^f
Muestras comerciales	
1	10.95 ± 0.23 ^a
2	10.67 ± 0.35 ^b
3	7.58 ± 0.10 ^d
4	4.99 ± 0.03 ^c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Tukey, p > 0.05)

Determinación de la citotoxicidad del aceite esencial

El resultado de la evaluación de la concentración letal media (CL₅₀) para las muestras de aceite esencial de *Litsea glaucescens* empleando el bioensayo de *Artemia salina* exhibió una citotoxicidad CL₅₀ en el intervalo de 53.8-451.6 μg/mL, con categoría de alta y moderada toxicidad, datos que están concentrados en la Tabla 4.

Tabla 4. Evaluación de la toxicidad (CL₅₀) de los aceites esenciales de *Litsea glaucescens* mediante el modelo de *Artemia salina*.

Aceites esenciales	% de <i>Artemias muertas</i> a las 24 horas, en las concentraciones evaluadas en μg/mL					Límites al 95%			Grado de toxicidad
	10000	1000	100	10	1	CL ₅₀ (μg/mL)	LI	LS	
Muestras colectadas									
Zongolica, Ver.	100	56	50	36	23	59.0	5.7	123.6	Alta
Nopalillo, Hgo. (Mixto)	100	50	46	33	23	94.8	27.4	216.9	Alta
Chignahuapan, Pue.	100	46	36	33	26	175.5	66.9	418.0	Moderada
Nopalillo, Hgo. (Pino-Encino)	100	46	36	33	16	223.9	36.7	484.4	Moderada
Nopalillo, Hgo. (Oyamel)	100	43	26	23	23	451.6	95.0	998.2	Moderada
Muestras comerciales									
1	100	60	50	36	30	53.8	2.4	110.0	Alta
2	100	46	36	30	26	198.9	61.6	459.3	Moderada
3	100	46	36	30	26	198.9	61.6	459.3	Moderada
4	100	46	33	30	16	283.1	26.4	592.5	Moderada

LI.- Límite inferior

LS. - límite superior

Análisis por Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas

El aceite esencial colectado en Chignahuapan, Puebla, demostró la presencia de los siguientes compuestos: 34.99% de eucaliptol (1,8-cineol), 7.31% de 1R- α -pineno, 6.01% de L-limoneno, 4.62% de L- β -pineno, 4.46 % de acetato de bornilo, 4.12% de 4-terpineol, 3.85% de canfeno, 3.06% de γ -terpineno y 2.92% de cariofileno (Tabla 5).

Tabla 5. Composición del aceite esencial de la muestra Chignahuapan, Puebla.

Compuesto*	tr (min)	% A/At**	IRL*** calculado	IRL**** reportado	M ⁺ (m/z)	% prob	R. Match
tujeno	5.503	0.96	925.75	925	136	53.3	898
1R- α -pineno	5.749	7.31	934.69	922	136	17.6	886
canfeno	6.226	3.85	952.04	967	136	31.7	917
sabineno	6.829	1.23	973.96	967	136	16.7	897
L- β -pineno	7.048	4.62	981.93	965	136	11.6	863
β -pineno	7.226	1.49	988.40	980	136	27.5	870
borneno	8.304	1.53	1018.44	932	136	10	875
o-cimeno	8.59	2.25	1025.39	1042	134	32.9	905
L-limoneno	8.784	6.01	1030.11	1018	136	15.1	870
eucaliptol	8.955	34.99	1034.26	1059	154	55.9	847
cis- β -o-cimeno	9.337	0.78	1043.55	1053	136	22.9	910
γ -terpineno	9.927	3.06	1057.89	1051	136	24.7	898
terpinoleno	11.135	0.71	1087.24	1081	136	26.7	910
α -o-cimeno	11.696	0.48	1100.69	1041	136	11.3	879
β -terpineno	13.008	0.22	1125.66	1051	136	11	850
cetona limona	13.339	0.14	1131.96	1131	138	71	877
α -terpineol	15.399	0.07	1171.16	1193	154	32	900
borneol	15.535	0.04	1173.75	1199	154	31.9	834
4-terpineol	15.978	4.12	1182.19	1075	154	23.3	823
L- α -terpineol	16.763	0.35	1197.13	1143	154	15.75	810
trans- dihidrocarvona	16.947	2.76	1200.56	1200	152	24.4	854
d-dihidrocarvona	17.315	2.50	1206.84	1200	152	32.1	893
isocarveol	18.095	0.45	1220.13	1206	152	12.1	840
carveol	18.851	0.52	1233.02	1206	152	22.8	856

Compuesto*	tr (min)	% A/At**	IRL*** calculado	IRL**** reportado	M ⁺ (m/z)	% prob	R. Match
L- carvona	19.552	0.15	1244.97	1190	150	55.5	876
acetato de bornilo	21.872	4.46	1284.52	1269	196	36.6	891
acetato 4-terpinenol	22.558	0.38	1296.22	1332	196	10.44	824
acetato mirtenilo	24.751	0.62	1343.46	1314	194	10.7	845
acetato de exo-2- hidroxicineol	25.101	0.14	1351.18	1386	212	14	834
acetato de terpineol	25.504	1.24	1360.07	1348	196	2.96	856
acetato de carvilo	26.03	0.83	1371.66	1314	194	6.97	758
cariofileno	27.806	2.92	1425.51	1493	204	22.3	889
α -bergamoteno	28.081	0.34	1439.79	1407	204	27	897
humuleno	28.55	0.38	1464.16	1579	204	60.2	846
<i>d</i> -germacreno	29.009	0.19	1488.00	1515	204	31.2	846
γ -gurjuneno	29.257	0.30	1501.31	1469	204	10.66	823
γ -muuroleno	29.461	1.51	1517.03	1471	204	7.76	864
γ -cadineno	29.578	0.25	1526.04	1514	204	25.2	834
γ -hemuleno	29.854	0.77	1547.30	1579	204	10.8	852
óxido de cariofileno	30.482	0.20	1595.69	1507	220	17.4	823
β -vatirenenol	30.695	0.18	1615.48	1554	202	10.6	867
(Z)- α -trans- bergamotol	31.12	0.53	1657.40	1673	220	6.38	800
Porcentaje total de los componentes del aceite esencial							95.83

tr: tiempo de retención

* Compuesto por comparación con base de datos NIST

** Área relativa= área total pico-background/ área total pico

***IRL índice de retención lineal experimental

**** IRL índice de retención lineal recopilado de literatura

M⁺: ion molecular del compuesto observado en el espectro

R-match: coincidencia de espectros en fase reversa con base de datos NIST

DISCUSIÓN

Aunque el análisis del porcentaje de aceites esenciales no resultó con diferencias estadísticamente significativas, con excepción de la muestra colectada en Zongolica, Veracruz, el rendimiento del aceite esencial obtenido de la muestra de “El Nopalillo” Hgo, colectada en bosque de oyamel a 2,962 m.s.n.m., fue de 1.43 mL/100g y resultó más alto (0.1- 1.15%) que el reportado por Jiménez-Pérez *et al.* (2011), esta diferencia puede ser explicada por las distintas altitudes de ubicación geográfica del laurel colectado en el estado de Veracruz cuya altitud es

menor a los 2000 m.s.n.m., lo que está de acuerdo con lo publicado respecto a la variación de la composición y cantidad de metabolitos secundarios, con los sitios de colecta (Andrade-Andrade *et al.*, 2018). Esto es además corroborable con el rendimiento menor del aceite esencial obtenido de la muestra de Zongolica, Veracruz que se encuentra a una altitud de 1200 msnm y presenta un rendimiento de 0.63 mL/100g. Cabe resaltar que entre las muestras evaluadas existe una diferencia entre rendimientos, esto se debe a que las hojas de laurel fueron obtenidas de lugares con condiciones ambientales diferentes, como la altitud, clima, suelo, temperatura, precipitación, época de recolección, etapas fenológicas de la planta, el manejo en cosecha y postcosecha, así como, como técnicas de cultivo (Stashenko *et al.*, 1997; Vásquez *et al.*, 2001).

La capacidad antioxidante del aceite esencial de laurel, correspondiente a las muestras comerciales fue variable, lo cual puede estar relacionado con su procedencia. De acuerdo con la literatura, la capacidad antioxidante de los aceites esenciales en las hojas de laurel está asociada a su contenido fenólico (Arango *et al.*, 2012), así en un estudio previo dicha capacidad se atribuye al metil-eugenol (Politeo *et al.*, 2006). En el presente estudio, para medir la capacidad antioxidante del aceite de laurel se aplicó ensayo ABTS debido a que el radical ABTS⁺ puede solubilizarse en medios hidrofílicos y lipofílicos (Shahidi & Zhong, 2015; Yañez *et al.*, 2021). En este ensayo, la reacción entre los antioxidantes y el ABTS⁺, para producir ABTS, sigue predominantemente el mecanismo de transferencia de electrones (Londoño-Londoño, 2012). Como se observa en la Tabla 5, el aceite esencial obtenido de las hojas colectadas en Chignahuapan, Puebla tuvo una capacidad antioxidante de 10.11 μmol ET/μL, esta propiedad podría estar asociada a la presencia de monoterpenos y sesquiterpenos no oxigenados, presentes en un 44.39 % (ver Tabla 5), los cuales tienen la capacidad de atrapar radicales libres debido a la reactividad de los hidrógenos vinílicos y alílicos (Smith & March, 2007), esto coincide con lo descrito por Yañez *et al.*, 2021, quienes establecen que los componentes terpénicos también contribuyen a la capacidad antioxidante.

Un bioensayo general de amplio uso que determina el efecto letal de extractos o sustancias puras en larvas es la prueba con *Artemia salina*, predice y correlaciona su habilidad para producir la muerte de células cancerígenas en cultivo de tejidos, matar insectos y/o ejercer un amplio rango de efectos farmacológicos. Se ha empleado, además para la preevaluación de extractos vegetales en el descubrimiento de compuestos antitumorales. Inicialmente, se determinó que existe una correlación positiva entre la mortalidad de las larvas de *Artemia* y la citotoxicidad frente a las células 9KB (carcinoma nasofaríngeo humano) y la línea celular 3PS(P388) (leucemia *in vivo*) (Pino & Lazo, 2010). De acuerdo con la clasificación descrita por Meyer *et al.* (1982) y la clasificación de toxicidad según CYTED (2014), los resultados obtenidos de la CL₅₀ de los aceites esenciales de laurel aromático se encuentran con un valor II altamente tóxico (10-100 μg/mL) y III moderadamente tóxico (100-500 μg/mL), las muestras de aceite esencial de laurel aromático que presentaron una moderada toxicidad se encuentran en un rango de 175.5-451.6 μg/mL, mientras que los de una alta toxicidad se encuentran entre 53.8-94.8 μg/mL. El potencial citotóxico de los aceites esenciales obtenidos, también se observa en otras especies de la familia Lauraceae, además se han hecho estudios de los posibles beneficios que poseen este grupo de plantas (Silva *et al.*, 2009). El ensayo de *Artemia Salina* ha sido empleado para evaluar la citotoxicidad de extractos alcohólicos de varias especies del género *Litsea*, por ejemplo, de *L. glutinosa*, exhibió una CL₅₀=114.71 μg/mL, siendo moderadamente tóxica estableciéndose una correlación contra las líneas celulares humanas de cáncer de colon y piel (Khatun *et al.*, 2014). Así mismo las hojas de *L. salicifolia* y las raíces de *L. acuminata*, también han mostrado citotoxicidad en este bioensayo (Goh *et al.*, 2022).

El análisis del aceite esencial de laurel aromático por cromatografía de gases, de la colecta de Chignahuapan, Puebla, demostró que su componente predominante fue el monoterpeno oxigenado eucaliptol (34.99%). En otras especies del mismo género este compuesto también es el mayoritario, pero se encuentra en menor porcentaje, por ejemplo, en *L. muelleri* (19.4%), *L. schaffeneri* (23.7%) y *L. guatemalensis* (26.8%) (Azhar *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

Los aceites esenciales de todas las colectas de *Litsea glaucescens* presentaron capacidad antioxidante entre 3.45-10.72 $\mu\text{mol ET}/\mu\text{L}$ empleando el ensayo de ABTS, por lo que esta especie forestal no maderable proporciona una opción de aprovechamiento como aditivo con propiedades antioxidantes para enriquecer alimentos.

La actividad tóxica del aceite esencial empleando el bioensayo de *Artemia salina* fue alta en las muestras de Zongolica, Veracruz (59.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$) y Nopalillo, Hgo. (Mixto) (94.8 $\mu\text{g}/\text{mL}$), sin embargo, se requieren más estudios para correlacionar su posible actividad anticancerígena.

El análisis del aceite esencial por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas de la muestra de Chignahuapan, Puebla, reveló que su contenido de mono y sesquiterpenos (44.37%) podría estar relacionado con su capacidad antioxidante.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el financiamiento a Veronica Tepixtle Colohua mediante una beca de maestría del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al apoyo recibido de la Dirección General de Investigación de Posgrado de la UACH (Proyecto 22006- DTT-90) así como al personal del Laboratorio de Productos Naturales de la Universidad Autónoma Chapingo, por la ayuda en el desarrollo de este proyecto. Se agradece al Dr. Antonio Cortés Jiménez del “Herbario-Hortorio Jorge Espinosa”, Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo por la identificación botánica.

LITERATURA CITADA

- Andrade-Andrade, G., Delgado-Alvarado, A., Herrera-Cabrera, B. E., Arévalo-Galarza, L., & Caso-Barrera, L. (2018). Variación de compuestos fenólicos totales, flavonoides y taninos en *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews de la Huasteca Hidalguense, México. *Agrociencia*, 52(1), 55-66. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000100055&lng=es&tlng=es.
- Arango, O., Pantoja, D., Santacruz Ch, L., & Hurtado, A. M. (2012). Atividade antioxidante do óleo essencial de orégano (*Lippia origanoides* HBK) do Alto Patia. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 10(2), 79-86. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612012000200010&lng=en&tlng=es.
- Azhar, M. A. M., & Salleh, W. M. N. H. W. (2020). Chemical composition and biological activities of essential oils of the genus *Litsea* (Lauraceae)-A review. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 85(2), 97-103. <https://hrcak.srce.hr/237847>
- Azhar, M., Mohd, W., Hakimi, N., Salleh, W., Ghani, N. A., Azhar, M. A. M., Salleh, W. M. N. H. W., Khamis, S., Ghani, N. A., & Alam, P. (2022). Variation in essential oil composition of three *Litsea* species from Malaysia. *Delle Sostanze Grasse*. 99(1):57-61. <https://www.researchgate.net/publication/360540412>.
- Božović, M., Navarra, A., Garzoli, S., Pepi, F. y Ragno, R. (2017). Essential oils extraction: A 24-hour steam distillation systematic methodology. *Natural Product Research*, 31(20), 2387-2396. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1309534>
- Bruneton, J. (2001). *Farmacognosia, fitoquímica, plantas medicinales*. Editorial Acribia, España (2da Ed, pp. 478-570).

- Calvo-Irabien, LM (2018). Flora aromática nativa mexicana y aceites esenciales: estado actual de la investigación, vacíos en el conocimiento y potencial agroindustrial. Cultivos y productos industriales, *111*, 807-822. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.044>
- CYTED: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. (2014). Consultado en: <http://www.cytcd.org>. Accedido 24 de enero de 2022.
- de Esteyneffer, J. (1978). Florilegio medicinal de todas las enfermedades sacado de varios y clásicos autores para bien de los pobres y de los que tienen falta de médicos. Edición, estudio preliminar, notas, glosario e índice analítico—Ma. De C. Anzures y Bolaños. México, DF: Academia Nacional de Medicina.
- Goh, MPY, Kamaluddin, AF, Tan, TJL, Yasin, H., Taha, H., Jama, A. y Ahmad, N. (2022). Una evaluación de la composición fitoquímica, antioxidante y citotoxicidad de las hojas de *Litsea elliptica* Blume, una planta etnomedicinal de Brunei Darussalam. *Revista Saudita de Ciencias Biológicas*, *29* (1), 304-317. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.097>
- Guzmán-Gutiérrez, S. L., Gómez-Cansino, R., García-Zebadúa, J. C., Jiménez-Pérez, N. C., & Reyes-Chilpa, R. (2012). Antidepressant activity of *Litsea glaucescens* essential oil: Identification of β -pinene and linalool as active principles. *Journal of Ethnopharmacology*, *143*(2). <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.07.026>
- Jiménez-Pérez, N. D. C., Lorea-Hernández, F. G., Jankowski, C. K., & Reyes-Chilpa, R. (2011). Essential Oils in Mexican Bays (*Litsea* spp., Lauraceae): Taxonomic Assortment and Ethnobotanical Implications. *Economic Botany*, *65*(2), 178-189. <https://doi.org/10.1007/s12231-011-9160-5>
- Khatun, A., Rahman, M., Haque, T., Rahman, M., Akter, S., & Jhumur, A. (2014). Cytotoxicity potentials of eleven Bangladeshi medicinal plants. *The Scientific World Journal*, *2014*. <https://doi.org/10.1155/2014/913127>
- Leite de Souza, E. (2021). Insights into the current evidence on the effects of essential oils toward beneficial microorganisms in foods with a special emphasis to lactic acid bacteria. A review. *Trends in Food Science & Technology*, *114*, 333-341. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.011>
- Londoño Londoño, J. A. (2012). Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. En *Desarrollo y transversalidad serie Lasallista Investigación y Ciencia*. Corporación Universitaria Lasallista. <http://hdl.handle.net/10567/133>
- 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>.
- Meyer, B. N., Ferrigni, N. R., Putnam, J. E., Jacobsen, L. B., Nichols, D. E. J., & McLaughlin, J. L. (1982). Brine shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. *Planta Medica*, *45*(05), 31-34. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971236>
- Michael, A. S., Thompson, C. G., & Abramovitz, M. (1956). Artemia salina como organismo de prueba para bioensayo. *Ciencia*, *123* (3194), 464-464. DOI: 10.1126/ciencia.123.3194.464.a
- Montañez-Armenta, M., Valtierra-Pacheco, E., & Medina-Torres, S. M. (2011). Aprovechamiento tradicional de una especie protegida (*Litsea glaucescens* Kunth) en "Sierra del Laurel", Aguascalientes, México. *Ra Ximhai*, *7*(2), 155-172. <https://doi.org/10.35197/2FrX.07.02.2011.01.mm>
- NIST (2022). National Institute of Standards and Technology, NIST. Libro del Web de Química del NIST, SRD 69, publicado en 2017. Consultado el 13 de noviembre de 2022. <https://doi.org/10.18434/T4D303>
- Norma Oficial Mexicana (2019). 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. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, publicado el 30 de diciembre de 2010.

Recibido:
3/agosto/2022

Aceptado:
12/enero/2023

- Osuna, L., Tapia, M., & Aguilar, A. (2005). Plantas medicinales de la medicina tradicional mexicana para tratar afecciones gastrointestinales: estudio etnobotánico, fitoquímico y farmacológico. *España: Publicaciones y ediciones de la Universidad de Barcelona*.
- Pino Pérez, O., & Jorge Lazo, F. (2010). Ensayo de Artemia: útil herramienta de trabajo para ecotoxicólogos y químicos de productos naturales. *Revista de Protección Vegetal*, 25(1), 34-43. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1010-27522010000100008&script=sci_arttext&tlng=pt
- Politeo, O., Jukić, M., & Miloš, M. (2006). Chemical composition and antioxidant activity of essential oils of twelve spice plants. *Croatica Chemica Acta*, 79(4), 545-552. <https://hrcak.srce.hr/file/8914>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of functional foods*, 18, 757-781. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047>
- Silva, J. R. D. A., do Carmo, D. F., Reis, É. M., Machado, G., Leon, L. L., Silva, B. O. D., ... & Amaral, A. C. F. (2009). Chemical and biological evaluation of essential oils with economic value from Lauraceae species. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 20, 1071-1076. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532009000600011>
- Smith, M. B. & March, J. (2007). Carbocations, Carbanions, Free Radicals, Carbenes, and Nitrenes. In: March's Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms, and Structure, (Sixth Ed., pp. 276-289). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Stashenko, E. E., Ferreira, M. C., Sequeda, L. G., Mateus, A., Cervantes, M., & Martínez, J. R. (1997). Desarrollo de un método para monitoreo de la degradación oxidativa en lípidos y evaluación de la actividad antioxidante de productos naturales. *Arte y Ciencia Cosmética*, 8, 20.
- Sundararajan, B., Moola, A. K., Vivek, K., & Kumari, B. R. (2018). Formulation of nanoemulsion from leaves essential oil of *Ocimum basilicum* L. and its antibacterial, antioxidant and larvicidal activities (*Culex quinquefasciatus*). *Microbial Pathogenesis*, 125, 475-485. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.10.017>
- Valdés, J., & Flores, H. (1984). Historia de las plantas de Nueva España. Comisión editora de las obras de Francisco Hernández. Comentarios a la obra de Francisco Hernández (1570-76). México: UNAM.
- Van der Werff, H., & Lorea, F. (1997). Flora del Bajío y de Regiones adyacentes: Familia Lauraceae. *Instituto de Ecología AC, Xalapa, Ver. México. Fascículo*, 56, 25-31. <https://doi.org/10.21829/fb.259.1997.56>
- Vasquez, O., Alva, A., & Marreros, J. (2001). Extracción y caracterización del aceite esencial de jengibre (*Zingiber officinale*). *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, 1(1), 38-42. https://www.academia.edu/36600316/extracci%C3%93n_y_caracterizaci%C3%93n_del aceite_esencial_de_jengibre_Zingiber_officinale
- Yañez, M. S., Molina, R. R., Paz, J. W., & Márquez, D. M. (2021). Estudio del potencial antioxidante de aceites esenciales de laurel, orégano y damiana pretratados con ultrasonido. *TECTZAPIC: Revista Académico-Científica*, 7(1), 69-74. <https://www.eumed.net/es/revistas/tectzapic/vol-7-no-1-mayo-2021/antioxidante-aceites>

EVALUACIÓN *IN VITRO* DEL EFECTO ANTIBACTERIANO DE LOS EXTRACTOS DE *Bidens pilosa* Y *Eryngium foetidum*

IN VITRO EVALUATION OF THE ANTIBACTERIAL EFFECT OF EXTRACTS OF *Bidens pilosa* Y *Eryngium foetidum*

Chafla-Moina, A. L. y L. M. Silva-Déley

EVALUACIÓN *IN VITRO* DEL EFECTO ANTIBACTERIANO DE LOS EXTRACTOS
DE *Bidens pilosa* Y *Eryngium foetidum*

IN VITRO EVALUATION OF THE ANTIBACTERIAL EFFECT OF EXTRACTS OF
Bidens pilosa Y *Eryngium foetidum*



Evaluación *in vitro* del efecto antibacteriano de los extractos de *Bidens pilosa* y *Eryngium foetidum**In vitro* evaluation of the antibacterial effect of extracts of *Bidens pilosa* and *Eryngium foetidum*Chafra-Moina, A. L.
y L. M. Silva-DéleyEVALUACIÓN *IN VITRO*
DEL EFECTO
ANTIBACTERIANO DE LOS
EXTRACTOS DE *Bidens*
pilosa Y *Eryngium foetidum**IN VITRO* EVALUATION OF
THE ANTIBACTERIAL
EFFECT OF EXTRACTS OF
Bidens pilosa Y *Eryngium*
foetidum

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 55: 109-119. Enero 2023

DOI:
10.18387/polibotanica.55.8A. L. Chafra-Moina / achafla@uea.edu.ecFacultad de Ciencias de la Tierra
Universidad Estatal Amazónica, Pastaza, Ecuador

L. M. Silva-Déley

Medicina Veterinaria
Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

RESUMEN: El objetivo del estudio fue identificar cualitativamente los metabolitos secundarios y evaluar el efecto antimicrobiano *in vitro* de las plantas *Bidens pilosa* y *Eryngium foetidum* frente a *Staphylococcus aureus* (C44-02), *Escherichia coli* (D31-12) y *Salmonella typhimurium* (D31-15). Esta actividad se observó mediante la técnica modificado de difusión en pocillos en agar Müeller Hinton, se utilizó 5 y 10 mg/mL de extracto por especie vegetal. Se determinó la concentración mínima inhibitoria (CMI) y la concentración mínima bactericida (CBM) mediante difusión en agar, con soluciones del extracto vegetal en concentraciones de 250, 125, 62.5, 31.25 y 15.62 mg/mL para la CMI. El mayor porcentaje de rendimiento del extracto fue con *B. pilosa* de 1.3% y para la *E. foetidum* de 0.21%. El análisis fitoquímico reveló la presencia de metabolitos secundarios alcaloides, glúcidos, saponinas, esteroides, fenoles, terpenoides, flavonoides y taninos. El extracto etanólico de *E. foetidum* (10 mg/mL) presentó mayor actividad antimicrobiana frente a *S. aureus* con halo de inhibición de $21,0 \pm 2,0$ mm. y fue más sensible con una CMI 15.62 mg/mL y CMB 31.25 mg/mL, Para *B. pilosa* frente a *S. aureus* con CMI 62.5 mg/mL y CMB 125 mg/mL *E. coli* y *S. typhimurium* fueron más resistentes con CMI 125 mg/mL y CMB 125 y 250 mg/mL respectivamente. Esta búsqueda sugiere que los principios activos presentes en las plantas pueden jugar un rol significativo en la acción inhibitoria contra el *S. aureus* y que el etanol presente como solvente no es el responsable de tal efecto.

Palabras clave: *Bidens pilosa*, *Eryngium foetidum*, actividad antibacteriana, tamizaje fitoquímico.

ABSTRACT: The objective of the study was to qualitatively identify secondary metabolites and evaluate the *in vitro* antimicrobial effect of *Bidens pilosa* and *Eryngium foetidum* plants against *Staphylococcus aureus* (C44-02), *Escherichia coli* (D31-12) and *Salmonella typhimurium* (D31-15). This activity was observed by the modified well diffusion technique in Müeller Hinton agar, using 5 and 10 mg/mL of extract per plant species. The minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) were determined by agar diffusion, with solutions of the plant extract at concentrations of 250, 125, 62.5, 31.25 and 15.62 mg/mL for MIC. The highest percentage extract yield was with *B. pilosa* of 1.3% and for *E. foetidum* of 0.21%. Phytochemical analysis revealed the presence of secondary metabolites alkaloids, glucids, saponins, sterols, phenols, terpenoids, flavonoids and tannins. The ethanolic extract of *E. foetidum* (10 mg/mL) showed higher antimicrobial activity against *S. aureus* with inhibition halo of 21.0 ± 2.0 mm and was more sensitive with MIC 15.62 mg/mL and CMB 31.25 mg/mL, For *B. pilosa* against *S. aureus* with MIC 62.5 mg/mL and CMB 125 mg/mL *E. coli* and *S. typhimurium* were more resistant with MIC 125 mg/mL and CMB 125 and 250 mg/mL respectively. This finding suggests that the active principles present in the plants may play a significant role in

the inhibitory action against *S. aureus* and that the ethanol present as solvent is not responsible for such effect.

Key words: *Bidens pilosa*, *Eryngium foetidum*, antibacterial effect, phytochemical screening.

INTRODUCCIÓN

Las plantas constituyen un recurso valioso en los sistemas de salud de los países en desarrollo. Aunque no existen datos precisos para evaluar la extensión del uso global de plantas medicinales, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2013) ha estimado que más del 80% de la población mundial utiliza, rutinariamente, la medicina tradicional para satisfacer sus necesidades de atención primaria de salud y que gran parte de los tratamientos tradicionales implica el uso de extractos de plantas o sus principios activos (Gallegos-Zurita & Gallegos, 2017).

La información sobre las propiedades curativas de las plantas medicinales se ha transmitido a lo largo de los siglos entre generaciones de comunidades humanas; la existencia de la medicina tradicional depende sobre la diversidad de especies de plantas y el conocimiento de su uso como medicamento (Maldonado *et al.*, 2020), esto ha llevado a los científicos a evaluar extractos de plantas medicinales de semillas, cortezas, flores y hojas para aislar posibles antimicrobianos futuros, debido a que el creciente número de antibióticos comerciales están perdiendo su eficacia frente a los microorganismos que cada vez son más resistentes (Masqui *et al.*, 2022).

A nivel etnobotánico, en la amazonia ecuatoriana se cuenta con el conocimiento ancestral de los pobladores nativos del interior de la Amazonía y en particular de la Provincia de Pastaza que refieren el uso de los extractos con actividad farmacológica, entre ellas se encuentra la planta *Bidens pilosa*, que se caracteriza por su variedad de principios activos (Ruiz *et al.*, 2022), siendo el principal constituyente aislados los poliacetilenos conjugados como la fenilheptatrina y el a-tertienil que inhiben los organismos patógenos (Arroyo *et al.*, 2010).

Por su parte en la *Eryngium foetidum* se ha determinado numerosos compuestos aromáticos como la 2,4,5-trimetilbenzaldehído y 5 -decanona reportados por Hemachandra *et al.* (2021) y su estudio se ha orientado a sus efectos antimicrobianos para el control en el crecimiento de *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* y *Salmonella* donde se evidenció la aparente sensibilidad de las bacterias gran-positivas y la resistencia de las gran-negativas (Malik *et al.*, 2016).

El objetivo del presente trabajo fue identificar cualitativamente los metabolitos secundarios y evaluar la actividad antibacteriana *in vitro* de los extractos etanólicos de *B. pilosa* y *E. foetidum* determinando la concentración mínima inhibitoria (CMI) y la concentración mínima bactericida (CMB) sobre cepas de *S. aureus*, *E. coli* y *S. typhimurium*

MATERIALES Y MÉTODOS

Material de estudio

Material vegetal: Las plantas de *B. pilosa* y *E. foetidum*, se recolectaron en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación de la Biodiversidad Amazónica (CIPCA), ubicado en el Cantón Arosemena Tola de la Provincia Napo, Ecuador (01° 11' 29" S, 77° 51' 25" O a una altura de 550 msnm, temperatura media de 25 °C, clima cálido húmedo, precipitación anual de 3538 mm y humedad relativa de 76%. Las especies fueron colectadas en los meses de mayo y noviembre de 2019 y se identificaron con base a sus características taxonómicas; posteriormente las hojas de cada planta se separaron de los materiales extraños, se pesaron y después se secaron a la sombra a temperatura ambiente durante ocho días hasta alcanzar un

peso constante y por diferencia de peso se determinó el contenido de humedad de 12%. Las muestras de 1,2 mm, se empacadas en frascos de 500 g y almacenaron en un lugar limpio y seco hasta su procesamiento (León Méndez *et al.*, 2015).

Tamizaje fitoquímico: Se pesaron 5 g del material vegetal seco para cuatro muestras por cada especie en estudio, empacadas con papel filtro y colocadas en vasos de precipitados de 150 ml. Se añadió 30 ml del disolvente (cloroformo, etanol al 96%, agua o HCl al 1%) a cada muestra, se taparon y calentaron en baño maría por 5 minutos (para HCl al 1%, fueron 10 minutos) (Rodríguez-Quezada *et al.*, 2021).

A los extractos de cada planta se les agregó el reactivo indicado para determinar cualitativamente el metabolito secundario siguiendo la metodología propuesta por Más Toro *et al.*, (2017). Se detectó la presencia de alcaloides, flavonoides, saponinas, taninos, terpenoides, glúcidos, fenoles totales y esteroides de acuerdo con los procedimientos propuestos por Pérez *et al.* (2021) y Rodríguez-Quezada *et al.* (2021).

Obtención de los extractos vegetales En el laboratorio de química de la Universidad Estatal Amazónica (UEA), se realizó la extracción con etanol al 98%, con la técnica de Soxhlet durante 48 h (Pimentel Ramírez *et al.*, 2015). El extracto etanólico se filtró y concentró en el rotaevaporador a presión reducida y temperatura constante de 80°C. Una vez evaporado el solvente, se obtuvo el extracto crudo de cada planta para su posterior almacenamiento a 4 °C. Se determinó la masa de cada uno de los extractos de las plantas estudiadas.

Microorganismos de ensayo: Se seleccionaron cepas bacterianas de referencia: una Grampositiva de *S. aureus* (C44-02) y dos Gramnegativas *E. coli* (D31-12) y *S. typhimurium* (D31-15) del cepario de colección de la UEA.

Preparación de los inóculos bacterianos: Se partió de cepas en estudio frescas y purificadas en un medio de cultivo básico. Con un asa de siembra en aro se tomó una pequeña cantidad de colonias para luego ser suspendidas en una solución de cloruro de sodio al 0,85% estéril hasta alcanzar la turbidez equivalente al 0,5 McFarland (1.5×10^8 UFC/mL). Se verificó la densidad correcta del estándar de turbidez midiendo la absorbancia con un espectrofotómetro Lengguang 759S en longitud de onda de 540 nm (Lage *et al.*, 2005).

Ensayo antibacteriano de extractos de hojas de *B. pilosa* y *E. foetidum* en organismos de prueba bacterianos

La actividad antibacteriana de los extractos *B. pilosa* y *E. foetidum* se determinó de acuerdo con la metodología descrita por (Torres *et al.*, 2017). Para evaluar la actividad antimicrobiana se utilizó el método modificado de difusión en pocillos en agar Müeller Hinton para bacterias, se colocaron en las cajas Petri, 10 ml de agar, y se dejó en reposo hasta que solidifique, se adicionó 100 uL de inóculo de densidad celular de 1×10^7 UFC/mL y con la ayuda de un asa de Drigalsky se pasó de manera uniforme sobre la superficie del agar. En cada placa se realizaron los pocillos (5 mm de diámetro) con ayuda de un sacabocado estéril, donde se depositó el extracto con una concentración de 5 y 10 mg/pocillo a partir del extracto madre (100 mg/mL de alcohol al 98 %) todos los ensayos se realizaron por triplicado. Luego de una incubación a 37 °C por 24 h se realizó la lectura de los halos de inhibición con la ayuda de un calibrador Vernier. Las soluciones experimentales que actuaron como control negativo fue etanol al 98 % y control positivo Gentamicina (30µg/mL) se aplicaron en cantidades de 10 ul en discos de papel filtro Whatman # 3 (6mm de diámetro) con ayuda de una micropipeta marca Merck. Los ensayos se realizaron por triplicado.

Evaluación de la concentración mínima inhibitoria (CMI) y mínima bactericida (CMB):

La CMI (concentración mínima inhibitoria) de los extractos se determinó por el método de dilución de agar (Pastrana *et al.*, 2017). Se tomó 5 colonias de las cajas de lacas Petri que cada microorganismo en estudio, para posteriormente ser diluidas en 5 mL de caldo triptosa hasta alcanzar la turbidez equivalente a 0.5 de la Escala Mac Farland, la cual equivale a una

concentración de 10^8 UFC/mL (Chukwujekwu E *et al.*, 2017). De esta solución se tomó 100 μ L y se inóculo en cada uno de los tubos menos en el tubo control, posteriormente se añadió cada extracto en una concentración de 250, 125, 62.5, 31.25 y 15.62 mg/mL. Los cultivos fueron incubados durante 24 h a 37 °C, sobre un agitador rotatorio, posteriormente el crecimiento bacteriano se examinó espectrofotométricamente. El tubo que no presentó turbidez o sea que se produce un crecimiento no visible fue tomada como la CMI de la sustancia para el microorganismo utilizado. Cada experimento se realizó por duplicado.

Para la determinación de la CMB, se tomaron alícuotas de los tubos en los que no se observó crecimiento en el ensayo de CMI y se sembraron en placas con gelosa sangre para Gram positivas y agar MacConkey para Gram negativas, las que se incubaron a 37 °C durante 24 h; la placa de menor concentración de extracto en la que no se observó crecimiento correspondió a la CMB. Los experimentos se realizaron por triplicado y sólo se validaron los resultados que mostraron coincidencia.

Análisis Estadístico: Los datos obtenidos en el estudio fueron estadísticamente analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de rango múltiple de Duncan (DMRT) para determinar la diferencia entre medios de tratamiento. $P < 0.05$ fue considerado como significativo.

RESULTADOS

El análisis fitoquímico preliminar de *B. pilosa* y *E. foetidum* revelaron la presencia algunos metabolitos secundarios (Cuadro 1) alcaloides, glucósidos, saponinas, terpenoides, fenoles, esteroides, flavonoides y taninos.

Cuadro 1. Componentes fitoquímicos de los extractos de *B. pilosa* y *E. foetidum*

Grupo de compuestos	Prueba	<i>B. pilosa</i>	<i>E. foetidum</i>
Alcaloides	Dragendorff/Mayer	+	-
Flavonoides	Cloruro férrico	+	+
Glúcidos	Keller-Killiani	+	+
Saponinas	Prueba de espuma	+	-
Taninos	Cloruro Férrico	+	+
Terpenoides	Liebermann-Buchard	+	+
Fenoles	Cloruro Férrico	+	+
Esteroides/esteroides	Salkowski	+	+

+ = presencia; - = ausencia

Como resultado del proceso de extracción a partir de aproximadamente 450 g de vegetal de *B. pilosa* y *E. foetidum*, se obtuvieron 5.8 ± 0.2 y 0.91 ± 0.7 g del extracto de interés. En el cuadro 2 se muestran los porcentajes de rendimiento de los extractos en estudio *B. pilosa* y *E. foetidum*. El mejor porcentaje de rendimiento fue obtenido con las hojas de *B. pilosa* de 1.3 % y para la *E. foetidum* de 0.21 % en noviembre.

Cuadro 2. Porcentaje de rendimiento del extracto etanólico de *B. pilosa* y *E. foetidum*.

Mes de recolección	Porcentaje de rendimiento %	
	<i>B. pilosa</i>	<i>E. foetidum</i>
Mayo	0.24	0.14
Noviembre	1.3	0.21

En el cuadro 3 se observa la acción de los extractos bioactivos que inhibieron el crecimiento de las cepas de *S. aureus*, *E. coli* y *S. typhimurium*.

Cuadro 3. Halo de inhibición de los extractos etanólicos, de *B. pilosa* y *E. foetidum* frente a *S. aureus*, *E. coli* y *S. typhimurium*

Bacterias	Halo de inhibición (mm)					
	<i>B. pilosa</i>		<i>E. foetidum</i>		G	Etanol
	5 mg/mL	10 mg/mL	5 mg/mL	10 mg/mL	30µg/mL	98 %
<i>S. aureus</i>	8,8 ± 1,4 ^d	11,3 ± 1,6 ^c	15,0 ± 1,2 ^b	21,0 ± 2,0 ^a	21 ± 1.5 ^a	-
<i>E. coli</i>	5,7 ± 0,7 ^c	7,8 ± 0,9 ^b	10,0 ± 1,2 ^a	11,7 ± 0,7 ^a	18 ± 0.8 ^a	-
<i>S. typh.</i>	7,0 ± 0,3 ^c	8,3 ± 0,6 ^c	11,7 ± 0,7 ^b	12,3 ± 0,3 ^b	23 ± 1.6 ^a	-

^{a,b,c,d} Medias con letras diferentes dentro de filas difieren significativamente

± desviación estándar

G: Gentamicina

La interacción entre las concentraciones de los extractos de *B. pilosa* y *E. foetidum* y el crecimiento de las cepas *S. aureus*, *E. coli* y *S. typhimurium* muestran un comportamiento definido a la razón de un incremento de la concentración y el halo de inhibición. Los datos obtenidos presentan un nivel de significancia menor de α 0.05. (P-valor). La concentración de 10 mg/mL del extracto de *E. foetidum* para las tres cepas en estudio fue la que presentó valores superiores frente al extracto de *B. pilosa* (*S. aureus*: 21,0 ± 2,0, *E. coli*: 11,7 ± 0,7 y *S. typhimurium*: 12,7 ± 0,3). La media del diámetro del halo de inhibición indicó que el halo del extracto etanólico de la *E. foetidum* se encontró por debajo del control gentamicina. No se observó la formación de halo alrededor del alcohol, lo que elimina que los halos formados puedan deberse al etanol empleado para la preparación de los extractos.

Las CMI de los extractos analizados de *B. pilosa* y *E. foetidum* aparecen en el cuadro 4. Se observa que los extractos etanólicos de ambas plantas, a concentraciones altas, tienen una acción inhibitoria sobre las tres especies bacterianas utilizadas.

Cuadro 4. Evaluación de la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) de los extractos de *B. pilosa* y *E. foetidum* frente a 3 especies bacterianas.

Bacterias	<i>B. pilosa</i> (mg/mL)	<i>E. foetidum</i> (mg/mL)
<i>S. aureus</i>	62.5	15.6
<i>E. coli</i>	125.0	62.5
<i>S. typhimurium</i> .	125.0	62.5

El extracto etanólico de *E. foetidum* mostró actividad inhibitoria contra *S. aureus*, comprobado por la mínima concentración requerida para su inhibición. Por el contrario, al realizar el enfrentamiento de las cepas de *E. coli* y *S. typhimurium* se evidenció que requieren mayor concentración de extracto para su inhibición siendo mayor la concentración de *B. pilosa*. Se puede suponer que los extractos etanólicos de las plantas probadas, tienen baja actividad sobre bacterias gramnegativas, posiblemente, porque las bacterias presentan compuestos anfipáticos que operan como bombas de expulsión de diversas sustancias, por lo cual, el antibacteriano es expulsado de manera inmediata, sin alcanzar a cumplir el efecto (Argote *et al.*, 2017). Por otro lado, de acuerdo con nuestros datos este primer estudio, *E. aureus*, *E. coli* y *S. typhimurium* mostraron tener mayor sensibilidad a causa de algún compuesto fitoquímico presente en los extractos en estudio, como se muestra en cuadro 1 se puede establecer la presencia de Taninos,

Esteroides, Fenoles y Flavonoides en el extracto etanólico de *E. foetidum*. En las pruebas fitoquímicas preliminares se analizó la presencia o ausencia de aquellos metabolitos secundarios que están ampliamente distribuidas en los extractos de *B. pilosa* y *E. foetidum* y que están relacionadas con alguna o varias actividades biológicas. Se puede deducir que estos metabolitos secundarios son sintetizados como respuesta a la influencia de diferentes factores relacionados con su hábitat, como son la temperatura, el pH, la salinidad, presencia de otros organismos (Sotero *et al.*, 2017)

Cuadro 5. Evaluación de la Concentración Mínima Bactericida (CMB) de los extractos de *B. pilosa* y *E. foetidum* frente a 3 especies bacterianas.

Bacterias	<i>B. pilosa</i> (mg/ml)	<i>E. foetidum</i> (mg/ml)
<i>S. aureus</i>	125	31.25
<i>E. coli</i>	125	125
<i>S. typhimurium</i> .	250	125

En el cuadro 5, se muestra la CMB por las diferentes concentraciones del extracto etanólico de *B. pilosa* y *E. foetidum*, observándose que la concentración de 31.25 mg/mL del extracto de *E. foetidum* impide la formación de unidades formadoras de colonias de *S. aureus*. Mientras que el extracto de *B. pilosa* frente a *S. typhimurium*. La inhibición se logra con una concentración de 250 mg/mL. Se puede decir que a medida que aumenta la concentración del extracto disminuye el recuento de unidades formadoras de colonias.

DISCUSIÓN

Los metabolitos secundarios identificados en los extractos de la *B. pilosa* se incluyen dentro del estudio realizado por Xuan & Khanh, (2016) quienes determinaron 301 compuestos pertenecientes a poliacetilenos, glucósidos de poliacetileno, flavonoides, glucósidos de flavona, auronas, chalconas, glucósidos de okanina, ácidos fenólicos, terpenos, feofitinas, ácidos grasos, taninos y fitoesteroles de los diferentes partes de esta planta, siendo considerados muchos de los metabolitos como los compuestos bioactivos que son potencialmente responsables por las acciones farmacológicas.

Respecto a la evaluación de metabolitos secundarios del extracto de *E. foetidum*, la identificación cualitativa permitió corroborar los estudios realizados Paul *et al.* (2011) quienes determinaron la presencia de flavonoides, taninos, saponina y varios triterpenoides; pero no se informaron la presencia de alcaloides. Los estudios farmacológicos de las partes aéreas de la planta han demostrado actividad antihelmíntica debido a la acción eryngial, antiinflamatoria gracias a las fracciones de fitoesteroles, actividad anticonvulsiva en los modelos respectivos y actividad antibacteriana selectiva contra las especies de *Salmonella* y el género de bacterias *Erwinia* (Paul *et al.*, 2011).

Respecto a la actividad antibacteriana, los extractos de *B. pilosa* fueron efectivos para inhibir *S. aureus* tal como se observa en los diámetros de inhibición de $11,3 \pm 1,6$ mm en comparación con *E. coli* que mostraron halos de $7,8 \pm 0,9$ mm y para *S. typhimurium* $8,3 \pm 0,6$ mm. Los resultados obtenidos fueron superiores a los reportados por Cruz *et al.*, (2010) quienes demostraron la acción bactericida del extracto de *B. pilosa* contra *S. aureus* con formación de halos de inhibición de 17,6 mm y negativo para *E. coli*. Otro estudio mostró halos de inhibición de $15,66 \pm 0,25$ mm para *S. aureus* y para *E. coli* halos de inhibición de $18,2 \pm 0,25$ mm (Singh *et al.*, 2017). En el presente estudio se encontró que *E. coli* (bacteria Gram negativa) es más resistente al extracto etanólico de la *B. pilosa* que *S. aureus* (bacteria Gram positiva), esto se reafirma con los estudios de Panda *et al.* (2019) quienes demostraron que los patógenos

Gram-positivos fueron claramente más susceptibles a la mayoría de los extractos en comparación con las especies Gramnegativas, esto debido a que los extractos presentan fitocompuestos como fenoles, flavonoides, taninos, saponinas, esteroides y terpenos. Estudios realizados por da Silva *et al.* (2014) quienes utilizaron las hojas de *B. pilosa* presentaron diámetros medios de los halos de inhibición significativamente mayores que la clorexidina 0,12% y el extracto fue más activos frente a *S. aureus* ATCC ($p < 0,05$).

El extracto de *E. foetidum* por su parte generó significativamente mayor halo de inhibición que la *B. pilosa* para las tres cepas siendo la cepa de *S. aureus* la de mayor halo de inhibición ($21,0 \pm 2.0$ mm). Begum *et al.* (2018) determinaron halos de inhibición para *S. aureus* de $19,54 \pm 1.5$ valores muy cercanos a los encontrados en el presente estudio, sin embargo, para *E. coli* los valores determinados por los autores fueron superiores ($28,77 \pm 1.3$). (Brito & Silva, 2022) estudiaron diferentes extractos de especies vegetales del Norte de Brasil y encontraron resistencia antimicrobiana para *S. aureus* ($10 \pm 1,4$ mm) y negativo para *E. coli* con *E. foetidum*, Lingaraju *et al.* (2016) al examinar el efecto antibacteriano de la *E. foetidum* encontraron halos de inhibición de 15 para *E. coli* y 20 para *E. aureus*. Estudios farmacológicos realizados por Paul *et al.* (2011) de las partes aéreas de *E. foetidum* demostraron actividad antibacteriana selectiva contra las especies de *Salmonella* debido a las fracciones de fitoesteroles.

CMI y CMB de los microorganismos frente al extracto de *B. pilosa* y *E. foetidum*, la metodología fue dirigida inicialmente a la determinación de la actividad de los antibióticos, pero ha sido modificado para determinar la actividad antimicrobiana; adaptándose para determinar la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales y los extractos de plantas (Sun *et al.*, 2021). La CMI se define como la menor concentración del extracto que produce el 90% de reducción en el crecimiento de las colonias. La CMB se define como la mínima concentración del extracto que produce al menos un 99,9% de reducción en el crecimiento de las colonias (Stan *et al.*, 2021).

Respecto a la concentración mínima inhibitoria (CMI) los resultados obtenidos en la presente investigación mostraron inhibición para *E. aureus* de 15,62 mg/ml con extracto de *E. foetidum* y para gramnegativas se requiere de mayor concentración (62,5 mg/ml). En referencia al extracto de *B. pilosa* la inhibición se alcanzó con concentraciones de 62,5 mg/ml para *E. aureus* y 125 mg/ml para las gramnegativas. Lingaraju *et al.* (2016) reportaron CMI para las bacterias grampositivas y gramnegativas en estudio, concentraciones de 2,5 mg/ml en extracto de *E. foetidum*. Lawal *et al.* (2015) determinaron que los extractos metanólicos de la *B. Pilosa* inhiben las bacterias de *E coli* a concentraciones de 200 ($\mu\text{g/ml}$) y para *E. aureus*. Cruz *et al.* (2010) demostraron el efecto del extracto etanólico de la *B. pilosa* para *E. aureus* de 12 $\mu\text{g/ml}$. La diferencia de polaridad de los extractos parece ser un factor para considerar debido a que los compuestos altamente polares extraen la mayor cantidad de principios bioactivos; estudios realizados han demostrado que los compuestos polares tienen efectos antimicrobianos, aunque compuestos no polares como naftoquinonas también han demostrado este efecto (Lawal *et al.*, 2015). Falowo *et al.* (2016) demostraron que el ensayo antibacteriano de los extractos de *B. pilosa* reveló una apreciable actividad de amplio espectro frente a las bacterias examinadas (*E. coli*) con concentraciones inhibitorias mínimas utilizando rangos entre 0,6 y 10,0 mg/mL. En la determinación de la CMB, el extracto etanólico de *E. foetidum* (10 mg/mL) presentó mayor actividad antimicrobiana frente a *S. aureus* con CMB 31.25 mg/mL, Para *B. pilosa* frente a *S. aureus* una CMB de 125 mg/mL *E. coli* y *S. typhimurium* fueron más resistentes con CMB 125 y 250 mg/mL respectivamente. En el presente estudio, se demostró que el etanol utilizado como solvente de los extractos en crudo no es el responsable de la actividad antimicrobiana, debido a que se encontró que la CMI y la CMB del etanol negativos. Con ello se aclara que el etanol es sólo utilizado como un solvente de esta resina y no como coadyuvante y, aunque está demostrado que los extractos etanólicos de las plantas en estudio son efectivas que las acuosas.

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se pudo encontrar que los extractos etanólicos obtenidos a partir de las plantas *B. pilosa* y *E. foetidum* presentaron actividad *in vitro* frente a *S. aureus*, *E. coli* y *Salmonella typhimurium*. Sobre *S. aureus*, el extracto de *Eryngium foetidum* fue el que tuvo mayor acción antibacteriana, clasificándose como sensibles. Las plantas estudiadas, en particular *E. foetidum*, por la actividad demostrada ante *S. aureus*, pueden constituir una alternativa contra bacterias Gram positivas.

LITERATURA CITADA

- Argote, E., Suárez, Z., Tobar, M., Pérez, J., Hurtado, A., & Delgado Johannes. (2017). Evaluación de la capacidad inhibitoria de aceites esenciales en *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 2, 52–60. [https://doi.org/doi://dx.doi.org/10.18684/bsaa\(v15\)EdiciónEspecialn2.578](https://doi.org/doi://dx.doi.org/10.18684/bsaa(v15)EdiciónEspecialn2.578)
- Arroyo, J., Bonilla, P., Ráez, E., Barreda, A., & Huamán, O. (2010). Efecto quimioprotector de *Bidens pilosa* en el cáncer de mama inducido en ratas. In *Anales de la Facultad de Medicina* (Vol. 71, Issue 3). Facultad de Medicina San Fernando de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832010000300003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Begum, S., Ahmaruzzaman, M., & PradipAdhikari, P. (2018). Ecofriendly bio-synthetic route to synthesize ZnO nanoparticles using *Eryngium foetidum* L. and their activity against pathogenic bacteria. *Materials Letters*, 228, 37–41. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.05.091>
- Brito, A. E. de O., & Silva, C. S. M. da. (2022). Atividade antimicrobiana de extratos vegetais de especiarias do norte do Brasil. *Research, Society and Development*, 11(2), e52011226047. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.26047>
- Chukwujekwu E, J. O., Ntale, M., Ogbonnia, S. O., Agwu, E., Kihdze Tanayen, J., Iceland Kasozi, K., Onyeka Okonkwo, C., Shodunke, A., Amamchukwu Akunne, A., Ephraim Dafiewhare, O., Chibuogwu Ebosie, J., & Byarugaba, F. (2017). *In vitro* Antibacterial Efficacy of *Bidens pilosa*, *Ageratum conyzoides* and *Ocimum suave* Extracts against HIV/AIDS Patients' Oral Bacteria in South-Western Uganda. *Pharmacology & Pharmacy*, 08(09), 306–323. <https://doi.org/10.4236/pp.2017.89023>
- Cruz, A., Rodríguez, N., & Rodríguez, C. (2010). Evaluación *in vitro* del efecto antibacteriano de los extractos de *Bidens pilosa*, *Lantana camara*, *Schinus molle* y *Silybum marianum*. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 13(2), 117–124. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262010000200014&lng=en&nrm=iso&tlng=
- da Silva, J., Cerdeira, C. D., Chavasco, J. M., Cintra, A. B. P., da Silva, C. B. P., de Mendonça, A. N., Ishikawa, T., Boriollo, M. F. G., & Chavasco, J. K. (2014). Triagem *in vitro* da atividade antibacteriana de *Bidens pilosa* Linné e *Annona crassiflora* Mart. contra *Staphylococcus aureus* resistente à oxacilina (ORSA) provenientes do ambiente aéreo na clínica odontológica. *Revista Do Instituto de Medicina Tropical de Sao Paulo*, 56(4), 333–340. <https://doi.org/10.1590/S0036-46652014000400011>
- Falowo, A. B., Muchenje, V., Hugo, C. J., & Charimba, G. (2016). Actividades antimicrobianas *in vitro* de extractos de hoja de *Bidens pilosa* y *Moringa oleifera* y sus efectos en la calidad de ternera triturada durante el almacenamiento en frío. *CYTA - Journal of Food*, 14(4), 541–546. <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1162847>
- Gallegos-Zurita, M., & Gallegos, D. (2017). Plantas medicinales utilizadas en el tratamiento de enfermedades de la piel en comunidades rurales de la provincia de Los Ríos – Ecuador. *Anales de La Facultad de Medicina*, 78(3), 315. <https://doi.org/10.15381/anales.v78i3.13767>

- Hemachandra, G. H. T. K., Thuvaragan, S., & Sanmugarajah, V. (2021). Pharmacological screening of *Eryngium foetidum* Linn – A Review. *Borneo Journal of Pharmacy*, 4(4), 248–259. <https://doi.org/10.33084/bjop.v4i4.2377>
- Lage, L., Panizo, M. M., Ferrara, G., & Reviakina, V. (2005). Validación del inóculo por densitometría para las pruebas de susceptibilidad a los antifúngicos en especies del género *Fusarium*. In *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* (Vol. 33, Issue 1). Sociedad Venezolana de Microbiología. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562013000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Lawal, O., Amisu, K., Akinyemi, S., Sanni, A., Simelane, M., Mosa, R., & Opoku, A. (2015). *In vitro* Antibacterial Activity of Aqueous Extracts of *Bidens pilosa* L. (Asteraceae) from Nigeria. *British Microbiology Research Journal*, 8(4), 525–531. <https://doi.org/10.9734/bmrj/2015/17900>
- León Méndez, G., Osorio Fortich, M. del R., & Martínez Useche, S. R. (2015). Comparación de dos métodos de extracción del aceite esencial de *Citrus sinensis* L. *Revista Cubana de Farmacia*, 49(4), 0–0. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75152015000400014&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Lingaraju, D., Sudarshana, M., Mahendra, C., & Poornachandra, K. (2016). Phytochemical Screening And Antimicrobial Activity Of Leaf Extracts Of *Eryngium Foetidum* L. (Apiaceae). *Indo American Journal of Pharmaceutical Research*, 6(2), 4339–4344. www.iajpr.com
- Maldonado, C., Paniagua-Zambrana, N., Bussmann, R. W., Zenteno-Ruiz, F. S., & Fuentes, A. F. (2020). La importancia de las plantas medicinales, su taxonomía y la búsqueda de la cura a la enfermedad que causa el coronavirus (COVID-19). *Ecología En Bolivia*, 55(1), 1–5. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282020000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Malik, T., Pandey, D. K., Roy, P., & Okram, A. (2016). Evaluation of phytochemicals, antioxidant, antibacterial and antidiabetic potential of *Alpinia galanga* and *Eryngium foetidum* plants of Manipur (India). *Pharmacognosy Journal*, 8(5), 459–464. <https://doi.org/10.5530/pj.2016.5.8>
- Más Toro, D., Martínez Aguilar, Y., Rodríguez Bertot, R., Pupo Torres, G., Rosabal Nava, O., & Olmo González, C. (2017). Análisis preliminar de los metabolitos secundarios de polvos mixtos de hojas de plantas medicinales. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 22(1), 0–0. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962017000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=pt
- Masqui, M., Gavilánez, J., Pilco, K., & Jácome, C. (2022). Essential oils with antimicrobial effect obtained from citrus fruits for food preservation. *Journal of Agro-Industry Sciences*, 4(1), 37–44. <https://doi.org/10.17268/jais.2022.005>
- OMS. (2013). Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2014-2023. ([Http://Www.Who.Int/about/Licensing/Copyright_form/En/Index.Html](http://Www.Who.Int/about/Licensing/Copyright_form/En/Index.Html)).
- Panda, S., Mohanta, Y., Padhi, L., & Luyten, W. (2019). Antimicrobial activity of select edible plants from Odisha, India against food-borne pathogens. *LWT - Food Science and Technology*, 113(1), 175–184. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.06.013>
- Pastrana, Y., Acevedo Correa, D., & Durango, A. (2017). Efecto Antimicrobiano del Clavo y la Canela sobre patógenos. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(1), 56. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(15\)56-65](https://doi.org/10.18684/BSAA(15)56-65)
- Paul, J. H. A., Seaforth, C. E., & Tikasingh, T. (2011). *Eryngium foetidum* L.: A review. *Fitoterapia*, 82(3), 302–308. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fitote.2010.11.010>
- Pérez, Y., Amaro, D., Robledo, L., Martínez, M., & Rondón, A. (2021). Caracterización fitoquímica y antibacteriana de cinco plantas arvenses presentes en la provincia de Matanzas, Cuba. *Centro Agrícola*, 48(3), 32–42.
- Pimentel Ramirez, E., Castillo Andamayo, D., Quintana Del Solar, Maurtua Torres, D., Villegas Vilchez, L., & Díaz Santisteban, C. (2015). Efecto antibacteriano de extractos etanólicos de plantas utilizadas en las tradiciones culinarias andinas sobre microorganismos de la cavidad bucal. *Revista Estomatológica Herediana*, 25(4), 268–

Recibido:
3/agosto/2022

Aceptado:
12/enero/2023

277. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1019-43552015000400004&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Rodríguez-Quezada, M., Gamarra-Torres, O. A., & Romel Pérez-Azahuanche, F. (2021). Tamizaje fitoquímico y actividad antibacteriana de los extractos de seis plantas medicinales usadas en Amazonas. In *MEDICINA NATURALISTA* (Vol. 15).
- Ruiz, E., Mendoza, M., Polanco, A., Segovia, D., Alcivar, U., & Dueñas, A. (2022). Phytochemical study of the plant species *Bidens pilosa* L. (Asteraceae) and *Croton floccosus* (Euphorbiaceae). *F1000Research*, *11*, 702. <https://doi.org/10.12688/f1000research.112653.1>
- Singh, G., Passari, A., Singh, P., Leo, V., Subbarayan, S., Kumar, B., Singh, B., Lahlmawia, H., & Kumar, N. (2017). Pharmacological potential of *Bidens pilosa* L. and determination of bioactive compounds using UHPLC-QqQLIT-MS/MS and GC/MS. *BMC Complement Altern Med.*, *17*(1), 492.
- Sotero, F., Arreguin, S., García, A., Fernández, L., López, M., Morales, C., Flores, A., & Salazar, J. (2017). Evaluación de dos extractos de *Stevia rebaudiana* Bertoni sobre enterobacterias resistentes a antibióticos. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, *48*(3), 74–80. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57956616009>
- Stan, D., Enciu, A. M., Mateescu, A. L., Ion, A. C., Brezeanu, A. C., Stan, D., & Tanase, C. (2021). Natural Compounds With Antimicrobial and Antiviral Effect and Nanocarriers Used for Their Transportation. In *Frontiers in Pharmacology* (Vol. 12). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.723233>
- Sun, L., Li, S., Wang, L., & Song, X. (2021). A semiparametric mixture model approach for regression analysis of partly interval-censored data with a cured subgroup. *Statistical Methods in Medical Research*, *30*(8), 1890–1903.
- Torres, J., León-Quipe, J., & Tomas-Chota, G. (2017). Actividad antibacteriana y antifúngica de extractos de hojas de *Luma chequen* (Molina) A. Gray (arrayán) frente a patógenos de origen clínico. *Revista de La Sociedad Venezolana de Microbiología*, *37*(1), 10–16. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562017000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Xuan, T. D., & Khanh, T. D. (2016). Chemistry and pharmacology of *Bidens pilosa*: an overview. In *Journal of Pharmaceutical Investigation* (Vol. 46, Issue 2, pp. 91–132). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s40005-016-0231-6>

DISINFECTION OF ADULT PECAN LEAFLETS, AND *IN VITRO* CALLOGENESIS INDUCTION

DESINFECCIÓN DE FOLIOLOS DE NOGAL PECANERO ADULTO, E INDUCCIÓN DE CALLOGÉNESIS *IN VITRO*

Gándara-Ledezma, V.; L. Tineo-García; J.L. Rodríguez-de la O; L. Castro-Espinoza; S. Ruiz-Cruz; A. Márquez-Cervantes y M.A. Gutiérrez-Coronado

DISINFECTION OF ADULT PECAN LEAFLETS, AND *in vitro* CALLOGENESIS INDUCTION

DESINFECCIÓN DE FOLIOLOS DE NOGAL PECANERO ADULTO, E INDUCCIÓN DE CALLOGÉNESIS *in vitro*



Disinfection of adult pecan leaflets, and *in vitro* callogenesis induction**Desinfección de folíolos de nogal pecanero adulto, e inducción de calogénesis *in vitro***

Gándara-Ledezma, V.;
L. Tineo-García;
J.L. Rodríguez-de la O;
L. Castro-Espinoza;
S. Ruiz-Cruz;
A. Márquez-Cervantes
y M.A. Gutiérrez-Coronado

DISINFECTION OF ADULT
PECAN LEAFLETS, AND *in vitro*
CALLOGENESIS
INDUCTION

DESINFECCIÓN DE
FOLIOLOS DE NOGAL
PECANERO ADULTO, E
INDUCCIÓN DE
CALLOGÉNESIS *in vitro*

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 55: 121-144. Enero 2023

DOI:

10.18387/polibotanica.55.9

V. Gándara-Ledezma**L. Tineo-García**

*Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias,
Instituto Tecnológico de Sonora, Unidad Obregón, Campus Náinari,
Av. Antonio Caso 2266, C.P. 85137, Cd. Obregón, Sonora, México.*

J.L. Rodríguez-de la O

*Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5, carretera
México-Texcoco, C.P. 56230, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México.*

L. Castro-Espinoza

*Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente,
Instituto Tecnológico de Sonora, Unidad Obregón, Campus Náinari,
Av. Antonio Caso 2266, C.P. 85137, Cd. Obregón, Sonora, México.*

S. Ruiz-Cruz

*Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos,
Universidad de Sonora, Unidad Hermosillo, Campus Centro, Blvd. Luis Encinas y
Rosales s/n, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México.*

A. Márquez-Cervantes

*Campo Experimental Norman E Borlaug (CENEB)-INIFAP,
kilómetro 12, CP 85028. Cd. Obregón, Sonora.*

M.A. Gutiérrez-Coronado / mgutierrez@itson.edu.mx

*Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias, Instituto Tecnológico de
Sonora, Unidad Obregón, Campus Náinari, Av. Antonio Caso 2266, C.P. 85137, Cd.
Obregón, Sonora, México. Tel. 644 140 04 36*

RESUMEN: Hasta ahora, no existe un protocolo para la micropropagación de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) a partir de explantes de árbol adulto. La contaminación microbiana persistente y el oscurecimiento oxidativo de los tejidos han impedido el éxito de métodos previamente propuestos. Específicamente, el explante de hoja de árbol adulto constituye un punto de partida inexplorado para la regeneración de *C. illinoensis*. Por ello, el objetivo de este estudio fue determinar un método de desinfección y las condiciones de cultivo *in vitro* que inducen una mayor producción de callo en explantes de hoja de árbol adulto de nogal pecanero. Se probaron 5 métodos de desinfección: (1) etanol 70% por 50 s, 1.8-2.7% hipoclorito de sodio con 2 gotas/L de Tween 80 por 50 s, (2) etanol 70% por 2 min, 1.8-2.7% hipoclorito de sodio con 2 gotas/L de Tween 80 por 2 min, (3) etanol 70% por 2 min, 1.8-2.7% hipoclorito de sodio con 2 gotas/L de Tween 80 por 2 min, 1 g/L de carbendazim con 2 gotas/L de Tween 80 por 20 min, (4) etanol 70% por 2 min, 1.8-2.7% hipoclorito de sodio con 2 gotas/L de Tween 80 por 2 min, 8.8 g/L de carbendazim con 2 gotas/L de Tween 80 por 20 min, y (5) etanol 70% por 2 min, 1.8-2.7% hipoclorito de sodio con 2 gotas/L de Tween 80 por 2 min, 1 g/L de procloraz con 2 gotas/L de Tween 80 por 20 min. Además, se probaron 6 diferentes medios de cultivo donde se varió la fuente de carbono (sacarosa, glucosa y maltosa), la inclusión de un antioxidante (AgNO₃ y carbón activado), y la concentración de sales MS (máxima o un tercio de la

concentración máxima). Los explantes fueron incubados durante 50 días; una porción de los explantes fue incubada en la oscuridad y la otra ante un fotoperiodo de 16 h. Asimismo, unos explantes fueron inoculados en orientación abaxial, y otros en orientación adaxial. Se evaluó el oscurecimiento oxidativo de los explantes, el porcentaje de explantes con callo, el peso fresco y seco de los callos, y el porcentaje de explantes contaminados por microorganismos. El menor porcentaje de explantes contaminados se observó en el tratamiento de desinfección que incluyó inmersión en procloraz, además procloraz fue el único fungicida que permitió la callogénesis en el 100% de los explantes tratados. El oscurecimiento en los explantes no aumentó al triplicar la concentración de sales MS. La glucosa redujo significativamente el oscurecimiento de los explantes, pero también disminuyó de manera significativa el porcentaje de explantes con callo, en comparación con lo observado al utilizar sacarosa o maltosa. La orientación adaxial, promovió un mayor porcentaje de explantes con callo, con un peso fresco y seco, así como un porcentaje de humedad superiores. El fotoperiodo impidió la producción de callo, mientras que la incubación en la oscuridad permitió que más del 80% de los explantes produjeran callo. El medio sin antioxidante y el medio con 5 mg/L de nitrato de plata dieron resultados semejantes de oscurecimiento, mientras que 1 g/L de carbón activado dejó los explantes inviables. El presente trabajo propone un método para el establecimiento aséptico y condiciones de cultivo *in vitro* para la iniciación de callos en hojas de nogal pecanero adulto, con resultados reproducibles.

Palabras clave: *Carya illinoensis*, procloraz, carbendazim, callo.

ABSTRACT: Until now, there is no protocol for the micropropagation of pecan trees (*Carya illinoensis*) from explants of adult trees. Persistent microbial contamination and browning of tissues have impeded the success of previously proposed methods. Specifically, the adult tree leaf explant constitutes an unexplored starting point for the regeneration of *C. illinoensis*. Therefore, the objective of this study was to determine a disinfection method and *in vitro* culture conditions that induce greater callus production in adult pecan tree leaf explants. Five disinfection methods were tested: (1) 70% ethanol for 50 s, 1.8-2.7% sodium hypochlorite with 2 drops/L of Tween 80 for 50 s, (2) 70% ethanol for 2 min, 1.8-2.7% sodium hypochlorite with 2 drops/L of Tween 80 for 2 min, (3) 70% ethanol for 2 min, 1.8-2.7% sodium hypochlorite with 2 drops/L of Tween 80 for 2 min, 1 g/L of carbendazim with 2 drops/L of Tween 80 for 20 min, (4) 70% ethanol for 2 min, 1.8-2.7% sodium hypochlorite with 2 drops/L of Tween 80 for 2 min, 8.8 g/L of carbendazim with 2 drops /L of Tween 80 for 20 min, and (5) 70% ethanol for 2 min, 1.8-2.7% sodium hypochlorite with 2 drops/L of Tween 80 for 2 min, 1 g/L of prochloraz with 2 drops/L of Tween 80 for 20 min. In addition, 6 different culture media were tested where the carbon source (sucrose, glucose and maltose), the inclusion of an antioxidant (AgNO₃ and activated carbon), and the concentration of MS salts (maximum or one third of the maximum concentration) were varied. The explants were incubated for 50 days; a portion of the explants was incubated in the dark and the other under a photoperiod of 16 h. Likewise, some explants were inoculated in abaxial orientation, and others in adaxial orientation. The level of browning, the percentage of explants with callus, the fresh and dry weight of the calluses, and the percentage of explants contaminated by microorganisms were evaluated. The lowest percentage of contaminated explants was observed in the disinfection treatment that included immersion in prochloraz, and prochloraz was the only fungicide that allowed callogenesis in 100% of the treated explants. The darkening in the explants did not increase when the concentration of MS salts tripled. Glucose significantly reduced browning, but also significantly decreased the percentage of explants with callus, compared to that observed when using sucrose or maltose. The adaxial orientation promoted a higher percentage of explants with callus, with a fresh and dry weight, as well as a higher moisture percentage. The photoperiod prevented callus production, while incubation in the dark allowed more than 80% of the explants to produce callus in each treatment. The medium without antioxidant and the medium with 5 mg/L of silver nitrate gave similar browning results, while 1 g/L of activated carbon left the explants unviable. The present work proposes a method for the aseptic establishment and *in vitro* culture conditions for callus initiation in leaflets of adult pecan tree, with reproducible results.

Keywords: *Carya illinoensis*, procloraz, carbendazim, callus, calli.

INTRODUCCIÓN

El nogal pecanero (*Carya illinoensis*) forma parte de las juglandáceas, una familia constituida por 9 géneros (*Alfaroa*, *Oreomunnea*, *Carya*, *Juglans*, *Anamocarya*, *Cylocarya*, *Engelhardia*, *Platycarya* y *Pterocarya*), y alrededor de 60 especies (Xiang *et al.*, 2011). Se trata de una especie de árbol valorado principalmente por la nuez que produce (Litz, 2005).

Tomando en cuenta los diferentes tipos de explantes que se pueden utilizar para clonar una planta, la yema es el explante que más reduce el riesgo de variación somaclonal (Abahmane, 2011). Además, la yema apical es el explante más responsivo (Salar *et al.*, 2013). No obstante, el nogal pecanero es una planta recalcitrante al cultivo *in vitro* (Renukdas *et al.*, 2010), entendiéndose por recalcitrancia a la condición por la cual algunas especies vegetales difícilmente logran ser desinfectadas con éxito, conservando la capacidad de generar brotes viables (Benson, 2003).

El tejido vegetal que contiene altas concentraciones de compuestos fenólicos es particularmente recalcitrante al cultivo *in vitro* (Benson, 2000). Un ejemplo de este tipo de compuestos es la naftoquinona juglona, la cual se encuentra en el ruzno, raíces, hojas y corteza de las juglandáceas (Ahmad & Suzuki, 2019). En general, cuando los compuestos fenólicos se oxidan, se producen quinonas las cuales le dan una apariencia oscura al tejido vegetal. Estas quinonas pueden oscurecer el medio de cultivo, y son compuestos altamente reactivos y tóxicos para el tejido vegetal (Titov *et al.*, 2006), por ello pueden retardar el desarrollo del explante o incluso provocar su muerte (Sparjanbabu *et al.*, 2019).

El tejido vegetal puede sintetizar compuestos fenólicos por eventos estresantes como la disección (Das & Srivastav, 2015) o el ataque de un microorganismo patógeno (Shalaby & Horwitz, 2015). El carbón activado adsorbe los compuestos fenólicos segregados por el tejido vegetal, lo cual inactiva a las enzimas polifenol oxidasa y peroxidasa, logrando así la disminución del oscurecimiento del tejido y, con ello, el incremento de la supervivencia de los explantes y la morfogénesis (Pan & van Staden, 1998). Además, el carbón activado es capaz de adsorber bacterias y sus toxinas (Ovington, 2007).

De hecho, el carbón activado absorbe muchas sustancias diferentes, algunas de las cuales se producen durante el autoclavado del medio de cultivo. Un ejemplo de estas sustancias es el 5-hidroximetil-furfural, el cual inhibe el crecimiento vegetal (Thomas, 2008). Otras de las sustancias absorbidas por el carbón activado son liberadas por el tejido vegetal inoculado en el medio, y otras son ingredientes del medio de cultivo (Eymar *et al.*, 2000). Pero el carbón activado tiende adsorber primero las sustancias moderadamente polares, y adsorbe mejor los compuestos aromáticos que los compuestos olefínicos insaturados. De modo que el carbón activado tiene afinidad por los compuestos fenólicos y sus formas oxidadas, así como por las auxinas y citoquininas (Pan & van Staden, 1998).

Por otra parte, el carbón activado altera el pH del medio, lo cual es sumamente importante ya que el pH del medio afecta el crecimiento del tejido vegetal y los procesos morfogénicos, debido a que altera la disponibilidad y el consumo de los nutrientes (Eymar *et al.*, 2000).

Otra forma de controlar la oxidación del tejido es mediante la adición de nitrato de plata (AgNO_3) al medio de cultivo (Huh *et al.*, 2017; Modeste *et al.*, 2017), ya que este compuesto inhibe la acción del etileno (Kumar *et al.*, 2009). El nitrato de plata puede ser añadido al medio en concentraciones variadas que pudieran ir de 1 a 15 mg/L (Abdollahi & Rashidi, 2017; Dhiman *et al.*, 2020; Gammoudi *et al.*, 2019; Huh *et al.*, 2017; Malik *et al.*, 2021; Modeste *et al.*, 2017; Warchoń *et al.*, 2021). Pero este compuesto no sólo reduce la oxidación del tejido vegetal, sino que también puede inducir un incremento en la calogénesis (Gammoudi *et al.*, 2019; Malik *et al.*, 2021; Warchoń *et al.*, 2021), la producción de embriones somáticos (Abdollahi & Rashidi, 2017; Huh *et al.*, 2017; Malik *et al.*, 2021; Warchoń *et al.*, 2021) y la

regeneración de plántulas (Abdollahi & Rashidi, 2017; Malik *et al.*, 2021; Warchoń *et al.*, 2021), y asimismo mejorar la supervivencia de los explantes (Huh *et al.*, 2017). Adicionalmente, se ha demostrado que el nitrato de plata inhibe el crecimiento de hongos fitopatógenos (Dhiman *et al.*, 2020; Krishnaraj *et al.*, 2012).

Aunada a los problemas de oxidación del tejido, la contaminación microbiana ha representado un impedimento para la micropropagación del nogal pecanero. Se ha intentado regenerar esta planta a través del cultivo *in vitro* de yemas de árbol adulto, pero esto no ha sido posible debido a que no se ha logrado erradicar la contaminación de los explantes, o bien, porque la yema no ha sido capaz de continuar su desarrollo hasta la generación de la planta completa *in vitro* (Rodríguez & Wetzstein, 1994).

Los estudios realizados sobre árboles adultos y patrones de nogal pecanero, señalan cuáles son los microorganismos que más afectan a esta especie vegetal. Por ejemplo, se han analizado muestras de árboles de nogal pecanero de 20 años de edad, establecidos en Coahuila, México, y se ha identificado una desatascada incidencia de *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* y *Lasiodiplodia theobromae* (Alvidrez Villarreal *et al.*, 2012). También se ha reportado que la producción de patrones de nogal pecanero en Brasil se ve afectada por la incidencia de infecciones fúngicas, específicamente por hongos del género *Fusarium*, que ocasionan la pudrición de las raíces de las plántulas (Poletto *et al.*, 2020).

Conviene señalar que se ha demostrado que *Fusarium oxysporum* puede ser inhibido de manera efectiva mediante el tratamiento con procloraz (Amini & Sidovich, 2010; Nel *et al.*, 2007; Özer & Köycü, 1998) y carbendazim (Kamdi *et al.*, 2012; Nikam *et al.*, 2007; Poddar *et al.*, 2004).

De hecho, procloraz, benomilo y carbendazim pertenecen a la clase de los benzimidazoles, cuyo mecanismo de acción consiste en inhibir la síntesis de ergosterol en la célula fúngica para interrumpir su metabolismo. Estos fungicidas pueden ser efectivos contra *Fusarium*, *Botrytis*, *Sclerotinia*, *Septoria*, *Ucinula*, *Erysiphe*, entre otros. Sin embargo, los benzimidazoles pueden tener un efecto fitotóxico que se percibe como una disminución de la biomasa de tejido vegetal, y una reducción en el contenido de clorofilas a y b, carotenoides y pigmentos totales (Baibakova *et al.*, 2019).

Por otra parte, no es necesario investigar la manera de eliminar los hongos del nogal, si la materia prima tiene una baja carga microbiana. Por ello, en diversas investigaciones, se ha realizado el cultivo *in vitro* de embriones cigóticos de nogal pecanero (Kumar & Sharma, 2005; Obeidy & Smith, 1993), especialmente semillas inmaduras (Burns & Wetzstein, 1995, 1997; Mathews & Wetzstein, 1993; McGranahan *et al.*, 1993; Payghamzadeha & Kazemitabar, 2010; Rodríguez & Wetzstein, 1994, 1998; Vendrame *et al.*, 1999; Wetzstein *et al.*, 1989; Wetzstein *et al.*, 1990). Además, los embriones cigóticos, al estar compuestos por tejidos jóvenes, tienen un mayor potencial para la embriogénesis y la organogénesis, que los tejidos maduros y diferenciados (Elhiti & Stasolla, 2011).

No obstante, se debe tener en cuenta que cada semilla tiene una carga genética única (Coyle, 2004). En el caso de *Carya illinoensis*, se trata de una especie que se reproduce por polinización cruzada (Thompson & Conner, 2011), y se sabe que las semillas presentan aún mayor diversidad genética cuando la planta se propaga de este modo (Pooja, 2004). Por lo tanto, al realizar el cultivo *in vitro* de una semilla, se obtienen clones de una planta con características fenotípicas impredecibles.

Lo anterior denota el interés por trabajar con tejido adulto de nogal para su micropropagación. Y, una vez que se haya superado el establecimiento aséptico, se deben contemplar otros parámetros que pueden optimizar el cultivo, como la fuente de carbono y la concentración de sales minerales en el medio de cultivo. En cultivo de tejidos vegetales, se puede probar la suplementación del medio con diversos hidratos de carbono, sin embargo, la sacarosa es el

estándar. Pero también es común adicionar el medio con los monosacáridos glucosa, fructosa, galactosa, manosa, arabinosa, ribosa y xilosa; los disacáridos maltosa, lactosa, celobiosa y trehalosa; y el trisacárido rafinosa. Por si fuera poco, se han obtenido resultados positivos cultivando tejidos en medio suplementado con polioles, también llamados azúcares de alcohol; ejemplos de estas fuentes de carbono son el sorbitol, el glicerol y el manitol (Yaseen *et al.*, 2013).

El explante de hoja de árbol adulto constituye un punto de partida inexplorado para la regeneración de *C. illinoensis*. Por ello, el objetivo de este estudio fue determinar un método de desinfección y las condiciones de cultivo *in vitro* que inducen una mayor producción de callo en explantes de hoja de árbol adulto de nogal pecanero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Se recolectaron hojas completas de árboles de nogal pecanero de 16 años de edad, de la cv. 'Wichita', provenientes de un huerto de 50 ha, ubicado en el bloque 1010 del Valle del Yaqui (Cd. Obregón, Sonora, México), con coordenadas 27°20'23.26"N y 109° 55'42.83"O. Las recolecciones se realizaron durante la mañana, en abril, mayo, junio y agosto de 2021. Inmediatamente después del corte de cada hoja, se aplicó solución de 25 g/L de sulfato cúprico en la zona de corte del peciolo, y se pulverizó la superficie de la hoja con solución antioxidante de ácido ascórbico (0.125 g/L) y ácido cítrico (0.075 g/L).

Selección de foliolos

Durante la selección de los foliolos, se descartaron aquellos que presentaban lesiones causadas por la incidencia de luz solar o mordeduras de insectos, así como los foliolos contaminados por excremento de aves. Y únicamente se trabajó con foliolos apicales.

Desinfección del tejido vegetal

Se hicieron tres réplicas de desinfección para cada tratamiento. Para cada réplica, se pesaron aproximadamente 3 g de foliolos enteros, después éstos fueron desinfectados mediante inmersión consecutiva en una serie de soluciones desinfectantes y agua, en agitación constante a 100 rpm. Se utilizaron 200 mL de cada solución desinfectante por cada 3 g de tejido tratado; en el caso de que el tejido pesara más o menos de tres gramos, se hizo el cálculo del volumen requerido. El orden de las soluciones y los tiempos de inmersión considerados en los tratamientos de desinfección aparecen en la tabla 1. Al final de la desinfección, los foliolos fueron sumergidos en solución 0.25 g/L de ácido ascórbico y 0.15 g/L de ácido cítrico durante 12 h.

Tabla 1. Tratamientos de desinfección de explantes de hoja de nogal pecanero.

Tratamiento	Tiempo de inmersión						
	Etanol al 70%	Solución al 1.8-2.7% de hipoclorito de sodio, con 2 gotas por litro de Tween 80	Agua	Solución al 0.2% de Procloraz, con 2 gotas por litro de Tween 80	Solución de 8.8 g/l de Carbendazim, con 2 gotas por litro de Tween 80	Solución de 1 g/l de Carbendazim, con 2 gotas por litro de Tween 80	Agua
HD1	50 s	50 s	(1 min) x 4	-	-	-	-
HD2	2 min	2 min	(1 min) x 4	-	-	-	-
Velbistin	2 min	2 min	(1 min) x 4	-	-	20 min	(1 min) x 4

Ultralite	2 min	2 min	(1 min) x 4	-	20 min	-	-
HD4	2 min	2 min	(1 min) x 4	20 min	-	-	(1 min) x 4

El orden de la secuencia de inmersiones va de izquierda a derecha

Descripción del explante y medio de cultivo

Los folíolos desinfectados fueron disectados en campana de flujo laminar. A partir de cada réplica de ≈ 3 g de hoja, se obtuvieron 15 explantes ($n=15$) cortados bajo un molde de aluminio estéril de 1 cm^2 , los cuales fueron sembrados individualmente, en frascos con 10 ml de medio de cultivo con las composiciones descritas en la tabla 2.

Tabla 2. Composición de medios de cultivo probados para la inducción de la callogénesis en explantes de hoja de nogal pecanero.

Tratamiento	Fuente de carbono (30 g/L)	Antioxidante	Concentración de sales de Murashige y Skoog M6899 Sigma (g/L)
Estándar	Sacarosa	-	1.46
AgNO ₃	Sacarosa	AgNO ₃ (5 mg/L)	1.46
CA	Sacarosa	Carbón activado (1 g/L)	1.46
MS+	Sacarosa	-	4.4
Glucosa	Glucosa	-	1.46
Maltosa	Maltosa	-	1.46

En todos los tratamientos se incluyó 1 mg/L de ácido 2,4-diclorofenoxiacético, y 7.5 g/L de agar bacteriológico. Antes de autoclavar el medio, el pH fue ajustado a 5.7 con HCl 1 N ó NaOH 1 N, según el requerimiento.

Desarrollo del cultivo

Los explantes cultivados fueron incubados por 50 días, a 25°C, expuestos a dos tratamientos luminosos: (1) oscuridad continua y (2) fotoperiodo de 16 horas de luz blanca y 8 h de oscuridad. Además, se probaron dos posiciones de inóculo: (1) cara adaxial (haz) en contacto con el medio de cultivo y (2) cara abaxial (envés) en contacto con el medio de cultivo. Durante la incubación se realizaron examinaciones visuales periódicas, cada 10 días a partir de la siembra, para contabilizar los explantes contaminados y los explantes con callo, y para evaluar el nivel de oscurecimiento de cada explante.

Cálculo del índice de oscurecimiento

La incidencia de oxidación en los explantes de hoja se evaluó asignando un nivel de oscurecimiento a cada explante, considerando su apariencia (tabla 3). Después de evaluar el nivel de oscurecimiento de cada explante, se calculó el índice de oscurecimiento, utilizando la ecuación 1.

Tabla 3. Descripción de los niveles de oscurecimiento en explantes de hoja.

Nivel de oxidación	Características del explante
0	Coloración verde saludable en toda la superficie del explante
1	Coloración verde saludable en toda la superficie del explante, excepto por la presencia de una pequeña mancha de tejido oxidado
2	Explante con coloración verde-marrón en toda su superficie
3	Explante verde de tonalidad oscura. También reciben esta puntuación los explantes con presencia de

grandes manchas de color marrón

$$\text{Índice de oscurecimiento} = \frac{\text{Nivel de oscurecimiento}}{15 - (\text{Número de explantes contaminados})} \quad (1)$$

Peso del callo

Al finalizar el periodo de incubación, se seleccionaron al azar 5 explantes con callo, de 3 réplicas, de cada tratamiento (en total 3x5=15 explantes por tratamiento). Luego, los callos fueron raspados y colocados en cajas de Petri en peso constante. Se anotó el peso fresco de cada callo, y a continuación los callos fueron secados a 60 °C durante 24 h (Golkar *et al.*, 2019). Enseguida, el material se dejó enfriar en un desecador, para posteriormente ser pesado. Después, se calculó el peso seco del callo y su porcentaje de humedad.

Adicionalmente, se seleccionaron 7 explantes con callo blanco, 7 explantes con callo marrón y 7 explantes con callo amarillo, para hacer la determinación del peso fresco y seco de cada tipo de callo, y calcular su porcentaje de humedad.

Análisis estadístico

El análisis de varianza de los datos se realizó en el paquete estadístico IBM® SPSS® Statistics, versión 22 (Chicago, IL, EUA). Las medias de índice de oscurecimiento, porcentaje de explantes contaminados, porcentaje de explantes con callos, peso fresco, peso seco y porcentaje de humedad de los callos, fueron comparadas mediante las pruebas de rango múltiple de Duncan y Tukey, según lo especificado en cada tabla de resultados.

RESULTADOS

En la tabla 4 se muestra la evolución del índice de oxidación calculado para los explantes sometidos a los diferentes tratamientos probados. Al pasar 10 días de incubación, se observaron índices de oxidación nulos e incluso índices de oxidación de hasta 2.79; aunque fue más común encontrar índices de oxidación por encima de 2.5 a los 50 días de incubación.

Tabla 4. Índice de oscurecimiento en explantes de hoja al transcurrir el tiempo de incubación.

Desinfección	Medio de cultivo	Orientación	Luz/Oscuridad	Fechas de siembra	Índice de oscurecimiento				
					10 días	20 días	30 días	40 días	50 días
HD1	Estándar	Adaxial	Oscuridad	21/04/2021	1.64 ± 0.40 ^{a, b, c}	1.99 ± 0.46 ^{a, b, c, d}	2.49 ± 0.38 ^{c, f, g}	2.82 ± 0.10 ^{c, f}	2.84 ± 0.14 ^f
HD1	Estándar	Adaxial	Oscuridad	26/06/2021	0.07 ± 0.12 ^a	0.24 ± 0.10 ^a	1.09 ± 0.47 ^{a, b, c, d, e}	2.23 ± 0.45 ^{d, e, f}	2.52 ± 0.24 ^{d, e, f}
HD2	Estándar	Adaxial	Oscuridad	22/04/2021	0.93 ± 0.96 ^{a, b}	2.28 ± 0.24 ^{b, c, d}	2.29 ± 0.32 ^{d, e, f, g}	2.62 ± 0.04 ^{d, e, f}	2.67 ± 0.12 ^{e, f}
Velbistin	Estándar	Adaxial	Oscuridad	26/04/2021	1.61 ± 0.47 ^{a, b, c}	2.60 ± 0.24 ^d	2.80 ± 0.20 ^g	2.87 ± 0.12 ^{c, f}	2.87 ± 0.12 ^f
Ultralite	Estándar	Adaxial	Oscuridad	27/05/2021 30/05/2021 03/06/2021	0.04 ± 0.08 ^a	0.66 ± 0.75 ^{a, b, c}	0.99 ± 0.71 ^{a, b, c, d}	1.80 ± 0.53 ^{b, c, d, e}	2.27 ± 0.42 ^{d, e, f}
Procloraz	Estándar	Adaxial	Oscuridad	26/04/2021	0.98 ± 0.54 ^{a, b, c}	1.09 ± 1.25 ^{a, b, c, d}	2.87 ± 0.13 ^g	2.98 ± 0.04 ^f	3.00 ± 0.00 ^f
Ultralite	CA	Adaxial	Oscuridad	16/06/2021	2.30 ± 0.67 ^{b, c}	1.44 ± 0.76 ^{a, b, c, d}	0.76 ± 0.37 ^{a, b, c}	0.58 ± 0.43 ^a	0.60 ± 0.13 ^{a, b}
Ultralite	AgNO ₃	Adaxial	Oscuridad	01/06/2021 30/05/2021	0.68 ± 0.18 ^{a, b}	0.91 ± 0.54 ^{a, b, c, d}	1.31 ± 0.77 ^{a, b, c, d, e, f}	2.02 ± 0.20 ^{c, d, e, f}	2.38 ± 0.21 ^{d, e, f}
Velbistin	Glucosa	Adaxial	Oscuridad	07/05/2021 18/05/2021	0.00 ± 0.00 ^a	0.77 ± 0.42 ^{a, b, c, d}	0.77 ± 0.40 ^{a, b, c}	1.13 ± 0.53 ^{a, b, c}	1.16 ± 0.52 ^{a, b, c}
Ultralite	Glucosa	Adaxial	Oscuridad	09/06/2021 27/05/2021	0.75 ± 0.23 ^{a, b}	0.66 ± 0.18 ^{a, b, c}	0.67 ± 0.12 ^{a, b}	0.89 ± 0.14 ^{a, b}	1.78 ± 0.34 ^{c, d, e}
Velbistin	Maltosa	Adaxial	Oscuridad	07/05/2021 18/05/2021	0.42 ± 0.33 ^a	1.58 ± 0.50 ^{a, b, c, d}	1.78 ± 0.77 ^{a, b, c, d, e, f, g}	2.36 ± 0.49 ^{d, e, f}	2.40 ± 0.55 ^{d, e, f}
Ultralite	Maltosa	Adaxial	Oscuridad	27/05/2021	1.07 ± 0.78 ^{a, b, c}	1.29 ± 0.56 ^{a, b, c, d}	1.93 ± 0.07 ^{b, c, d, e, f, g}	2.38 ± 0.37 ^{d, e, f}	2.58 ± 0.33 ^{e, f}

				03/06/2021					
Velbistin	MS+	Adaxial	Oscuridad	18/05/2021 27/05/2021	0.52 ± 0.36 ^{ab}	2.25 ± 0.50 ^{b, c, d}	2.73 ± 0.11 ^{f, g}	2.67 ± 0.12 ^{d, e, f}	2.67 ± 0.12 ^{c, f}
Ultralite	Estándar	Adaxial	Luz	27/05/2021	0.67 ± 1.04 ^{ab}	1.24 ± 0.95 ^{a, b, c, d}	2.13 ± 0.60 ^{c, d, e, f, g}	2.44 ± 0.28 ^{d, e, f}	2.84 ± 0.14 ^f
Velbistin	Estándar	Abaxial	Oscuridad	04/05/2021	0.36 ± 0.50 ^a	0.44 ± 0.48 ^{a, b}	0.47 ± 0.46 ^a	0.47 ± 0.46 ^a	0.50 ± 0.50 ^a
HD1	Estándar	Adaxial	Oscuridad	20/08/2021	1.51 ± 1.34 ^{a, b, c}	1.06 ± 0.83 ^{a, b, c, d}	1.63 ± 0.72 ^{a, b, c, d, e, f, g}	1.68 ± 0.42 ^{b, c, d}	1.58 ± 0.40 ^{b, c, d}
HD3	Estándar	Adaxial	Oscuridad	21/08/2021	2.79 ± 0.17 ^c	2.47 ± 0.42 ^{c, d}	2.51 ± 0.54 ^{c, e, f, g}	2.40 ± 0.53 ^{d, e, f}	2.33 ± 0.46 ^{d, e, f}

Los datos son la media del índice de oscurecimiento, observado en 3 réplicas de desinfección-siembr. Los tratamientos fueron una combinación de fungicida utilizado durante la desinfección de foliolos, y fotoperiodo empleado durante la incubación de los explantes. Los distintos superíndices indican diferencias significativas entre medias de la misma columna, según la prueba de Duncan (ANOVA de una vía, P<0.05). ± señala la desviación estándar de n=15 (15 explantes por cada una de las 3 réplicas).

La tabla 5 señala la proporción de explantes contaminados por microorganismos, en cada tratamiento. El número total de explantes contaminados es predominantemente el resultado de la interacción del tratamiento de desinfección probado y la fecha de siembra del explante.

Tabla 5. Porcentaje de explantes de hoja visiblemente contaminados por microorganismos, al transcurrir el tiempo de incubación.

Desinfección	Medio de cultivo	Orientación	Luz/Oscuridad	Fechas de siembra	Porcentaje de explantes visiblemente contaminados					Porcentaje total de explantes contaminados
					10 días	20 días	30 días	40 días	50 días	
HD1	Estándar	Adaxial	Oscuridad	21/04/2021	0.00 ± 0.00 ^a	4.44 ± 3.85 ^b	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00 ^a	4.44 ± 3.85 ^a
HD1	Estándar	Adaxial	Oscuridad	26/06/2021	4.44 ± 3.85 ^{a, b}	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	2.22 ± 3.85	2.22 ± 3.85 ^b	8.89 ± 3.85 ^a
HD2	Estándar	Adaxial	Oscuridad	22/04/2021	8.89 ± 3.85 ^{a, b}	11.11 ± 3.85	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00 ^a	20.00 ± 6.67 ^{a, b}
Velbistin	Estándar	Adaxial	Oscuridad	26/04/2021	4.44 ± 3.85 ^{a, b}	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00 ^a	4.44 ± 3.85 ^a
Ultralite	Estándar	Adaxial	Oscuridad	27/05/2021 30/05/2021 03/06/2021	0.00 ± 0.00 ^a	2.22 ± 3.85	4.44 ± 7.70	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00 ^a	6.67 ± 6.67 ^a
Procloraz	Estándar	Adaxial	Oscuridad	26/04/2021	0.00 ± 0.00 ^a	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00 ^a	0.00 ± 0.00 ^a
Ultralite	CA	Adaxial	Oscuridad	16/06/2021	4.44 ± 3.85 ^{a, b}	13.33 ± 13.33	2.22 ± 3.85	4.44 ± 7.70	0.00 ± 0.00 ^a	24.44 ± 10.18 ^{a, b}
Ultralite	AgNO ₃	Adaxial	Oscuridad	01/06/2021 30/05/2021	2.22 ± 3.85 ^a	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00 ^a	2.22 ± 3.85 ^a
Velbistin	Glucosa	Adaxial	Oscuridad	07/05/2021 18/05/2021	6.67 ± 6.67 ^{a, b}	4.44 ± 7.70	2.22 ± 3.85	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00 ^a	13.33 ± 11.55 ^a
Ultralite	Glucosa	Adaxial	Oscuridad	09/06/2021 27/05/2021	22.22 ± 10.18 ^{b, c}	2.22 ± 3.85	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00 ^a	24.44 ± 10.18 ^{a, b}
Velbistin	Maltosa	Adaxial	Oscuridad	07/05/2021 18/05/2021	0.00 ± 0.00 ^a	2.22 ± 3.85	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00 ^a	2.22 ± 3.85 ^a
Ultralite	Maltosa	Adaxial	Oscuridad	27/05/2021 03/06/2021	8.89 ± 10.18 ^{a, b}	2.22 ± 3.85	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00 ^a	11.11 ± 13.88 ^a
Velbistin	MS+	Adaxial	Oscuridad	18/05/2021 27/05/2021	4.44 ± 3.85 ^{a, b}	4.44 ± 7.70	2.22 ± 3.85	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00 ^a	11.11 ± 3.85 ^a
Ultralite	Estándar	Adaxial	Luz	27/05/2021	2.22 ± 3.85 ^a	0.00 ± 0.00	2.22 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	4.44 ± 3.85 ^a

							3.85	0.00	0.00 ^a	
Velbistin	Estándar	Abaxial	Oscuridad	04/05/2021	0.00 ± 0.00 ^a	2.22 ± 3.85	2.22 ± 3.85	4.44 ± 3.85	4.44 ± 3.85 ^b	13.33 ± 13.33 ^a
HD1	Estándar	Adaxial	Oscuridad	20/08/2021	31.11 ± 10.18 ^c	6.67 ± 6.67	4.44 ± 7.70	4.44 ± 7.70	0.00 ± 0.00 ^a	46.67 ± 13.33 ^b
HD3	Estándar	Adaxial	Oscuridad	21/08/2021	17.78 ± 13.88 ^{a, b,c}	0.00 ± 0.00	4.44 ± 3.85	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00 ^a	22.22 ± 15.40 ^{a,b}

Los datos son la media del número de explantes contaminados, observado en 3 réplicas de desinfección-siembra. Los tratamientos fueron una combinación de fungicida utilizado durante la desinfección de foliolos, y fotoperiodo empleado durante la incubación de los explantes. ± señala la desviación estándar de n=15 (15 explantes por cada una de las 3 réplicas). Los distintos superíndices indican diferencias significativas entre medias de la misma columna, según la prueba de Duncan (ANOVA de una vía, P<0.05).

Los resultados de callogénesis se presentan en la tabla 6. Se observa que únicamente los explantes inoculados en medio adicionado con nitrato de plata empezaron a producir callo habiendo transcurrido tan sólo 10 días de incubación. En la mayoría de los tratamientos, la respuesta callogénica empezó a manifestarse a los 20 días de incubación.

Tabla 6. Porcentaje de explantes de hoja con callo, al transcurrir el tiempo de incubación.

Desinfección	Medio de cultivo	Orientación	Luz/Oscuridad	Fechas de siembra	Porcentaje de explantes con callo				
					10 días	20 días	30 días	40 días	50 días
HD1	Estándar	Adaxial	Oscuridad	21/04/2021	0.00 ± 0.00 ^b	73.33 ± 6.67 ^{a,b,c}	100.00 ± 0.00 ^a	100.00 ± 0.00 ^a	100.00 ± 0.00 ^a
HD1	Estándar	Adaxial	Oscuridad	26/06/2021	0.00 ± 0.00 ^b	62.22 ± 42.86 ^{a,b,c,d}	91.11 ± 3.85 ^{a,b}	95.56 ± 3.85 ^{a,b}	91.11 ± 3.85 ^{a,b}
HD2	Estándar	Adaxial	Oscuridad	22/04/2021	0.00 ± 0.00 ^b	68.89 ± 13.88 ^{a,b,c}	84.44 ± 10.18 ^{a,b,c}	88.89 ± 3.85 ^{a,b}	88.89 ± 3.85 ^{a,b}
HD3 (Velbistin)	Estándar	Adaxial	Oscuridad	26/04/2021	0.00 ± 0.00 ^b	95.56 ± 3.85 ^a	95.56 ± 3.85 ^a	95.56 ± 3.85 ^{a,b}	95.56 ± 3.85 ^a
HD3 (Ultralite)	Estándar	Adaxial	Oscuridad	27/05/2021 30/05/2021 03/06/2021	0.00 ± 0.00 ^b	60.00 ± 52.92 ^{a,b,c,d}	97.78 ± 3.85 ^a	93.33 ± 6.67 ^{a,b}	91.11 ± 3.85 ^{a,b}
HD4	Estándar	Adaxial	Oscuridad	26/04/2021	0.00 ± 0.00 ^b	86.67 ± 6.67 ^{a,b}	100.00 ± 0.00 ^a	100.00 ± 0.00 ^a	100.00 ± 0.00 ^a
Ultralite	CA	Adaxial	Oscuridad	16/06/2021	0.00 ± 0.00 ^b	0.00 ± 0.00 ^d	0.00 ± 0.00 ^c	0.00 ± 0.00 ^f	0.00 ± 0.00 ^e
Ultralite	AgNO ₃	Adaxial	Oscuridad	01/06/2021 30/05/2021	37.78 ± 37.91 ^a	73.33 ± 23.09 ^{a,b,c}	82.22 ± 7.70 ^{a,b,c,d}	86.67 ± 11.55 ^{a,b}	86.67 ± 11.55 ^{a,b}
Velbistin	Glucosa	Adaxial	Oscuridad	07/05/2021 18/05/2021	0.00 ± 0.00 ^b	84.44 ± 3.85 ^{a,b}	80.00 ± 6.67 ^{a,b,c,d}	84.44 ± 7.70 ^{a,b}	84.44 ± 7.70 ^{a,b}
Ultralite	Glucosa	Adaxial	Oscuridad	09/06/2021 27/05/2021	0.00 ± 0.00 ^b	13.33 ± 11.55 ^{c,d}	44.44 ± 10.18 ^{c,d,e}	53.33 ± 6.67 ^{c,d,e}	55.56 ± 7.70 ^{c,d}
Velbistin	Maltosa	Adaxial	Oscuridad	07/05/2021 18/05/2021	0.00 ± 0.00 ^b	0.00 ± 0.00 ^d	55.56 ± 48.23 ^{a,b,c,d}	80.00 ± 17.64 ^{a,b,c}	86.67 ± 6.67 ^{a,b}
Ultralite	Maltosa	Adaxial	Oscuridad	27/05/2021 03/06/2021	0.00 ± 0.00 ^b	44.44 ± 26.94 ^{a,b,c,d}	77.78 ± 20.37 ^{a,b,c,d}	86.67 ± 17.64 ^{a,b}	88.89 ± 13.88 ^{a,b}
Velbistin	MS+	Adaxial	Oscuridad	18/05/2021 27/05/2021	2.22 ± 3.85 ^b	71.11 ± 27.76 ^{a,b,c}	86.67 ± 6.67 ^{a,b,c}	88.89 ± 3.85 ^{a,b}	88.89 ± 3.85 ^{a,b}
Ultralite	Estándar	Adaxial	Luz	27/05/2021	0.00 ± 0.00 ^b	0.00 ± 0.00 ^d	0.00 ± 0.00 ^c	0.00 ± 0.00 ^f	0.00 ± 0.00 ^e
Velbistin	Estándar	Abaxial	Oscuridad	04/05/2021	0.00 ± 0.00 ^b	40.00 ± 6.67 ^{a,b,c,d}	66.67 ± 13.33 ^{a,b,c}	68.89 ± 16.78 ^{b,c,d}	68.89 ± 16.78 ^{b,c}

							^d		
HD1	Estándar	Adaxial	Oscuridad	20/08/2021	0.00 ± 0.00 ^b	28.89 ± 16.78 ^{b,c,d}	46.67 ± 13.33 ^{b,c,d}	44.44 ± 10.18 ^{d,e}	40.00 ± 6.67 ^d
HD3	Estándar	Adaxial	Oscuridad	21/08/2021	0.00 ± 0.00 ^b	13.33 ± 13.33 ^{c,d}	37.78 ± 16.78 ^{d,c}	40.00 ± 13.33 ^c	40.00 ± 13.33 ^d

Los datos son la media del número de explantes con callo, observado en 3 réplicas de desinfección-siembra. Los tratamientos fueron una combinación de fungicida utilizado durante la desinfección de foliolos, y fotoperiodo empleado durante la incubación de los explantes. ± señala la desviación estándar de n=15 (15 explantes por cada una de las 3 réplicas). Los distintos superíndices indican diferencias significativas entre medias de la misma columna, según la prueba de Duncan (ANOVA de una vía, P<0.05).

Los callos generados en todos los tratamientos fueron clasificados de acuerdo a su color, y se procedió a realizar el análisis destructivo de su peso fresco y seco. El promedio de los pesos de los callos y sus porcentajes de humedad se encuentran en la tabla 7.

Tabla 7. Peso fresco y seco, y porcentaje de humedad de callos, según su color.

Color del callo	Peso fresco	Peso seco	% de humedad del callo fresco
Blanco	0.0106 ± 0.002 ^c	0.0019 ± 0.0015 ^c	79.58 ± 8.30 ^b
CV	0.87	0.81	0.10
Marrón	0.1128 ± 0.0127 ^a	0.0118 ± 0.0012 ^a	89.52 ± 0.87 ^a
CV	0.11	0.10	0.01
Amarillo	0.0352 ± 0.0219 ^b	0.0049 ± 0.0026 ^b	83.66 ± 5.33 ^{a,b}
CV	0.62	0.52	0.06

Los datos son los promedios del peso fresco y seco, así como del porcentaje de humedad de los callos, observados en siete explantes con callo de la misma coloración (n=7). ± señala la desviación estándar. Los distintos superíndices indican diferencias significativas entre medias de la misma columna, según las pruebas de Duncan y Tukey (ANOVA de una vía, P<0.05).

Finalmente, para cuantificar la producción de callo, se evaluó el peso fresco y seco, así como el porcentaje de humedad de los callos, según el tratamiento recibido por el explante. Los resultados de estas evaluaciones se muestran en la tabla 8. Se observa que los explantes responsivos, presentaron callos con un peso fresco promedio dentro del rango de 6 a 81 mg, con un peso seco de 1 a 7.3 mg, y un porcentaje de humedad de 67.68 a 90.30 %.

Tabla 8. Peso fresco y seco del callo, y porcentaje de humedad del callo fresco, correspondiente a los tratamientos de desinfección, adición de antioxidantes en el medio de cultivo, modificación de fuente de carbono y concentración de sales MS, incubación con fotoperiodo, así como cultivo con cara abaxial en contacto con el medio de cultivo.

Desinfección	Medio de cultivo	Orientación	Luz/Oscuridad	Desinfección	Peso fresco del callo	Peso seco del callo	% de humedad del callo fresco
HD1	Estándar	Adaxial	Oscuridad	21/04/2021	0.0514 ± 0.0276 ^{a,b,c}	0.0063 ± 0.0005 ^{a,b}	84.9000 ± 7.4958 ^{a,b}
HD1	Estándar	Adaxial	Oscuridad	26/06/2021	0.0232 ± 0.0073 ^{c,d,e}	0.0036 ± 0.0006 ^{b,c,d}	83.4100 ± 2.6000 ^{a,b,c}
HD2	Estándar	Adaxial	Oscuridad	22/04/2021	0.0810 ± 0.0121 ^a	0.0073 ± 0.0007 ^a	90.3000 ± 1.5279 ^a
Velbistin	Estándar	Adaxial	Oscuridad	26/04/2021	0.0746 ±	0.0067 ±	88.5366 ± 5.5176 ^a

					0.0466 ^{a,b}	0.0027 ^a	
Ultralite	Estándar	Adaxial	Oscuridad	27/05/2021, 30/05/2021, 03/06/2021	0.0186 ± 0.0068 ^{c,d,e}	0.0031 ± 0.0009 ^{c,d}	81.9466 ± 3.0978 ^{a,b,c,d}
HD4	Estándar	Adaxial	Oscuridad	26/04/2021	0.0317 ± 0.0172 ^{c,d,e}	0.0069 ± 0.0035 ^a	75.9066 ± 3.0978 ^{a,b,c,d} _c
Ultralite	CA	Adaxial	Oscuridad	16/06/2021	0.0000 ± 0.0000 ^c	0.0000 ± 0.0000 ^c	0.0000 ± 0.0000 ^f
Ultralite	AgNO ₃	Adaxial	Oscuridad	01/06/2021, 30/05/2021	0.0102 ± 0.0018 ^c	0.0025 ± 0.0004 ^{c,d,e}	73.7066 ± 4.1282 ^{d,e}
Velbistin	Glucosa	Adaxial	Oscuridad	18/05/2021, 07/06/2021	0.0102 ± 0.0015 ^c	0.0018 ± 0.0005 ^{d,e}	81.1566 ± 5.4095 ^{a,b,c,d}
Ultralite	Glucosa	Adaxial	Oscuridad	27/05/2021, 09/06/2021	0.0041 ± 0.0011 ^c	0.0010 ± 0.0002 ^{d,e}	74.2900 ± 8.7200 ^{c,d,e}
Velbistin	Maltosa	Adaxial	Oscuridad	07/05/2021, 18/05/2021	0.0108 ± 0.0048 ^c	0.0019 ± 0.0007 ^{d,e}	77.3100 ± 6.9247 ^{b,c,d}
Velbistin	MS+	Adaxial	Oscuridad	18/05/2021	0.0125 ± 0.0011 ^{d,e}	0.0016 ± 0.0005 ^{d,e}	86.9266 ± 3.0842 ^a
Velbistin	MS+	Adaxial	Oscuridad	21/05/2021	0.0459 ± 0.0373 ^{b,c,d}	0.0052 ± 0.0035 ^{a,b,c}	87.2466 ± 2.2990 ^a
Fotoperiodo	Estándar	Adaxial	Luz	27/05/2021	0.0000 ± 0.0000 ^c	0.0000 ± 0.0000 ^c	0.0000 ± 0.0000 ^f
Velbistin	Estándar	Abaxial	Oscuridad	04/05/2021	0.0063 ± 0.0022 ^c	0.0017 ± 0.0004 ^{d,e}	67.6853 ± 8.3582 ^e

Los datos son los promedios del peso fresco y seco, así como del porcentaje de humedad de los callos frescos, observados en 3 réplicas de 5 callos cada una. ± señala la desviación estándar de n=5. Los distintos superíndices indican diferencias significativas entre medias de la misma columna, según la prueba de Duncan (ANOVA de una vía, P<0.05)

DISCUSIÓN

Desinfección de explantes

El menor porcentaje de explantes contaminados se observó en el tratamiento de desinfección que incluyó inmersión en procloraz. En otra investigación también se comprobó que procloraz puede ser más efectivo que carbendazim en la eliminación de hongos. En dicho estudio, se probó el efecto inhibitorio de la combinación de tres pares diferentes de fungicidas, y 7 fungicidas individuales, en tres concentraciones distintas (1 ppm, 10 ppm, 100 ppm) sobre *Fusarium acutatum* y *Fusarium oxysporum*. Se observó que tanto carbendazim como procloraz inhibieron significativamente el crecimiento de la colonia de *Fusarium acutatum*, sin embargo, procloraz tuvo un efecto inhibitorio significativamente superior al de carbendazim, y al de la mayoría de los tratamientos probados. Además, en las pruebas contra *Fusarium oxysporum*, procloraz fue el único fungicida que logró inhibir por completo el crecimiento de la colonia del hongo (Degani & Kalman, 2021).

Por si fuera poco, en la presente investigación, no hubo diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de explantes con callo según el método de desinfección, pero procloraz fue el único fungicida que permitió la callogénesis en el 100% de los explantes tratados.

Por otra parte, los folíolos desinfectados en abril, sin la aplicación de fungicidas, dieron mejores resultados de callogénesis y de contaminación microbiana, que los folíolos desinfectados en mayo, junio y agosto, con o sin aplicación de fungicidas. Teniendo en consideración que *C. illinoensis* es un árbol caducifolio (Benucci *et al.*, 2012), y que sus hojas comienzan a formarse a mediados de marzo, es posible que el tratamiento de desinfección planteado haya

sido altamente efectivo en abril debido a que las hojas tratadas eran jóvenes, y habían estado menos expuestas a precipitaciones y otras fuentes de contaminación. Se sabe que el agua de lluvia puede recolectarse en la superficie de las plantas y propiciar un ambiente ideal para el desarrollo de microorganismos (Babaei *et al.*, 2013).

Por otra parte, la humedad atmosférica generalmente es el factor ambiental más determinante para la severidad de la contaminación fúngica en las plantas. Los hongos que son transmitidos a través del aire, infectan las plantas con mayor facilidad cuando la temperatura ambiental es de 15-40 °C. Asimismo, el crecimiento de hongos se ve favorecido por la humedad elevada y temperaturas moderadas, por otra parte, la baja humedad, así como las temperaturas extremas, inhiben el crecimiento del hongo y la germinación de esporas (Talley *et al.*, 2002).

En la presente investigación, los folíolos desinfectados en agosto, fueron los más afectados por la presencia de contaminación fúngica. Esta situación puede deberse a que agosto es el mes más cálido y húmedo del verano. Por ejemplo, en la primavera y verano de 2015, en el Valle del Yaqui, se registraron los siguientes promedios de temperatura diurna y temperatura nocturna: 29 °C y 17 °C en abril, 33 °C y 19 °C en mayo, 35 °C y 27 °C en junio, y 35 °C y 29 °C en julio y agosto. Asimismo, se reportaron los siguientes promedios de porcentaje de humedad relativa diurna y humedad relativa nocturna: 35 y 75 en abril, 20 y 57 en mayo, 35 y 62 en junio, 45 y 67 en julio, y 55 y 77 en agosto (Leyva Corona *et al.*, 2015).

Se puede afirmar que, conforme avanza la temporada, se reduce el potencial de los folíolos como fuente de explantes, y se desaconseja desinfectar folíolos de nogal pecanero adulto en agosto porque el tejido presenta oscurecimiento oxidativo desde el momento de su recolección, el cual se intensifica drásticamente tras la desinfección, con o sin aplicación de fungicida, dejando la totalidad de la superficie del folíolo severamente oscurecida e inviable.

Concentración de sales de Murashige y Skoog

Los resultados del presente estudio indican que el oscurecimiento en los explantes de hoja de nogal pecanero no aumenta al triplicar la concentración de sales de Murashige y Skoog, aun comparando explantes sembrados en abril (el mes en el que las hojas se encuentran más vigorosas) en medio adicionado con 1.46 g/L de sales MS, contra explantes sembrados en mayo en medio adicionado con 4.4 g/L de sales MS.

En otras investigaciones, sí se ha observado un cambio significativo en el oscurecimiento del tejido al alterar la concentración de sales MS en el medio de cultivo. Por ejemplo, Elmaataoui *et al.* (2020) cultivaron explantes de yemas adventicias de palma datilera en medios adicionados con 1/2 de la concentración basal de sales MS, y 1/3 de la concentración basal de sales MS, y comprobaron que los medios preparados con 1/2 de la concentración basal de sales MS provocaron un mayor porcentaje de tejido oscurecido.

Por otra parte, no hubo un cambio significativo en el porcentaje de explantes con callogénesis al triplicar la concentración de sales MS. Sin embargo, no se probaron las dos concentraciones de sales MS en el cultivo de folíolos recolectados el mismo mes.

Fuente de carbono

En el presente trabajo, el uso de glucosa como fuente de carbono en el medio de cultivo redujo significativamente el oscurecimiento de los explantes de hoja, pero también ocasionó un porcentaje de callogénesis significativamente inferior, en comparación con el de los explantes cultivados en medio suplementado con sacarosa o maltosa. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Martínez *et al.* (2021). Ellos observaron que un mayor número de explantes de hipocotilo, raíz primaria, hoja y tallo de *Taraxacum officinale* L. produjeron callo cuando fueron cultivados en medio adicionado con 32 g/L de sacarosa, que cuando fueron cultivados en medio suplementado con la misma concentración de glucosa, registrando callogénesis de

98.2±3.7% en los explantes en sacarosa, y 83.2± 3.1% de callogénesis en los explantes en glucosa.

Además, los resultados de oxidación y callogénesis en los explantes inoculados en medio adicionado con sacarosa y maltosa no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

Posición del explante sobre el medio de cultivo

En estudios preliminares, se observó que los explantes de nogal pecanero que incluían una parte de la nervadura principal del foliolo sufrían un severo y progresivo oscurecimiento oxidativo, por ello, en la presente investigación, los explantes fueron recortados evitando tomar parte de esa gruesa nervadura. De igual modo, en experimentos de cultivo *in vitro* de hojas de *Erigeron breviscapus*, se ha aconsejado evitar tomar explantes que contengan parte de la nervadura principal (Xing *et al.*, 2010). Aunque en otras especies vegetales se han obtenido resultados positivos al tomar explantes a partir de la zona de la nervadura central. Por ejemplo, en un estudio sobre la inducción de la callogénesis en hojas de *Sapindus mukorossi* Gaertn, se observó que era indispensable conservar un fragmento de la nervadura principal en el explante, de lo contrario, el tejido era incapaz de producir callo (Singh *et al.*, 2015).

En lo que respecta a la posición de siembra del explante de hoja, en el presente trabajo, se comprobó que al colocar la cara adaxial en contacto directo con el medio de cultivo, un mayor porcentaje de explantes producía callo, con un peso fresco y seco, así como un porcentaje de humedad superiores.

Nuestros resultados concuerdan con los de Gamage & Nakanishi (2000), quienes indujeron la producción de brotes adventicios en explantes de hoja de manzano (*Malus x domestica* Borkh.), y observaron una mayor generación, no sólo de brotes, sino que también de callos, en los explantes sembrados con el envés hacia arriba, en comparación con lo manifestado en explantes inoculados con el haz hacia arriba. De igual modo, en experimentos de cultivo *in vitro* de hojas de *Fragaria vesca*, el porcentaje de explantes con callo fue significativamente superior cuando éstos fueron inoculados en el medio de cultivo con la cara abaxial hacia arriba, en comparación con el resultado de sembrarlos en la posición opuesta (Sarker *et al.*, 2020).

Sin embargo, existen muchos estudios donde se revela que cultivar los explantes de hoja con el envés en contacto con el medio de cultivo, promueve mejores resultados. Por ejemplo, se ha comprobado que la posición de los explantes de cotiledón de tomate, sobre el medio de cultivo, influye en su respuesta organogénica ante un tratamiento hormonal. Después de tres semanas de incubación, se observó que sembrar los cotiledones en orientación abaxial, es decir, con el envés hacia abajo, dio mejores resultados que sembrar los explantes en orientación adaxial, o sea, con el haz hacia abajo. Colocar los cotiledones con el envés en contacto con el medio de cultivo permitió que un mayor porcentaje de explantes presentara brotes adventicios, que se formaran brotes más largos y que cada explante produjera un mayor número de brotes (Bhatia *et al.*, 2005).

En otra investigación, se probó el efecto de la inducción de callogénesis en explantes de hoja de *Moringa oleifera* sembrados en dirección abaxial y adaxial. En dicho estudio, los callos formados en los explantes sembrados en dirección adaxial tuvieron un volumen significativamente menor que los callos sembrados en dirección abaxial (Förster *et al.*, 2013).

En experimentos con hojas de *Achyranthes aspera*, se probaron diez dosis diferentes de ácido 2,4-diclorofenoxiacético, que iban de 0.1 a 4 mg/L, y se observó que, en general, inocular los explantes con la cara abaxial en contacto con el medio de cultivo, permitía que un mayor porcentaje de explantes produjera callos; especialmente ante la dosis de 1 mg/L, que fue la dosis probada en el presente estudio. En el caso de *A. aspera*, el 75% de los explantes que fueron sembrados con el envés en contacto con el medio adicionado con 1 mg/L de ácido 2,4-

diclorofenoxiacético, produjeron callo, mientras que ninguno de los explantes que fueron sembrados en la posición opuesta produjeron callo (Naz & Khatoon, 2014).

Estudiando la inducción de callos embriogénicos en explantes de hoja de *Sapindus mukorossi* Gaertn, se observó que todos los explantes produjeron callos cuando fueron sembrados con la cara abaxial en contacto con el medio de cultivo, mientras que sólo el 25% de los explantes presentaron formación de callo cuando se colocaron con la cara adaxial en contacto con el medio. Asimismo, se comprobó que sembrar los explantes con la cara adaxial hacia arriba aumentó de manera significativa la formación de embriones somáticos, en comparación con sembrarlos en la posición inversa (Singh *et al.*, 2015).

En otro estudio, la producción de brotes adventicios en explantes de hoja de manzano salvaje (*Malus sieversii*) fue más efectiva cuando los segmentos de hoja se inocularon con la cara abaxial en contacto con el medio de cultivo que cuando fueron sembrados al revés (Zhang *et al.*, 2020).

En experimentos realizados con explantes de hoja de pera blanca (*Pyrus bretschneideri*), se vio que el número promedio de brotes adventicios formados por explante fue mayor cuando la cara abaxial estaba en contacto con el medio de cultivo, en comparación con el promedio observado en los explantes colocados con la cara adaxial en contacto con el medio de cultivo (Sun *et al.*, 2003).

Asimismo, los explantes de hoja de algunas especies vegetales pueden responder de manera indistinta al ser sembrados en diferente posición. Tal y como lo comprobaron Konate *et al.* (2013), al realizar el cultivo *in vitro* de cotiledones de *Vigna subterranea* (L.). Ellos observaron que la callogénesis es semejante cuando explante era inoculado en diferente posición, observándose que el 59.24% de los explantes producían callo cuando eran sembrados con el envés en contacto con el medio, y un 52.22% formaban callo si se les inoculaba con el haz en contacto con el medio. De manera similar, se ha comprobado que se pueden inducir brotes adventicios en hojas de pera japonesa (*Pyrus pyrifolia*), consiguiendo resultados semejantes al sembrar los explantes en posición abaxial o adaxial (Lane *et al.*, 1998). Y lo mismo ocurrió en experimentos realizados con hojas de arándano. En la investigación aludida, se explicó que las hojas de este arbusto están curvadas en dirección a la cara abaxial, razón por la cual, los explantes sembrados con la cara adaxial hacia abajo, tuvieron una mayor área en contacto con el medio, en comparación con los explantes sembrados con la cara abaxial hacia abajo. Sin embargo, en este caso, la posición del explante (abaxial o adaxial) no tuvo un efecto significativo sobre la inducción de brotes adventicios (Qu *et al.*, 2000).

Tratamiento luminoso

Se sabe que la luz influye sobre la tasa de división celular, y la evolución del etileno, lo cual a su vez puede influir sobre la callogénesis. Por lo tanto, el fotoperiodo puede influir de manera significativa en los procesos morfogénicos que se manifiestan en el explante (Jaramillo & Summers, 1991).

En el presente estudio se observó que exponer los explantes de foliolo de nogal a un fotoperiodo, desde el inicio de su incubación, impidió la producción de callo. Mientras que la incubación en ausencia de luz permitió que, en la mayoría de los tratamientos, más del 80% de los explantes produjeran callo.

Estos resultados concuerdan con los de múltiples investigaciones en las que se han comprobado los beneficios de incubar los explantes en la oscuridad. Esto ha ocurrido al inducir la callogénesis en explantes de hipocotilo de *Ajuga bracteosa*. Con el objetivo de incrementar la biomasa de los callos iniciados, éstos fueron expuestos a tres diferentes tratamientos: (1) oscuridad continua, (2) fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 de oscuridad, y (3) iluminación

continua. Al término del experimento, se observó que los callos crecieron más cuando fueron incubados en oscuridad continua (Ali *et al.*, 2018).

También se ha realizado el cultivo de anteras de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) para la iniciación de callos. En dicho estudio, los callos desarrollados mediante la incubación en ausencia de luz durante 10 semanas, fueron 3.4 veces más grandes que los callos producidos mediante incubación con un periodo inicial de 5 semanas de oscuridad, seguido por 5 semanas de exposición a la luz. Incluso, se observó que, con cada semana adicional de incubación en la oscuridad, los callos lograron crecer 0.27 mm más (Jaramillo & Summers, 1991).

En otra investigación, se probó el efecto de la luz en explantes de hoja de lavanda (*Lavandula vera* L.) y zamarilla de los muros (*Teucrium chamaedrys* L.). Los tratamientos evaluados fueron: (1) oscuridad continua por 6 semanas, (2) 0-5 semanas en oscuridad continua, seguido por fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 de oscuridad. Al finalizar las seis semanas de incubación, se observó que los explantes de hoja de lavanda produjeron más callo al incrementar el periodo de incubación en ausencia de luz; no obstante, la formación de embriones somáticos se redujo conforme se aumentó el tiempo de incubación en la oscuridad. En lo que respecta a los explantes de hoja de zamarilla de los muros, el crecimiento del callo no se vio afectado por la presencia o ausencia de luz durante la incubación, sin embargo, la oscuridad favoreció la embriogénesis en el tejido (Kintzios *et al.*, 2002).

Asimismo, se ha trabajado en la inducción de brotes adventicios en explantes de hoja de *Erigeron breviscapus*. En este caso, la incubación durante 15 días en ausencia de luz permitió que un porcentaje significativamente mayor de explantes produjera brotes, mientras que la incubación ante un periodo de 16 h ocasionó una severa necrosis en los tejidos. Por otra parte, la incubación en la oscuridad durante un periodo superior a 15 días inhibió el desarrollo de brotes (Xing *et al.*, 2010).

Además, en una serie de experimentos realizados con el propósito de maximizar la callogénesis en explantes de hoja de *Moringa oleifera*, los explantes inicialmente fueron incubados durante 24 h en un ambiente iluminado y, posteriormente, fueron separados en un grupo que continuó expuesto a un fotoperiodo de 16 h de luz, y otro grupo que permaneció en la oscuridad. Al cabo de cuatro semanas, se evaluó el volumen de los callos, y se observó que los explantes expuestos a la luz desarrollaron callos con un volumen significativamente inferior al de los callos desarrollados mediante incubación en oscuridad continua (Förster *et al.*, 2013).

Por otro lado, también existen casos en los que un fotoperiodo puede ser significativamente beneficioso para el desarrollo del cultivo. Por ejemplo, en una serie de experimentos, se cultivaron explantes de cotiledón de *Basella rubra* L. Transcurridas 5 semanas, los callos incubados en iluminación continua fueron los que produjeron más biomasa (12.42 g), seguidos por los que estuvieron expuestos al fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 de oscuridad (9.02 g), y por último, los que estuvieron en oscuridad constante (4.28 g) (Kumar *et al.*, 2020).

También se ha investigado el efecto de la luz y la oscuridad en la inducción de callo y regeneración de la planta, a partir de cinco explantes diferentes de tres variedades de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.). En las tres variedades, los cinco diferentes tipos de explantes respondieron mejor al fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 de oscuridad, que al tratamiento de oscuridad constante. En la incubación con fotoperiodo, se observó un mayor número de explantes con callo, una mayor cantidad de plantas regeneradas a partir del callo, un número superior de brotes por callo, e incluso una mayor supervivencia en la rusticación (Siddique & Islam, 2015).

Antioxidantes en el medio de cultivo

En la presente investigación, la dosis de nitrato de plata probada propició, en los explantes de hoja, un índice de oscurecimiento y un porcentaje de callogénesis semejantes a los observados

en explantes que fueron colocados en medio de cultivo sin antioxidantes. Dichos resultados demuestran que el nitrato de planta no fue perjudicial para el tejido del explante y sugieren que posiblemente una diferente dosis podría tener un impacto más favorable.

Por su parte, los explantes de hoja de nogal, cultivados en medio adicionado con 1 g/L de carbón activado, sufrieron un oscurecimiento oxidativo significativamente menor que los explantes inoculados en medio sin adición de antioxidantes y que los explantes en medio adicionado con nitrato de planta. No obstante, el carbón activado provocó una severa resequedad en el tejido. Esto puede deberse a que el carbón activado es una sustancia higroscópica, es decir, se trata de una sustancia capaz de absorber la humedad del aire, así como el agua líquida; y su higroscopicidad varía según la temperatura empleada en su fabricación (CIOFU, 2015).

Ávila Treviño *et al.* (2013) también probaron el efecto del carbón activado en explantes de hoja de nogal pecanero; ellos adicionaron 10 g/L de carbón activado al medio de cultivo y lograron reducir el necrosamiento de manera significativa. Pero, en dicha investigación, no se evaluó la inhibición del oscurecimiento y la inducción de la callogénesis de manera simultánea, por lo que no se comprobó la conservación de la responsividad del explante ante la mencionada dosis de carbón activado.

El efecto perjudicial del carbón activado en el medio de cultivo, también ha sido observado en otros estudios. Como ha ocurrido en experimentos de cultivo *in vitro* de brotes de *Aloe vera*. Los resultados de dichos estudios demostraron que los explantes sembrados en medio de cultivo libre de antioxidantes, produjeron un mayor número de brotes que aquellos explantes que fueron sembrados en medio suplementado con 0.5, 1 o 2 g/L de carbón activado. Esto ocurre porque el carbón activado es un poderoso absorbente y, además de absorber las sustancias tóxicas del medio de cultivo, absorbe también algunos nutrientes, y grandes cantidades de fitorreguladores, lo cual puede inhibir el crecimiento *in vitro* (Das & Srivastav, 2015).

Pese a lo anterior, en muchos otros estudios se han medido los beneficios de incluir carbón activado en el medio de cultivo. Por ejemplo, Abdelwahd *et al.* (2008) trabajaron con explantes de yema cotiledonar, nudo cotiledonar e hipocotilo de *Vicia faba* L., y observaron que ninguno de los explantes cultivados en medio suplementado con 10 g/L de carbón activado presentaron oxidación, mientras que el 13.46% de los explantes del control sí presentaron oscurecimiento oxidativo.

En otro estudio, se cultivaron embriones cigóticos de palma de aceite en medio suplementado con 2 g/L de carbón activado y en medio sin la adición de este absorbente. Al término del experimento, se observó un porcentaje de supervivencia de explantes significativamente superior en el medio adicionado con carbón activado (Sparjanbabu *et al.*, 2019).

También es posible que la disparidad de resultados sea propiciada, al menos parcialmente, por la calidad del carbón activado utilizado, pues sus propiedades varían de acuerdo al método utilizado para su obtención y el material vegetal de origen (CIOFU, 2015). Además, la efectividad del carbón activado como promotor de la viabilidad y morfogénesis de los explantes depende del resto de los componentes del medio y del tejido vegetal cultivado (Pan & Van Staden, 1999).

Se sabe que el carbón activado promueve la organogénesis en explantes de diversas especies de plantas leñosas. Pero debe tomarse en cuenta que el material de origen del carbón activado, así como las impurezas, pueden influir en las propiedades del carbón. Por ello, en cultivo *in vitro* de tejidos vegetales, se recomienda utilizar carbón activado lavado en ácido y posteriormente neutralizado (Pan & van Staden, 1998). Aunque existe evidencia de que tanto el carbón activado lavado en ácido como el carbón activado neutralizado, alteran de manera significativamente el pH del medio de cultivo después del autoclavado (Owen *et al.*, 1991).

El pH del medio puede impactar la integridad de las moléculas de sacarosa, ya que la hidrólisis o inversión de la sacarosa es un proceso que puede ser catalizado por ácidos, bases, sales y enzimas (Torres *et al.*, 1994), liberando las moléculas de glucosa y fructosa que constituyen al disacárido (Jin *et al.*, 2015). Asimismo, se ha comprobado que el grado de hidrólisis de la sacarosa es proporcional a la concentración de carbón activado en el medio de cultivo (Pan & Van Staden, 1999).

Lo anterior ocurre por el efecto que tiene el carbón activado sobre el pH del medio. Ya se han hecho pruebas con medio para el cultivo *in vitro* de tejidos vegetales, ajustando el pH del medio a 5.7, previo al autoclavado, y se ha observado que el medio de cultivo libre de carbón activado puede sufrir una disminución de su pH después de la esterilización, adquiriendo un pH de 4.67, mientras que un medio con la misma composición pero suplementado con 5 g/L de carbón activado puede sufrir una elevación de su pH a 6.08 (Eymar *et al.*, 2000).

En otro estudio, se prepararon medios de cultivo adicionados con 2.5 g/L de diferentes tipos de carbón activado. Además, se incluyó un blanco, que consistió en medio de cultivo sin carbón activado. Tres de los productos probados indicaban haber pasado por un lavado ácido; otro producto indicaba haber sido neutralizado, y los otros tres productos no especificaban su tratamiento. Tras pasar 8 días de almacenaje, se midió el pH de los medios, y se observó que el único medio que sufrió una disminución de su pH tras el almacenaje fue el control. El resto de los medios sufrieron una elevación significativa de su pH, incluyendo el medio que fue adicionado con carbón activado neutralizado (Sáenz *et al.*, 2010).

Cabe señalar que la hidrólisis de la sacarosa a causa del autoclavado, puede favorecer o perjudicar el desarrollo del cultivo, y esto depende de la especie vegetal cultivada, pues hay especies en las que la fructosa inhibe el crecimiento (Pan & van Staden, 1998). Por ejemplo, en un estudio, se probó el efecto de la adición de diferentes fuentes de carbono (fructosa, glucosa, sacarosa y maltosa) al medio de cultivo utilizado para la inducción de la callogénesis en explantes de cotiledón e hipocotilo de algodón. Y se observó que los medios de cultivo suplementados con fructosa provocaron que un menor porcentaje de explantes produjera callo, y que hubiera una mayor secreción de compuestos fenólicos (Ganesan *et al.*, 2015).

Además de alterar el pH del medio y con ello influir sobre la hidrólisis de la sacarosa, el carbón activado ejerce su poder adsorbente sobre la sacarosa y sus componentes de manera particular. A saber, el carbón activado tiene mayor afinidad por los oligosacáridos, es decir, los azúcares de mayor peso molecular, que por los monosacáridos y disacáridos, que son azúcares de menor peso molecular (Kuhn *et al.*, 2014; Nobre *et al.*, 2019).

Textura y color de los callos

En los diferentes tratamientos del presente estudio, se observó la formación de callos blancos, marrones y amarillos. Como se observa en la tabla 7, los callos blancos tuvieron una textura compacta, y el porcentaje de humedad más bajo ($79.58 \pm 8.30\%$). Los callos marrones presentaron una textura friable, y el contenido de agua más alto ($89.52 \pm 0.87\%$), mientras que los callos amarillos tuvieron una textura variada con tendencia a la compactidad.

En explantes de hoja de *Byrsonima verbascifolia*, se han inducido callos friables, con un porcentaje de humedad de 90.14-94.81, y callos compactos con un porcentaje de humedad de 80.33-93.62 (Fonsêca Castro *et al.*, 2016). En dicho caso, el porcentaje de humedad no ha sido una característica distintiva entre callos friables y compactos.

Incluso, se ha descrito la obtención de callos compactos con un mayor porcentaje de humedad que los callos friables. Como explican Osman *et al.* (2016), quienes trabajaron con explantes de endospermo de *Barringtonia racemosa* L. y reportaron la obtención de callos friables frescos con un contenido de agua dentro del rango de 69.37-85.78%, y callos compactos con 82.33-92.86% de humedad.

Lo anterior demuestra que el contenido de agua no tiene que estar correlacionada con la friabilidad del callo. Por otra parte, Daffalla *et al.* (2019) explican que la humedad del callo puede ser aprovechada como un indicador de la viabilidad de las células que lo integran.

CONCLUSIONES

Con la presente investigación se lograron identificar parámetros de recolección de muestras, desinfección y cultivo *in vitro*, fundamentales para la iniciación de callos en explantes de foliolo de nogal pecanero adulto. Los resultados destacaron el efecto promotor de recolectar el tejido vegetal en abril, y sembrar los explantes en medio adicionado con sacarosa, en ausencia de luz.

LITERATURA CITADA

- Abahmane, L. (2011). Date palm micropropagation via organogenesis. *Date Palm Biotechnology*, 69–90. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1318-5>
- Abdelwahd, R., Hakam, N., Labhilili, M., & Udupa, S. M. (2008). Use of an adsorbent and antioxidants to reduce the effects of leached phenolics in *in vitro* plantlet regeneration of faba bean. *African Journal of Biotechnology*, 7(8), 997–1002. <https://doi.org/10.4314/ajb.v7i8.58590>
- Abdollahi, M. R., & Rashidi, S. (2017). Production and conversion of haploid embryos in chickpea (*Cicer arietinum* L.) anther cultures using high 2,4-D and silver nitrate containing media. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 133(1), 39–49. <https://doi.org/10.1007/s11240-017-1359-4>
- Ahmad, T., & Suzuki, Y. J. (2019). Juglone in oxidative stress and cell signaling. *Antioxidants*, 8(91). <https://doi.org/10.3390/antiox8040091>
- Ali, H., Khan, M. A., Nazifullah, & Khan, R. S. (2018). Impacts of hormonal elicitors and photoperiod regimes on elicitation of bioactive secondary volatiles in cell cultures of *Ajuga bracteosa*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 183, 242–250. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.04.044>
- Alvidrez Villarreal, R., Hernández Castillo, F. D., García Martínez, O., Mendoza Villarreal, R., Rodríguez Herrera, R., & Aguilar, C. N. (2012). Isolation and pathogenicity of fungi associated to ambrosia borer (*Euplatypus segnis*) found injuring pecan (*Carya illinoensis*) wood. *Agricultural Sciences*, 3(3), 405–416. <https://doi.org/10.4236/as.2012.33048>
- Amini, J., & Sidovich, D. F. (2010). The effects of fungicides on *Fusarium oxysporum* F. sp. *Lycopersici* associated with *Fusarium* wilt of tomato. *Journal of Plant Protection Research*, 50(2), 172–178. <https://doi.org/10.2478/v10045-010-0029-x>
- Ávila Treviño, J. A., Arreola Ávila, J. G., Rodríguez de la O., J. L., Trejo Calzada, R., Valdez Cepeda, D., & Borja de la Rosa, A. (2013). Respuestas morfogénicas en la propagación *in vitro* de nogal pecanero (*Carya illinoensis* [Wangenh] K. Koch). *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 19(3), 469–481. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.09.037>
- Babaei, N., Abdullah, N. A. P., Saleh, G., & Abdullah, T. L. (2013). Control of contamination and explant browning in *Curculigo latifolia* *in vitro* cultures. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(8), 448–454. <https://doi.org/10.5897/JMPR12.859>
- Baibakova, E. V., Nefedjeva, E. E., Suska-Malawska, M., Wilk, M., Sevriukova, G. A., & Zheltobriukhov, V. F. (2019). Modern fungicides: mechanisms of action, fungal resistance and phytotoxic effects. *Annual Research & Review in Biology*, 32(3), 1–16. <https://doi.org/10.9734/arrb/2019/v32i330083>
- Benson, E. E. (2003). *Plant conservation biotechnology*. CRC Press.
- Benson, E. E. (2000). Special symposium: *in vitro* plant recalcitrance do free radicals have a

- role in plant tissue culture recalcitrance. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 36(3), 163–170. <https://doi.org/10.1007/s11627-000-0032-4>
- Benucci, G. M. N., Bonito, G., Falini, L. B., Bencivenga, M., & Donnini, D. (2012). Mycorrhizal inoculation of pecan seedlings with some marketable truffles. *Acta Mycologica*, 47(2), 179–184. <https://doi.org/10.5586/am.2012.022>
- Bhatia, P., Ashwath, N., & Midmore, D. J. (2005). Effects of genotype, explant orientation, and wounding on shoot regeneration in tomato. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 41, 457–464. <https://doi.org/10.1079/IVP2005649>
- Burns, J. A., & Wetzstein, H. Y. (1995). Development and germination of pecan somatic embryos derived from liquid culture. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 31, 72–78. <https://doi.org/10.1007/BF02632240>
- Burns, J. A., & Wetzstein, H. Y. (1997). Development and characterization of embryogenic suspension cultures of pecan. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 48, 93–102. <https://doi.org/10.1023/A:1005832331593>
- CIOFU. (2015). Activated carbon (charcoal) obtaining. Application. *Fiabilitate Si Durabilitate - Fiability & Durability Supplement*, 98–103.
- Coyle, H. M. (2004). *Forensic botany: principles and applications to criminal casework*. CRC Press. <http://eprints.uanl.mx/5481/1/1020149995.PDF>
- Daffalla, H. M., Elsheikh, A. M., Ali, H. A., & Khalafalla, M. M. (2019). Callus maintenance and cell line selection of *Grewia tenax*. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/10496475.2019.1595256>
- Das, P., & Srivastav, A. K. (2015). To study the effect of activated charcoal, ascorbic acid and light duration on *in vitro* micropropagation of *Aloe vera* L. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(5), 3131–3138. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2015.0405091>
- Degani, O., & Kalman, B. (2021). Assessment of commercial fungicides against onion (*Allium cepa*) basal rot disease caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* and *Fusarium acutatum*. *Journal of Fungi*, 7(235). <https://doi.org/10.3390/jof7030235>
- Dhiman, M., Sharma, L., Singh, A., & Sharma, M. M. (2020). Exsitu conservation using *in vitro* methods of an endangered plant *Sterculia urens* Roxb.: A high volume trade plant for gum karaya. *Industrial Crops and Products*, 158, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113015>
- Elhiti, M., & Stasolla, C. (2011). The use of zygotic embryos as explants for *in vitro* propagation: an overview. In T. Thorpe & E. Yeung (Eds.), *Plant Embryo Culture. Methods in Molecular Biology (Methods and Protocols)* (Vol. 710, pp. 229–255). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-61737-988-8_17
- Elmaataoui, S., Mazri, M. A., Meziani, R., & Bouchiha, F. (2020). Effects of culture medium strength and antioxidants on adventitious bud multiplication, hyperhydricity and tissue browning of sate palm cv. Aziza Bouzid. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 6(2), 103–109. <https://doi.org/10.30574/wjarr>
- Eymar, E., Alegre, J., Toribio, M., & López-Vela, D. (2000). Effect of activated charcoal and 6-benzyladenine on *in vitro* nitrogen uptake by *Lagerstroemia indica*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 63(1), 57–65. <https://doi.org/10.1023/A:1006471519609>
- Fonsêca Castro, A. H., de Queiroz Braga, K., Marinez de Sousa, F., Coimbra, M. C., & Russo Chagas, R. C. (2016). Callus induction and bioactive phenolic compounds production from *Byrsonima verbascifolia* (L.) DC. (Malpighiaceae). *Revista Ciencia Agrônômica*, 47(1), 143–151. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160017>
- Förster, N., Mewis, I., & Ulrichs, C. (2013). *Moringa oleifera*-Establishment and multiplication of different ecotypes *in vitro*. *Gesunde Pflanzen*, 65(1), 21–31. <https://doi.org/10.1007/s10343-013-0291-8>
- Gamage, N., & Nakanishi, T. (2000). *In vitro* shoot regeneration from leaf tissue of apple (cultivar 'orine'): high shoot proliferation using carry over effect of TDZ. In L. H. W. van del Plas (Ed.), *XXV International Horticultural Congress, Part 10: Application of Biotechnology and Molecular Biology and Breeding-In Vitro* (pp. 291–300). Acta Horticulturae.

- Gammoudi, N., Zeria, K., Nagaz, K., & Ferchichi, A. (2019). Enhancement of capsaicinoids in vitro production by abiotic elicitors in placenta-derived callus of *Capsicum annum* L. Tunisian var. 'Baklouti Medenine.' *Biologia*, 74, 725–732. <https://doi.org/10.2478/s11756-019-00237-8>
- Ganesan, P., Subiramani, S., Govindarajan, S., Sadasivam, V., Manickam, V., Mogilicherla, K., Thiruppathi, S. K., & Narayanasamy, J. (2015). Evaluation of different carbon sources for high frequency callus culture with reduced phenolic secretion in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cv. SVPR-2. *Biotechnology Reports*. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2015.05.005>
- Golkar, P., Moradi, M., & Garousi, G. A. (2019). Elicitation of stevia glycosides using salicylic acid and silver nanoparticles under callus culture. *Sugar Tech*, 21(4), 569–577. <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0655-6>
- Huh, Y. S., Lee, J. K., & Nam, S. Y. (2017). Effect of plant growth regulators and antioxidants on *in vitro* plant regeneration and callus induction from leaf explants of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Journal of Plant Biotechnology*, 44, 335–342. <https://doi.org/10.5010/JPB.2017.44.3.335>
- Jaramillo, J., & Summers, W. L. (1991). Dark–Light treatments influence induction of tomato anther callus. *HortScience*, 26(7), 915–916. <https://doi.org/10.21273/hortsci.26.7.915>
- Jin, J., Liu, W., Deng, S., Han, Y., Cai, Y., & Hui, G. (2015). Glucose, D-fructose, and sucrose non-enzyme quantitative analysis method based on Cu foam electrode. *Electrochimica Acta*, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.11.194>
- Kamdi, D. R., Mondhe, M. K., Jadesha, G., Kshirsagar, D. N., & Thakur, K. D. (2012). Efficacy of botanicals, bio-agents and fungicides against *Fusarium oxysporum* F. Sp. Ciceri, in chickpea wilt sick plot. *Annals of Biological Research*, 3(11), 5390–5392.
- Kintzios, S., Papanastasiou, I., Turgelis, P., Papastellatos, C., Georgopoulos, V., & Drossopoulos, J. (2002). The effects of light on callus growth and somatic embryogenesis from *Lavandula vera* and *Teucrium chamaedrys*: A preliminary study. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*, 9(2 & 3), 223–227. https://doi.org/10.1300/J044v09n02_32
- Konate, S., Kone, M., Kouakou, H. T., Kouadio, J. Y., & Zouzou, M. (2013). Callus induction and proliferation from cotyledon explants in Bambara groundnut. *African Crop Science Journal*, 21(3), 255–263.
- Krishnaraj, C., Ramachandran, R., Mohan, K., & Kalaichelvan, P. T. (2012). Optimization for rapid synthesis of silver nanoparticles and its effect on phytopathogenic fungi. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 93, 95–99. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2012.03.002>
- Kuhn, R. C., Mazutti, M. A., Albertini, L. B., & Filho, F. M. (2014). Evaluation of fructooligosaccharides separation using a fixed-bed column packed with activated charcoal. *New Biotechnology*, 31(3), 237–241. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2014.02.005>
- Kumar, S. S., Arya, M., Mahadevappa, P., & Giridhar, P. (2020). Influence of photoperiod on growth, bioactive compounds and antioxidant activity in callus cultures of *Basella rubra* L. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111937>
- Kumar, S., & Sharma, S. (2005). Somatic embryogenesis and cryopreservation of walnut (*Juglans regia* L.) and pecan (*Carya illinoensis* Koch). *Acta Horticulturae*, 143–147. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.696.24>
- Kumar, V., Parvatam, G., & Ravishankar, G. A. (2009). AgNO₃ - A potential regulator of ethylene activity and plant growth modulator. *Electronic Journal of Biotechnology*, 12(2), 1–15. <https://doi.org/10.2225/vol12-issue2-fulltext-1>
- Lane, W. D., Iketani, H., & Hayashi, T. (1998). Shoot regeneration from cultured leaves of Japanese pear (*Pyrus pyrifolia*). *Plan Cell, Tissue and Organ Culture*, 54, 9–14.
- Leyva Corona, J. C., Armenta Castelo, D. I., Zamorano Algandar, R., Thomas, M. G., Rincon, G., Medrano, J. F., Rivera Acuña, F., Reyna Granados, J. R., & Luna Nevárez, P. (2015). Variables climáticas asociadas a la producción de leche en vacas Holstein criadas bajo condiciones de estrés por calor del Valle del Yaqui, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 11(1), 1–11.

- <https://www.redalyc.org/pdf/495/49549092012.pdf>
- Litz, R. E. (2005). Biotechnology of fruit and nut crops. In *Ocean Modelling*. CABI Publishing. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2013.04.010><http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2011.06.003><http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2008.12.004><http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2014.08.008><http://dx.doi.org/10.1016/j.jcp.2009.08.006>
- Malik, W. A., Mahmood, I., Razzaq, A., Afzal, M., Shah, G. A., Iqbal, A., Zain, M., Ditta, A., Asad, S. A., Ahmad, I., Mangi, N., & Ye, W. (2021). Exploring potential of copper and silver nano particles to establish efficient callogenesis and regeneration system for wheat (*Triticum aestivum* L.). *GM Crops and Food*, 1(1), 1–22. <https://doi.org/10.1080/21645698.2021.1917975>
- Martinez, M. E., Jorquera, L., Poirrier, P., Díaz, K., & Chamy, R. (2021). Effect of the carbon source and plant growth regulators (Pgrs) in the induction and maintenance of an in vitro callus culture of *Taraxacum officinale* (L) weber ex F.H. wigg. *Agronomy*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/agronomy11061181>
- Mathews, H., & Wetzstein, H. Y. (1993). A revised protocol for efficient regeneration of somatic embryos and acclimatization of plantlets in pecan, *Carya illinoensis*. *Plant Science*, 91(1), 103–108. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(93\)90193-4](https://doi.org/10.1016/0168-9452(93)90193-4)
- McGranahan, G. H., Leslie, C. A., Dandekar, A. M., Uratsu, S. L., & Yates, I. E. (1993). Transformation of pecan and regeneration of transgenic plants. *Plant Cell Reports*, 12(11), 634–638. <https://doi.org/10.1007/BF00232814>
- Modeste, K. K., Eliane, M. T., Daouda, K., Brahima, S. A., Tchoa, K., Kouablan, K. E., & Mongomaké, K. (2017). Effect of antioxidants on the callus induction and the development of somatic embryogenesis of cocoa [*Theobroma cacao* (L.)]. *Australian Journal of Crop Science*, 11(1), 25–31. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2017.11.01.pne174>
- Naz, S., & Khatoon, K. (2014). The effect of auxins on callus induction in *Achyranthes aspera*. *Pakistan Journal of Botany*, 46(6), 2203–2207.
- Nel, B., Steinberg, C., Labuschagne, N., & Viljoen, A. (2007). Evaluation of fungicides and sterilants for potential application in the management of *Fusarium* wilt of banana. *Crop Protection*, 26, 697–705. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.06.008>
- Nikam, P. S., Jagtap, G. P., & Sontakke, P. L. (2007). Management of chickpea wilt caused by *Fusarium oxysporium* f. sp. ciceri. *African Journal of Agricultural Research*, 2(12), 692–697.
- Nobre, C., Caitano do Nascimento, A. K., Pires Silva, S., Coelho, E., Coimbra, M. A., Holanda Cavalcanti, M. T., Teixeira, J. A., & Figueiredo Porto, A. L. (2019). Process development for the production of prebiotic fructo-oligosaccharides by *Penicillium citreonigrum*. *Bioresource Technology*, 282, 464–474. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.03.053>
- Obeidy, A. A., & Smith, M. A. L. (1993). Organogenesis from mature pecan cotyledons and embryonic axes. *HortScience*, 28(3), 213–215. <https://doi.org/10.21273/hortsci.28.3.213>
- Osman, N. I., Sidik, N. J., & Awal, A. (2016). Effects of variations in culture media and hormonal treatments upon callus induction potential in endosperm explant of *Barringtonia racemosa* L. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6(2), 143–147. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.10.007>
- Ovington, L. G. (2007). Advances in wound dressings. *Clinics in Dermatology*, 25(1), 33–38. <https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2006.09.003>
- Owen, H. R., Wengerd, D., & Miller, A. R. (1991). Culture medium pH is influenced by basal medium, carbohydrate source, gelling agent, active charcoal, and medium storage method. *Plant Cell Reports*, 10, 583–586.
- Özer, N., & Köycü, N. D. (1998). Evaluation of seed treatments for controlling *Aspergillus niger* and *Fusarium oxysporum* on onion seed. *Phytopathologia Mediterranea*, 37(1), 33–40.
- Pan, M. J., & van Staden, J. (1998). The use of charcoal in *in vitro* culture - A review. *Plant Growth Regulation*, 26, 155–163. <https://doi.org/10.1023/A:1006119015972>

- Pan, M. J., & Van Staden, J. (1999). Effect of activated charcoal, autoclaving and culture media on sucrose hydrolysis. *Plant Growth Regulation*, 29, 135–141. <https://doi.org/10.1023/A:1006238300890>
- Payghamzadeha, K., & Kazemitabar, S. K. (2010). The effects of BAP, IBA and genotypes on *in vitro* germination of immature walnut embryos. *International Journal of Plant Production*, 4(4), 309–322. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2012.714>
- Poddar, R. K., Singh, D. V., & Dubey, S. C. (2004). Management of chickpea wilt through combination of fungicides and bioagents. *Indian Phytopath*, 57(1), 39–43.
- Poletto, T., Brião Muniz, M. F., Fantinel, V. S., Harakava, R., & Rolim, J. M. (2020). Characterization and pathogenicity of *Fusarium oxysporum* associated with *Carya illinoensis* seedlings. *Floresta e Ambiente*, 27(2), 1–9. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.108917>
- Pooja. (2004). *Physiology of angiosperms*. Discovery Publishing House.
- Qu, L., Polashock, J., & Vorsa, N. (2000). A highly efficient *in vitro* cranberry regeneration system using leaf explants. *HortScience*, 35(5), 948–952. <https://doi.org/10.21273/hortsci.35.5.948>
- Renukdas, N. N., Manoharan, M., & Garner, J. O. (2010). *In vitro* propagation of pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch]. *Plant Biotechnology*, 27(2), 211–215. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.27.211>
- Rodriguez, A. P. M., & Wetzstein, H. Y. (1994). The effect of auxin type and concentration on pecan (*Carya illinoensis*) somatic embryo morphology and subsequent conversion into plants. *Plant Cell Reports*, 13, 607–611. <http://www.springerlink.com/index/n12h61vh462n23wv.pdf>
- Rodriguez, A. P. M., & Wetzstein, H. Y. (1998). A morphological and histological comparison of the initiation and development of pecan (*Carya illinoensis*) somatic embryogenic cultures induced with naphthaleneacetic acid or 2,4-dichlorophenoxyacetic acid. *Protoplasma*, 204(1–2), 71–83. <https://doi.org/10.1007/BF01282295>
- Sáenz, L., Herrera-Herrera, G., Uicab-Ballote, F., Chan, J. L., & Oropeza, C. (2010). Influence of form of activated charcoal on embryogenic callus formation in coconut (*Cocos nucifera*). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 100, 301–308. <https://doi.org/10.1007/s11240-009-9651-6>
- Salar, R. K., Gahlawat, S. K., Siwach, P., & Duhan, J. S. (2013). *Biotechnology: prospects and applications* (R. K. Salar, S. K. Gahlawat, P. Siwach, & J. S. Duhan (eds.); 1st ed.). <https://doi.org/10.1007/978-81-322-1683-4>
- Sarker, B. C., Archbold, D. D., Geneve, R. L., & Kester, S. T. (2020). Rapid *in vitro* multiplication of non-runnering *Fragaria vesca* Genotypes from seedling shoot axillary bud explants. *Horticulturae*, 6(51), 1–8. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6030051>
- Shalaby, S., & Horwitz, B. A. (2015). Plant phenolic compounds and oxidative stress: integrated signals in fungal–plant interactions. *Current Genetics*, 61(3), 347–357. <https://doi.org/10.1007/s00294-014-0458-6>
- Siddique, A. B., & Islam, S. S. (2015). Effect of light and dark on callus induction and regeneration in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Bangladesh Journal of Botany*, 44(4), 643–651. <https://doi.org/10.3329/bjb.v44i4.38636>
- Singh, R., Rai, M. K., & Kumari, N. (2015). Somatic embryogenesis and plant regeneration in *Sapindus mukorossi* Gaertn. from leaf-derived callus induced with 6-benzylaminopurine. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 177, 498–510. <https://doi.org/10.1007/s12010-015-1758-0>
- Sparjanbabu, D. S., Kumar, P. N., Krishna, M. S. R., Ramajayam, D., & Susanthi, B. (2019). Effect of activated charcoal, culture media and plant growth regulators on *in vitro* germination and development of elite dura oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) zygotic embryos. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 20(7 & 8), 314–323.
- Sun, Q.-R., Fan, S.-H., & Liu, Q.-Z. (2003). High frequency shoot regeneration from giant dunkpear leaves *in vitro*. *Shandong Agricultural Sciences*, 2, 10–12.
- Talley, S. M., Coley, P. D., & Kursar, T. A. (2002). The effects of weather on fungal abundance

Recibido:
3/agosto/2022

Aceptado:
12/enero/2023

- and richness among 25 communities in the Intermountain West. *BMC Ecology*, 2, 7–10. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-2-7>
- 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>
- Thompson, T. E., & Conner, P. J. (2011). Pecan. In M. Badenes & D. Byrne (Eds.), *Fruit breeding* (pp. 771–801). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0763-9_20
- Titov, S., Bhowmik, S. K., Mandal, A., Alam, M. S., & Uddin, S. N. (2006). Control of phenolic compound secretion and effect of growth regulators for organ formation from *Musa* spp. cv. Kanthali floral bud explants. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 2(3), 97–104. <https://doi.org/10.3844/ajbbsp.2006.97.104>
- Torres, A. P., Oliveira, F. A. R., Silva, C. L. M., & Fortuna, S. P. (1994). The influence of pH on the kinetics of acid hydrolysis of sucrose. *Journal of Food Process Engineering*, 17, 191–208. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.1994.tb00335.x>
- Vendrame, W. A., Kochert, G., & Wetzstein, H. Y. (1999). AFLP analysis of variation in pecan somatic embryos. *Plant Cell Reports*, 18(10), 853–857. <https://doi.org/10.1007/s002990050673>
- Warchoń, M., Juzoń, K., Dziurka, K., Czyczyło-Mysza, I., Kapłoniak, K., Marcińska, I., & Skrzypek, E. (2021). The effect of zinc, copper, and silver ions on oat (*Avena sativa* L.) androgenesis. *Plants*, 10(2), 1–11. <https://doi.org/10.3390/plants10020248>
- Wetzstein, H. Y., Ault, J. R., & Merkle, S. A. (1989). Further characterization of somatic embryogenesis and plantlet regeneration in pecan (*Carya illinoensis*). *Plant Science*, 64, 193–201.
- Wetzstein, H. Y., Merkle, S. A., & Ault, J. R. (1990). Factor influencing somatic embryogenesis and plantlet regeneration in pecan, *Carya illinoensis*. *Acta Horticulturae*, 280, 69–73.
- Xiang, X. G., Zhang, J. B., Lu, A. M., & Li, R. Q. (2011). Molecular identification of species in Juglandaceae: A tiered method. *Journal of Systematics and Evolution*, 49(3), 252–260. <https://doi.org/10.1111/j.1759-6831.2011.00116.x>
- Xing, Z. Y., Yuan, H. Y., Wang, L. F., & Zheng, L. P. (2010). Regenerating plants from in vitro culture of *Erigeron breviscapus* leaves. *African Journal of Biotechnology*, 9(26), 4022–4024. <https://doi.org/10.4314/ajb.v9i26>
- Yaseen, M., Ahmad, T., Sablok, G., Standardi, A., & Hafiz, I. A. (2013). Review: role of carbon sources for *in vitro* plant growth and development. *Molecular Biology Reports*, 40, 2837–2849. <https://doi.org/10.1007/s11033-012-2299-z>
- Zhang, Y., Bozorov, T. A., Li, D. X., Zhou, P., Wen, X. J., Ding, Y., & Zhang, D. Y. (2020). An efficient *in vitro* regeneration system from different wild apple (*Malus sieversii*) explants. *Plant Methods*, 16(56), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13007-020-00599-0>

ESTUDIOS PARA LA CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE *Chrysactinia mexicana*, PLANTA AROMÁTICA Y MEDICINAL NATIVA DE MÉXICO

STUDIES FOR THE CONSERVATION AND USE OF *Chrysactinia mexicana*, AN AROMATIC AND MEDICINAL PLANT NATIVE TO MEXICO

Magallán-Hernández, F.; J.A. Valencia-Hernández y R. Sánchez-Castillo

ESTUDIOS PARA LA CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE *Chrysactinia mexicana*, PLANTA AROMÁTICA Y MEDICINAL NATIVA DE MÉXICO

STUDIES FOR THE CONSERVATION AND USE OF *Chrysactinia mexicana*, AN AROMATIC AND MEDICINAL PLANT NATIVE TO MEXICO



Estudios para la conservación y aprovechamiento de *Chrysactinia mexicana*, planta aromática y medicinal nativa de México

Studies for the conservation and use of *Chrysactinia mexicana*, an aromatic and medicinal plant native to Mexico

F. Magallán-Hernández / fabiola.magallan@uaq.mx

J.A. Valencia-Hernández

R. Sánchez-Castillo

Horticultura Ambiental. Facultad de Ciencias Naturales.

Universidad Autónoma de Querétaro.

Avenida de las Ciencias s/n Juriquilla, Querétaro, Querétaro. 76230 México.

Magallán-Hernández, F.;
J.A. Valencia-Hernández
y R. Sánchez-Castillo

ESTUDIOS PARA LA
CONSERVACIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE
Chrysactinia mexicana,
PLANTA AROMÁTICA Y
MEDICINAL NATIVA DE
MÉXICO

STUDIES FOR THE
CONSERVATION AND USE
OF *Chrysactinia mexicana*, AN
AROMATIC AND
MEDICINAL PLANT
NATIVE TO MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 55: 145-159. Enero 2023

DOI:

10.18387/polibotanica.55.10

RESUMEN: Una de las estrategias para reconocer el uso potencial de las plantas aromáticas y medicinales (PAMs), es tomar en cuenta el conocimiento tradicional. El objetivo de la presente investigación fue documentar y generar información botánica, ecológica, etnobotánica, fitoquímica y de actividad biológica sobre *Chrysactinia mexicana*, la cual sirva de base para su posterior cultivo, aprovechamiento y conservación. Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de recursos bibliográficos científicos obtenidos de buscadores académicos especializados en internet. Tanto el mapa, como la identificación de los factores bióticos y abióticos asociados a la distribución de la especie, se generaron usando Sistemas de Información Geográfica (SIG). La información de su fenología, estrategias de propagación y características de hábitat se recopiló en salidas de campo llevadas a cabo una vez al mes a través de un año. *Chrysactinia mexicana* presenta una amplia variedad de nombres comunes, lo cual pone de manifiesto el estrecho vínculo entre la especie y los habitantes de las regiones en las que se distribuye. Se registra el uso de sus hojas, tallos y flores para curar infecciones respiratorias, infecciones de la piel, dolores de estómago, diarrea, fiebre y reumatismo. Se distribuye en las provincias biogeográficas del Desierto Chihuahuense, Sierra Madre Oriental y Faja Volcánica Transmexicana. Su amplia distribución indica que se trata de una especie con baja especificidad de hábitat. Se propaga de manera sexual a través de aquenios, dispersados por el viento, mientras que la propagación asexual es por medio estolones subterráneos. Presenta una amplia diversidad de metabolitos secundarios, destacando la piperitona, eucaliptol, acetato de linalilo, α -terpineol, silvestreno y terpineol. Los diferentes bioproductos muestran actividad positiva contra bacterias, micobacterias, hongos y amibas. También se observó que el aceite esencial presenta acción insecticida y nematocida. Estudios más recientes han mostrado resultados positivos de algunos de sus componentes como antidepresivos y estimulantes del comportamiento sexual. *Chrysactinia mexicana* presenta un alto potencial en la industria farmacéutica, cosmética, de alimentos y en el control de plagas, por lo que es necesario iniciar con estudios que permitan su propagación y establecimiento en cultivo.

Palabras clave: *Chrysactinia mexicana*; distribución; hábitat; propagación; fenología; metabolitos secundarios.

ABSTRACT: One of the strategies to recognize the potential future use of aromatic and medicinal plants (AMPs) is to take into account the past uses and traditional knowledge. The general objective of this research is to document and generate information on *Chrysactinia mexicana*, which serves as a basis for its subsequent cultivation, use, and conservation. An exhaustive review of scientific bibliographic resources obtained from specialized academic search on the Internet was carried out. Both, the distribution map and the identification of the biotic and abiotic factors

associated with the distribution of the species were generated using Geographic Information Systems (GIS). Information about the phenology, propagation strategies and habitat characteristics were collected in the field once a month, for a year. *Chrysactinia mexicana* has a wide variety of common names which highlight the close link between the species and the inhabitants of the regions in which it originates. The use of its leaves, stems, and flowers has been noted to cure respiratory infections, skin infections, stomach pains, diarrhoea, fever, and rheumatism. It is distributed in the biogeographical provinces of the Chihuahuan Desert, Sierra Madre Oriental, and Trans-Mexican Volcanic Belt. Its wide distribution indicates that it is a species with low habitat specificity. It spreads sexually through wind-dispersed achenes, while asexual propagation is via subterranean stolons. Presents a wide variety of secondary metabolites, the most notable are piperitone, eucalyptol, linalyl acetate, α -terpineol, Sylvain and terpineol. The different bioproducts show positive results combatting bacteria, mycobacteria, fungi, and amoebae. It was also observed that the essential oil has insecticidal and nematocidal actions. More recent studies have shown positive results when used as an antidepressant and as a sexual behavior stimulant. *Chrysactinia mexicana* could have many potential uses in pharmaceutical, cosmetic, food, and pest control industries, so it is important to start with studies that allow its propagation and establishment in cultivation.

Key words: *Chrysactinia mexicana*; distribution; habitat; propagation; phenology; secondary metabolites.

INTRODUCCIÓN

El uso de las plantas aromáticas y medicinales (PAMs) está ligado a la historia del ser humano, lo cual se ha documentado por la presencia de este tipo de plantas en sitios arqueológicos, sugiriendo que fueron usadas desde tiempos prehistóricos (Waizel, 2010). Sin embargo, las PAMs no sólo se usan de manera tradicional, sino que tienen importantes aplicaciones en la medicina moderna, debido a la presencia de distintos tipos de metabolitos secundarios con propiedades terapéuticas (Peña-Rodríguez *et al.*, 2010; Villarreal *et al.*, 2014). Actualmente, los principales sectores demandantes de PAMs son la industria alimentaria, cosmética, de perfumería, farmacéutica y otras como las de agroquímicos y de pinturas (Juárez-Rosete *et al.*, 2013). Los países solicitantes de materias primas y extractos de plantas medicinales mexicanas son: Alemania, España, Estados Unidos, Francia, Holanda, Italia, Japón y Suiza (Palma-Tenango *et al.*, 2017). Para reconocer el uso potencial de las PAMs, una estrategia adecuada y bien fundamentada, es tomar en cuenta el conocimiento tradicional que tienen los pueblos indígenas, los campesinos y en general la población que habita en zonas rurales, debido a que se trata de un uso milenario que avala su potencial (Iannicelli *et al.*, 2018). En años recientes, la industria farmacéutica ha puesto atención a los estudios sobre los usos tradicionales de las plantas medicinales para la selección de especies que contengan compuestos con actividad biológica (Palma-Tenango *et al.*, 2017; Villarreal *et al.*, 2014).

En la medicina tradicional mexicana se han registrados aproximadamente 3000 especies de plantas con algún uso terapéutico, dicha cifra ubica a nuestro país como el segundo lugar en número de especies de PAMs, únicamente después de China (Muñeton, 2009; Palma-Tenango *et al.*, 2017). Como parte de la diversidad, existen especies de plantas medicinales muy notables, debido a que presentan las siguientes características: 1) Usos tradicionales documentados, 2) Estudios fitoquímicos y de su actividad biológica, los cuales avalan sus efectos terapéuticos, 3) Aroma agradable debido a la presencia aceites esenciales y 4) Demanda en los mercados locales y regionales. A pesar de ser especies con alta importancia por sus diversos usos potenciales en la industria farmacéutica y cosmética, al mismo tiempo, han sido poco estudiadas desde un enfoque biológico, ecológico y agronómico, siendo estos enfoques básicos para su propagación, manejo en cultivo y conservación biológica. Una especie que tiene las características mencionadas es *Chrysactinia mexicana* A. Gray, planta medicinal nativa de México perteneciente a la familia Asteraceae de la cual se conocen diversos usos potenciales para la industria. Dicha especie ha sido estudiada desde diferentes enfoques, siendo mucho más

frecuentes los estudios fitoquímicos y farmacológicos, mientras que los estudios etnobotánicos, ecológicos y agronómicos son escasos o inexistentes (Magallán-Hernández *et al.*, 2015).

El objetivo de la presente investigación fue documentar y generar información botánica, ecológica, etnobotánica, fitoquímica y de actividad biológica sobre *Chrysactinia mexicana*, la cual sirva de base para su posterior cultivo, aprovechamiento y conservación. Los objetivos específicos fueron: documentar sus nombres comunes, usos tradicionales, caracteres morfológicos diagnósticos, así como sus metabolitos secundarios y bioactividad; elaborar un mapa de su distribución para México; identificar los factores bióticos y abióticos asociados a la distribución de la especie; registrar su fenología, estrategias de propagación en poblaciones silvestres y características de hábitat; y, con base en la información de revisión y generada en campo proponer usos potenciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Revisión bibliográfica

Para documentar los nombres comunes, usos tradicionales, caracteres morfológicos diagnósticos de *C. mexicana*, así como los metabolitos secundarios y actividades biológicas de la especie, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de recursos bibliográficos especializados, obtenidos de las siguientes fuentes: Google académico, Pubmed, Scopus, Science Direct y Dialnet, usando como palabras clave “*Chrysactinia mexicana*”, “etnobotánica”, “usos”, “fitoquímica”, “compuestos bioactivos”, “bioactividad”, tanto en español como en inglés, con diferentes combinaciones y seleccionando principalmente artículos revisados en pares desde 1950 hasta 2022.

Revisión de herbario y trabajo de campo

Para elaborar el mapa de distribución, se construyó una matriz de datos con los registros de sitios de distribución de la especie, los cuales se obtuvieron de las siguientes fuentes: 1) Recorridos de campo en los que se registraron las coordenadas geográficas por medio de GPS Oregon 650, 2) Revisión de ejemplares del herbario “Dr. J. Rzedowski” de la Universidad Autónoma de Querétaro (QMEX), 3) Base de datos del herbario (QMEX) y 4) Base de datos GBIF (Global Biodiversity Information Facility). Los recorridos de campo se llevaron a cabo de enero a diciembre del 2014, en el estado de Querétaro, principalmente en los municipios de la región del semidesierto: Colón, Cadereyta de Montes, Peñamiller y Tolimán, registrando las coordenadas en los sitios con la presencia de la especie. Todos los datos espaciales fueron trabajados en coordenadas geográficas, con datum y esferoide WGS84. Se usó el software ArcGIS 10 (ESRI, 2011), para la elaboración del mapa de distribución. Para identificar los factores bióticos y abióticos asociados a la distribución de la especie, se analizó la información usando SIG (Sistema de Información Geográfica), se efectuó una superposición de datos cartográficos con los sitios de distribución de la especie, usando el programa ArcGIS 10 (ESRI, 2011), se usó la información cartográfica de geología, sistemas de topoformas, edafología, clima, uso de suelo y vegetación. Las fuentes usadas fueron: 1. Carta Geológica 1:250,000 (INEGI, 1985b), 2. Sistemas de Topoformas 1:1,000,000 (INEGI, 2001), 3. Carta Edafológica 1:250,000 (INEGI, 1985a), 4. Carta de Climas 1:1,000,000 (INEGI, 2000) y 5. Carta de Uso de Suelo y Vegetación 1:250,000 (INEGI, 2013). La diferencia de escalas usadas para cada carta temática fue debida a la disponibilidad de la información en el INEGI. La Carta de Climas (INEGI, 2000) usada para el análisis de la información emplea la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García (García, 1964). Con la información obtenida de este procedimiento se elaboró una matriz de datos con la siguiente información: 1. Tipo de roca, 2. Edad de la roca, 3. Sistemas de topoformas, 4. Tipo de suelo, 5. Altitud (msnm), 6. Tipo de clima, 7. Isoyetas (mm), 8. Isotermas (°C) y 9. Tipo de vegetación observada de acuerdo a la clasificación propuesta por Rzedowski (Rzedowski, 2006). Los datos de altitud fueron tomados directamente en campo con un GPS Oregon 650, complementada con la información de las bases de datos. Para documentar la fenología, estrategias de propagación en poblaciones

silvestres y características de hábitat, se tomó como referencia los registros de su distribución y se llevaron a cabo recorridos de campo en el estado de Querétaro. Se corroboró su distribución y se seleccionó una población en la localidad de Sombrerete, Cadereyta de Montes, Querétaro, para ser monitoreada a lo largo de un año. Se recopiló información sobre intervalos de floración y fructificación, sus estrategias de reproducción en estado silvestre y sus características y necesidades de hábitat específicas. Finalmente, se resaltaron algunos usos potenciales de la especie con base al análisis de la información de usos tradicionales, los estudios fitoquímicos y de bioactividad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracteres morfológicos diagnósticos

En cuanto a sus caracteres morfológicos diagnósticos, *C. mexicana* se distingue por ser arbustos de tamaño pequeño (20-40 cm de alto) (Fig. 1A), con hojas pequeñas (5-20 mm de largo y de 1-2 mm de ancho), alternas, simples, lineares y succulentas. Se destaca la presencia de glándulas notorias en sus hojas, las cuales contienen aceites esenciales (Fig. 1B). Las inflorescencias son cabezuelas de 4-5 mm de alto, usualmente con 13 flores liguladas amarillas (Fig. 1C). Los frutos son aquenios estriados, de 3-4 mm de largo, cilíndricos (Fig. 1D) (Villareal, 2003).



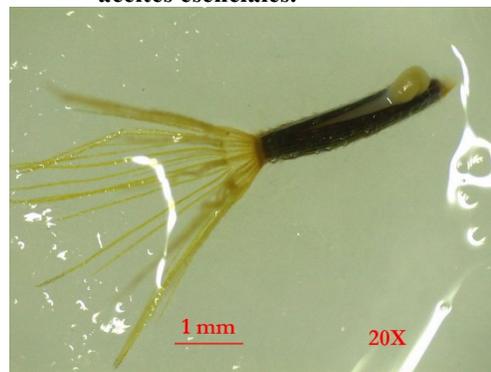
A. Hábito arbustivo.



B. Hojas con glándulas notorias, las cuales contiene aceites esenciales.



C. Inflorescencias.



D. Fruto (aquenio).

Fig. 1. Caracteres morfológicos diagnósticos de *Chrysactinia mexicana*: A. Hábito arbustivo; B. Hojas; C. Inflorescencias y D. Fruto (aquenio).

En la familia Asteraceae, la presencia de inflorescencias en cabezuelas con flores liguladas amarillas es muy común, por lo que para *C. mexicana* los caracteres morfológicos que permiten reconocerla fácilmente son sus hojas pequeñas, suculentas y cilíndricas, con glándulas traslúcidas muy notorias, las cuales contienen aceites esenciales. Otro carácter diagnóstico de la especie, aunque no morfológico, es el olor de las hojas al estrujarse, el cual también es muy característico. En *C. mexicana* los frutos son aquenios y éstos se consideran las unidades de dispersión de la especie, es decir, los frutos tienen función de semilla, lo cual es un aspecto que debe tomarse en cuenta para estudios posteriores sobre su propagación y manejo. Desde un enfoque agronómico, será necesario caracterizar las unidades de dispersión de la especie (aquenios).

Distribución

C. mexicana es una especie que pertenece a la familia Asteraceae, tribu Tagetae. Dicha tribu está conformada por alrededor de 20 géneros y 260 especies, con afinidad a las regiones áridas de América (Villareal, 2003). El género *Chrysactinia* contiene seis especies, de las cuales *C. mexicana* es la que presenta mayor área de distribución, la cual abarca desde el estado de Oaxaca en México hasta el suroeste de Estados Unidos (Villaseñor & Redonda-Martínez, 2009). Se registró su presencia en 16 estados de la República (Fig. 2): Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas, por lo que se considera una especie nativa de amplia distribución en México.

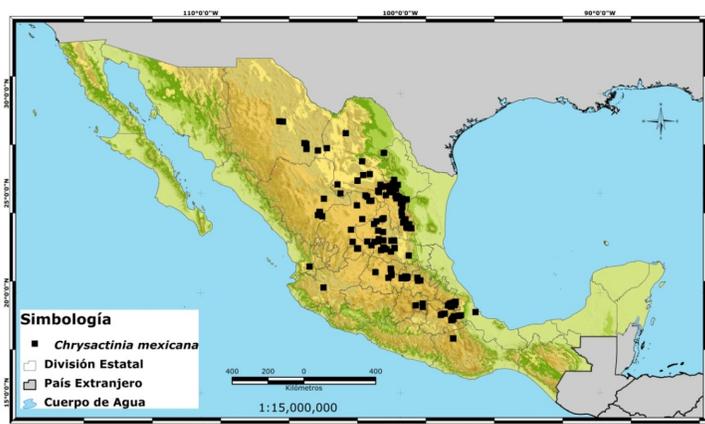


Fig. 2. Distribución de *Chrysactinia mexicana* en México.

En referencia a los factores bióticos y abióticos asociados a la distribución de *C. mexicana*, se observó que sus poblaciones silvestres se encuentran principalmente en roca caliza de la era Mesozoica periodo cretácico, con afinidad a sistemas de topografías de Sierras plegadas y en suelos de tipo Leptosol, ya sea rendzico, húmico o calcárico, con alta pedregosidad. Se distribuye en un intervalo de altitud de 750 a 2875 msnm. Se encuentra principalmente en regiones de clima templado subhúmedo Cx' y en menor proporción en climas semicálidos (A)C(w0). Tiene afinidad a regiones cuyo intervalo de precipitación es de 200 a 1500 mm, con mayor número de registros entre los 400 a 800 mm. La especie de estudio se distribuye en un intervalo de TMA (Temperatura Media Anual) entre los 14 a 22 °C, con mayor número de registros en el intervalo de 14 a 18 °C. Se asocia a vegetación de bosques de *Quercus*, bosque de *Juniperus*, bosque de *Pinus*, bosque de *Pinus-Quercus*, bosque tropical caducifolio, chaparral, matorrales xerófilos, matorral xerófilo crasicale, matorral subinermes, pastizal, vegetación halófila, vegetación riparia y como ruderal en ambientes perturbados, aunque su mayor afinidad es a matorrales xerófilos.

Hasta el presente estudio, no se habían descrito los factores bióticos y abióticos que se asocian a la distribución de *Chrysactinia mexicana*. Sin embargo, es necesario acotar que se trata de una primera aproximación para reconocer sus afinidades ambientales y ecológicas a nivel “macro”. Debido a que el análisis se llevó a cabo a partir de datos de distribución de la especie y sobreposición de información cartográfica (análisis SIG), es necesario mencionar que los resultados pueden presentar un sesgo de colecta, es decir, la especie puede estar sobrecolectada en algunas regiones y sin colecta en zonas de su distribución natural. Aun así, la información generada sienta las bases para estudios posteriores desde un enfoque agronómico y de conservación, dado que se trata de una especie con usos tradicionales y potenciales en la industria farmacéutica, cosmética y de alimentos. Los resultados muestran que, en México, *C. mexicana* se distribuye principalmente en las siguientes provincias biogeográficas: Desierto Chihuahuense, Sierra Madre Oriental y Faja Volcánica Transmexicana (Morrone, 2019), observándose una clara afinidad a la región Neártica. Su amplia distribución indica que se trata de una especie con baja especificidad de hábitat, lo cual se observa claramente en el amplio intervalo de altitud (de 2125 m), el amplio intervalo de precipitación (1300 mm) y la variedad de tipos de vegetación en los que se puede encontrar. Las observaciones de campo en la población monitoreada en Querétaro muestran que la especie tiene mayor afinidad hacia las regiones áridas y semiáridas con suelos calcáreos, así como a vegetación de matorral micrófilo muy abierto y en matorral xerófilo perturbado, en un intervalo altitudinal de 1800 a 2700 msnm. Asimismo, se registró que se encuentra en hábitats con 100% de radiación solar, sin necesidad de plantas nodrizas para su crecimiento.

Nombres comunes y usos tradicionales

Debido a su amplia distribución, en México recibe diferentes nombres comunes, se le conoce como “calanca” en Veracruz, “yeyepaxtle” en Puebla, “San Nicolás” y “hierba de San Nicolás” en Coahuila, Durango, Querétaro y San Luis Potosí, se le nombra “damiana” y “damianita” en Chihuahua y Durango, “mariola” en el Valle de México, “falsa damiana”, “garañona” y “romerillo” en Coahuila e Hidalgo (Cabrera, 2015; Martínez, 1967; Standley, 1920; Villareal, 2003). En referencia a sus usos medicinales tradicionales, de manera frecuente se registra el uso de sus hojas, tallos y flores para curar infecciones respiratorias, infecciones de la piel, dolores de estómago, diarrea, fiebre y reumatismo (Cárdenas-Ortega *et al.*, 2011; Guevara *et al.*, 2011), mientras que las raíces se usan principalmente para dolores postparto (Guerra-Boone *et al.*, 2013). Con menor frecuencia se mencionan sus efectos afrodisíacos, diuréticos, antiespasmódicos, energéticos, estimulantes, tónicos y para promover sudoración, así como sus usos para curar dolores menstruales, infertilidad de la mujer, enfermedades venéreas y leucorrea (Cabrera, 2015; González-Stuart, 2010; Nicholson & Arzeni, 1993; Zavala-Mendoza *et al.*, 2016).

C. mexicana presenta una amplia variedad de nombres comunes y usos tradicionales, lo cual pone de manifiesto el estrecho vínculo entre la especie y los habitantes de las regiones en las que se distribuye. Incluso el nombre de “yeyepaxtle” proviene del Nahuatl “yeyepachtli”, indicando que se trata de una especie usada por pueblos indígenas, formando parte de la diversidad biocultural de nuestro país. Una de las referencias más antiguas es la hecha por Standley (1920) en la que se mencionan nombres comunes en diferentes estados de México y Estados Unidos de América y algunos usos tradicionales. No se encontró alguna referencia sobre *Chrysactinia mexicana* en la Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana (BDMTM, 2009), por lo que se considera que documentar e integrar la información de los diversos artículos es un ejercicio importante en el conocimiento básico de la especie, lo cual redundará en su conservación.

Fenología y estrategias de propagación

Sobre la fenología de *C. mexicana*, estudios previos indican que florece de abril a octubre (Martínez, 1967), de marzo a noviembre (Villareal, 2003) e incluso todo el año (Villaseñor & Redonda-Martínez, 2009). Sin embargo, para el presente estudio, en la localidad que se monitoreó a lo largo del año, no fue posible corroborar el mismo periodo de floración. En la

localidad de Sombrerete, Cadereyta, Querétaro, la especie de estudio floreció de julio a septiembre y fructificó de agosto a octubre, es decir presentó un intervalo de tiempo más reducido en ambas fenofases. También se registró el solapamiento de las fenofases dentro de la población e incluso en una misma planta. Es decir, dentro de la población, es posible encontrar algunas plantas floreciendo y otras plantas fructificando (con aquenios), de manera sincrónica. Asimismo, en una planta es posible encontrar flores y frutos de forma sincrónica (Fig. 3). Durante la fenofase vegetativa, en los meses de noviembre a febrero, el número de individuos dentro de la población se reduce y las plantas presentan menor tamaño y cobertura (ramificación). Para el presente estudio, no se planteó como parte de los objetivos documentar la polinización de la especie, sin embargo, los visitantes florales observados fueron mariposas, moscas y abejas y considerando las características específicas de la flor y correlacionando con síndromes de polinización, se puede inferir que los polinizadores efectivos son las abejas. En referencia a las estrategias de propagación en poblaciones silvestre, se documentó que la especie se propaga principalmente de manera sexual a través de aquenios, dispersados por el viento. En relación a la propagación asexual, *C. mexicana* tiene la capacidad de propagarse por medio estolones subterráneos, los cuales presentan zonas meristemáticas (yemas) de donde emergen renuevos (Fig. 4). Es probable que los estolones subterráneos sean una estrategia de perennación durante la época de mayor sequía y frío (invierno), teniendo la capacidad de generar plantas nuevas en la siguiente época de calor y lluvia (verano). Se documentó que, las poblaciones silvestres presentes en el Estado de Querétaro son calcífilas y son resistente a altas temperaturas y a la sequía (Magallán-Hernández *et al.*, 2015). No se encontró información bibliográfica sobre el cultivo o propagación de la especie, en huertos peridomésticos por parte de la población rural y tampoco se encontró un protocolo de propagación para llevar a cultivo la especie. Sin embargo, si se ha observado la especie cultivada en algunos jardines botánicos, como el Jardín Botánico “Charco del Ingenio” en San Miguel de Allende, Gto., y el Jardín Botánico Universitario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla en Puebla, Pue. (obs. pers). En ambos casos, las instituciones no cuentan con publicaciones sobre su propagación.



A. Planta que presentan de manera sincrónica flores y frutos



B. Estolones.

Fig. 3. *Chrysactinia mexicana* A. Estrategia de propagación sexual a través de aquenios. B. Estrategia de propagación vegetativa y de perennación a través de estolones.

Fitoquímica y bioactividad

En referencia a los estudios hechos en *C. mexicana* con un enfoque fitoquímico y de bioactividad, se observa que es una especie ampliamente estudiada con ambos enfoques. Se revisaron 19 artículos científicos publicados desde 1985 hasta 2021, en los que se encontró que la especie cuenta con un gran número de metabolitos secundarios y también con una amplia variedad de efectos bioactivos (Cuadro 1 y 2). Los análisis fitoquímicos mostraron que contiene metabolitos secundarios de tres grupos principales: terpenos, compuestos fenólicos y glucósidos (Cárdenas-Ortega *et al.*, 2011). En los estudios revisados, la presencia o ausencia de los metabolitos secundarios, así como el porcentaje de los mismos, depende de muchas variables como el tipo de bioproducto que se usó en cada estudio, por ejemplo: aceite esencial, extracto acuoso, extracto etanólico o extracto metanólico. Otra variable es el órgano de la planta del cual se obtiene el bioproducto, por ejemplo, algunos estudios utilizaron el vástago completo, otros sólo las hojas y flores y en unos pocos se usó sólo la raíz de la planta. Un aspecto común en todos los estudios, es el uso de plantas provenientes de poblaciones silvestres, aunque colectadas en diferentes localidades, lo que implica hábitats con diferentes condiciones bióticas y abióticas (suelo, precipitación, temperatura, entre otras), las cuales no se encuentran documentadas en los estudios. La alta diversidad de metabolitos secundarios encontrados en *C. mexicana* (Cuadro 1), puede explicarse por la amplia diversidad de variables que determinan la producción de los mismos, como la genética, las condiciones ambientales, los órganos usados y la época de colecta. Los métodos de extracción en cada estudio, también es una variable que influye en los resultados obtenidos. Cabe destacar que se trata de una especie que habita a zonas áridas y semiáridas, por lo que está sometida a condiciones constantes de estrés hídrico y alta radiación solar, siendo probable que su metabolismo presente adaptaciones en este contexto.

Aunque *C. mexicana* presenta una amplia diversidad de metabolitos secundarios, los compuestos más notables son los terpenoides, destacando la piperitona, eucaliptol, acetato de linalilo, α -terpineol, silvestreno y terpineol, con diferentes porcentajes en cada estudio, obtenidos de los aceites esenciales de la planta (Cuadro 1). Otro grupo de metabolitos secundarios registrados para la especie, son los tiofenos, presentes en algunas especies de los géneros *Tagetes*, *Artemisia* y *Porophyllum* de la familia Asteraceae, los cuales son compuestos tóxicos con bioactividad contra diferentes patógenos incluyendo nematodos, insectos, hongos y bacterias (Ibrahim *et al.*, 2016).

Cuadro 1. Metabolitos secundarios identificados en *Chrysactinia mexicana*.

Metabolitos secundarios	Grupo / subgrupo	Órgano de obtención/ Bioproducto	Referencias
Tiofenos	Poliacetilenos	Partes aéreas / Extracto	(Dominguez & Vázquez, 1985)
Quercetagetina 3-glucosido; Quercetagetina 7-glucosido; 6-Hidroxikaempferol 7-glucosido; 6-Hidroxikaempferol 7-Acetil-glucosido	Flavonoides / Flavonoides glucosilados	Hojas / Extractos etanólicos	(Harborne <i>et al.</i> , 1991)
(+)-(4S)-Piperitona; (+)-(3S,4S,6R)-3,6 Dihidroxi-piperitona; (+)-4S-7-Acetoxi-piperitona; 4S-7-Hidroxi-piperitona (4S,6R)-Hidroxi-piperitona; (+)-(3S,4S,6R)-6 Hidroxi-piperitol	Terpenoides / Monoterpenoides	Aceite esencial	(Delgado <i>et al.</i> , 1993; Delgado & Ríos, 1991)
Xantorizol	Terpenoides / sesquiterpenoides	Aceite esencial	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011; Delgado <i>et al.</i> , 1993)

β -sitosterol; 5 α -Hidroxi-8,9 dihidrocarvona; 5 β -Hidroxi-8,9-dihidrocarvona	Esteroles; Terpenoides / Monoterpenoides	Partes aéreas	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011; Delgado <i>et al.</i> , 1993)
Eucaliptol (41.3 %); Piperitona (37.7%); Acetato de linalilo (9.1%)	Terpenoides / Monoterpenoides	Aceite esencial	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2005)
Piperitona (48.4%); Eucaliptol (22.1%); α -Terpineol (8.2%)	Terpenoides / Monoterpenoides	Partes aéreas / aceite esencial	(Atriano, 2009)
5-(3-buten-1-inil)-2,2'-bitienil (76.42%)	Terpenoides	Corteza de la raíz / Aceite esencial	(Guevara <i>et al.</i> , 2011)
Piperitona (48.4%); Eucaliptol (22.1%); α -Terpineol (7.7 %)	Terpenoides	Aceite esencial	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)
3-Cetoesteroide; 17-Cetoesteroide; 3,17-Dicetoesteroide	Esteroides	Aceite esencial	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)
Eucaliptol (92%)	Terpenoides	Partes aéreas / Fracción verdosa del aceite esencial	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)
(4S)-7-Acetoxi-piperitona; (4S)-7-Hidroxi-piperitona (4S,6R)- 6-Hidroxi-piperitona; (4S)- Piperitona	Terpenoides / Monoterpenoides	Partes aéreas	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)
(3S,4S,6R)-3,6 Dihidroxi-piperitona	Terpenoides / Monoterpenoides	Partes aéreas	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)
Silvestreno (36.77 %)	Terpenoides / Monoterpenoide alifático	Fracción incolora del aceite esencial	(Guerra-Boone <i>et al.</i> , 2013)
No se especifica	No se especifica	Hojas / Extractos acuosos y etanólicos	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)
Silvestreno Fracción incolora (36.8%); Fracción amarilla (41.1%)	Terpenoides / monoterpenoide	Raíces / Aceite esencial con dos fracciones: incolora y amarilla	(Guerra-Boone <i>et al.</i> , 2013)
Piperitona(52.1%); Eucaliptol (28.7%); Terpineol (9.9%)	Terpenoides / monoterpenoide	Hojas / Aceite esencial	(Zavala-Mendoza <i>et al.</i> , 2016)
Apigenina-7-glucosido	Flavona	Partes aéreas / extracto acuoso	(Estrada-Reyes <i>et al.</i> , 2016)
Ácido 4-O-glucosido-cafeico Ácido-1-cafeoilquinico; Ácido chicórico; Ácido-1,3-cafeoilquinico	Polifenoles / Ácidos hidroxicinámicos	Partes aéreas / extracto	(Gomez-Macias <i>et al.</i> , 2019)
Escopoletina;	Polifenoles / Hidroxicumarinas	Partes aéreas / extracto	(Gomez-Macias <i>et al.</i> , 2019)
Cianidina-3-O-rutinósido; Malvidina-3-O-glucósido; Petunidina-3,5-O-diglucósido	Polifenoles / Antocianinas	Partes aéreas / extracto	(Gomez-Macias <i>et al.</i> , 2019)
Quercetina-3-O-glucósido	Polifenoles / Flavonoles	Partes aéreas / extracto	(Gomez-Macias <i>et al.</i> , 2019)
Piperitona (29.58%); Eucaliptol (26.86%); α -Terpineol (14.65%); delta-3-careno (12.37%); Linalol (3.56%)	Terpenoides / monoterpenoides	Flores, hojas y ramas secundarias / Aceite esencial	(Medina-de la Cruz <i>et al.</i> , 2021)

C. mexicana presenta una notable bioactividad en diferentes sistemas. Los resultados de las investigaciones (Cuadro 2) muestran efectos positivos de los diferentes bioproductos contra bacterias, micobacterias, hongos y amibas. También se observó que el aceite esencial presenta acción insecticida y nematocida. Algunos estudios demostraron que presenta acción antiespasmódica, avalando su uso tradicional contra la diarrea (Cárdenas-Ortega *et al.*, 2011; Zavala-Mendoza *et al.*, 2016). Estudios más recientes han mostrado resultados positivos de algunos de sus componentes como antidepresivos y estimulantes del comportamiento sexual (Cassani *et al.*, 2015; Estrada-Reyes *et al.*, 2016). Finalmente, se ha demostrado que los compuesto polifenólicos presentes en la especie tienen capacidad antioxidante con importantes aplicaciones farmacológicas (Gomez-Macias *et al.*, 2019).

Cuadro 2. Estudios con enfoque de bioactividad y farmacológicos en *Chrysactinia mexicana*.

Órgano (s) / Bioproducto / metabolitos secundarios	Bioactividad	Referencias
Aceite esencial / Eucaliptol (41.3 %); Piperitona (37.7%); Acetato de linalilo (9.1%)	Medicinal e insecticida Piperitona inhibe crecimiento de <i>Aspergillus flavus</i>	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2005)
Partes aéreas	Actividad antimicrobial contra <i>Escherichia coli</i> (49.5%) y <i>Shigella flexneri</i> -2 (100%)	(Alanís <i>et al.</i> , 2005)
Polvo	Causa 100% de mortalidad en <i>Sitophilus zeamais</i>	(Juarez-Flores <i>et al.</i> , 2010)
Corteza de la raíz / Aceite esencial	Actividad antimicrobial contra <i>Streptococcus pneumoniae</i>	(Guevara <i>et al.</i> , 2011)
Hojas, flores y raíces / Extracto metanólico	Acción contra <i>Staphylococcus aureus</i>	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)
Aceite esencial / Piperitona (48.4%); Eucaliptol (22.1%); α -terpineol (7.7 %)	Medicinal e insecticida	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)
Aceite esencial / 3-Cetoesteroide; 17-Cetoesteroide; 3,17-Dicetoesteroide	Efecto estrogénico en ratas con ovarios extirpados	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)
Partes aéreas / (4S)-7-Acetoxi-piperitona; (4S)-7-Hidroxi-piperitona; (4S,6R)-6 Hidroxi-piperitona; (4S)-Piperitona	Toxicidad en larvas de <i>Artemia salina</i>	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)
Hojas / Extractos acuosos y etanólicos	Efecto contra <i>Shigella boydii</i> , <i>S. flexneri</i> , <i>S. sonnei</i> , <i>Salmonella enteritidis</i> , <i>S. typhi</i>	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)
Raíces y flores / Extractos éter etílicos	Actividad contra patógenos de pulmones como <i>Haemophilus influenzae</i> , <i>Streptococcus pneumoniae</i>	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)
Extractos	Efectos contra <i>Mycobacterium tuberculosis</i> y <i>M. avium</i>	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)
Extracto con hexano Crema aplicada de manera tópica	Reduce daños en la piel causados por <i>Microsporium canis</i> ; inhibe el crecimiento de <i>Fusarium solani</i> y <i>Aspergillus fumigatus</i>	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)
Aceite esencial	Acción contra <i>Candida albicans</i>	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)
Extracto acuoso	Acción amebicida contra <i>Entamoeba</i>	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)

	<i>histolytica</i>	
Hojas / Extracto metanólico	Fuerte actividad antioxidante y actividad antifúngica contra <i>Candida glabrata</i>	(Salazar-Aranda <i>et al.</i> , 2011)
Taninos gálicos (astringente) y pectinas (absorbente)	Acción antidiarreica	(Cárdenas-Ortega <i>et al.</i> , 2011)
Flavonoides y compuestos polifenólicos: Apigenina-7-O-(p-cumaroil-glucosido)	Induce efecto antidepresivo en ratones	(Cassani <i>et al.</i> , 2015)
Hojas / Aceite esencial / Piperitona (52.1%); Eucaliptol (28.7%); Terpineol (9.9%)	Función antiespasmódica, puede ser usado en el tratamiento de espasmos intestinales y procesos de diarrea.	(Zavala-Mendoza <i>et al.</i> , 2016)
Extracto acuoso / partes aéreas Apigenina-7-glucósido	Efectos estimulantes en el comportamiento sexual de ratas macho	(Estrada-Reyes <i>et al.</i> , 2016)
Hojas / Extracto etanólico	Mejora la respuesta inmune en pollitos en crecimiento, por lo que podría ser una alternativa para los antibióticos promotores del desarrollo en pollos de engorde.	(García-López <i>et al.</i> , 2017)
Partes aéreas /compuestos polifenolicos	Efecto contra <i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 13883, <i>Escherichia coli</i> ATCC 8739 y <i>Salmonella enteric</i> ATCC 7251 Inhibición moderada contra <i>Staphylococcus aureus</i> CDBB 1005	(Gomez-Macias <i>et al.</i> , 2019)
Partes aéreas / extractos/ compuestos polifenolicos	Capacidad antioxidante con aplicaciones importantes en farmacología	(Gomez-Macias <i>et al.</i> , 2019)
Piperitona (29.58%); Eucaliptol (26.86%); α -terpineol (14.65%); delta-3-careno (12.37 %); Linalool (3.56 %)	Efecto fungicida en <i>Candida glabrata</i>	(Medina-de la Cruz <i>et al.</i> , 2021)
Aceite esencial	Efecto fungicida y fungistático en aislados clínicos de <i>Candida albicans</i> de mujeres con Neoplasia Intraepitelial cervical.	(Mendoza-Hernández <i>et al.</i> , 2021)

Los estudios de bioactividad y farmacológicos llevados a cabo en *Chrysactinia mexicana* muestran que se trata de una especie con un alto potencial para diversos usos entre los que destacan su actividad antifúngica y antibacteriana, avalando su uso medicinal contra enfermedades respiratorias y de la piel. Los estudios llevados a cabo hasta el momento (Cuadro 1 y 2) también avalan su uso medicinal contra la diarrea y los dolores menstruales, debido a su acción antiespasmódica. Sus usos tradicionales como tónico y estimulante, se avala por su claro efecto antidepresivo. Los aceites esenciales de la especie tienen un alto potencial para el manejo de plagas y enfermedades en cultivos de importancia económicas y para un manejo orgánico de estos. Su capacidad antioxidante le confiere potencial en la industria de alimentos. Finalmente, por sus propiedades contra infecciones cutáneas y por su efecto relajante y antidepresivo sus aceites esenciales también tienen un alto potencial de uso en la industria cosmética.

CONCLUSIONES

Chrysactinia mexicana es una planta medicinal con alta diversidad de usos tradicionales, la cual se ha estudiado principalmente desde un enfoque fitoquímico, de bioactividad y farmacológico. El presente estudio aporta información importante para la especie en aspectos básicos de su biología, fenología y ecología, así como una revisión de los estudios que avalan sus usos tradicionales y potenciales. Se destaca que todos los estudios revisados desde 1985 hasta 2021,

se realizaron con plantas colectadas en poblaciones silvestres. Dado el alto potencial de la especie para diversos usos, se resalta la importancia de iniciar con investigación que permitan su propagación y establecimiento en cultivo a través de protocolos de propagación sexual y asexual. Es decir, para poder aprovechar la especie y conservarla *in situ*, es necesario llevar a cabo estudios desde un enfoque agronómico, que incluyan tanto la caracterización de la semilla, el manejo de plantas de la especie en agricultura protegida y/o en parcelas a cielo abierto, la determinación de las condiciones ambientales óptimas para la producción de los metabolitos secundarios de interés, entre otros.

LITERATURA CITADA

- Alanís, A. D., Calzada, F., Cervantes, J. A., Torres, J., & Ceballos, G. M. (2005). Antibacterial properties of some plants used in Mexican traditional medicine for the treatment of gastrointestinal disorders. *Journal of Ethnopharmacology*, 100(1–2), 153–157. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.02.022>
- Atriano, C. M. . (2009). *Composición química y actividad antibacterial de cuatro especies de Guadalcázar, S.L.P.* Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P. México.
- BDMTM. (2009). *Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México e Instituto Nacional Indigenista.
- Cabrera, J. A. (2015). *Plantas medicinales del estado de Querétaro, México; con base a ejemplares de herbario*. (p. 159). Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro.
- Cárdenas-Ortega, N. C., Juárez-Flores, B. I., Pinos-Rodríguez, J. M., & Aguirre-Rivera, J. R. (2011). Biocide effects of *Chrysactinia mexicana* A. Gray. *Plant-Phytochemicals in Animal Nutrition*, November 2015, 119–134. <https://doi.org/10.1055/s-2007-986995>
- Cárdenas-Ortega, N. C., Zavala-Sánchez, M. A., Aguirre-Rivera, J. R., Pérez-González, C., & Pérez-Gutiérrez, S. (2005). Chemical composition and antifungal activity of essential oil of *Chrysactinia mexicana* Gray. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(11), 4347–4349. <https://doi.org/10.1021/jf040372h>
- Cassani, J., Ferreyra-Cruz, O. A., Dorantes-Barrón, A. M., Viguera, R. M., Arrieta-Baez, D., & Estrada-Reyes, R. (2015). Antidepressant-like and toxicological effects of a standardized aqueous extract of *Chrysactinia mexicana* A. Gray (Asteraceae) in mice. *Journal of Ethnopharmacology*, 171, 295–306. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.05.055>
- Delgado, G., & Ríos, M. Y. (1991). Monoterpenes from *Chrysactinia mexicana*. *Phytochemistry*, 30(9), 3129–3131. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)98268-2](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)98268-2)
- Delgado, G., Rios, M. Y., & Rodriguez, C. (1993). Additional terpenoids from *Chrysactinia mexicana*. In *Planta Medica* (Vol. 59, Issue 5, p. 482). <https://doi.org/10.1055/s-2006-959742>
- Domínguez, X. A., & Vázquez, G. (1985). Constituents from *Chrysactinia mexicana*. *Journal of Natural Products*, 48(4), 681–682.
- ESRI. (2011). *Environmental Systems Research Institute*. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA.
- Estrada-Reyes, R., Ferreyra-Cruz, O. A., Jiménez-Rubio, G., Hernández-Hernández, O. T., & Martínez-Mota, L. (2016). Prosexual effect of *Chrysactinia mexicana* A. Gray (Asteraceae), false damiana, in a model of male sexual behavior. *BioMed Research International*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/2987917>
- García-López, J. C., Álvarez-Fuentes, G., Pinos-Rodríguez, J. M., Jasso-Pineda, Y., Contreras-Treviño, H. I., Camacho-Escobar, M. A., López-Aguirre, S., Lee-Rangel, H. A., & Rendón-Huerta, J. A. (2017). Anti-inflammatory Effects of *Chrysactinia mexicana* Gray Extract in Growing Chicks (*Gallus gallusdomesticus*) Challenged with LPS and PHA. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(1), 550–562. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.601.068>

Recibido:
10/mayo/2022

Aceptado:
15/enero/2023

- García, E. (1964). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la republica mexicana)*. Offset Larios S.A. <https://www.igg.unam.mx/geoigg/biblioteca/archivos/memoria/20190917100949.pdf>
- Gomez-Macias, E., Mellado-Bosque 1, M. A., Ascacio-Valdes, J. A., Aguirre-Arzola, V. E., Martinez-Avila, G. C. G., Aguilar, C. N., & Aaguilera-Carbo. (2019). Polyphenolic profile antioxidant potential and antimicrobial activity of *Chrysactinia mexicana* A. Gray (Hierba de San Nicolas). *International Journal of Pharmacognosy*, 6(12), 390–396.
- González-Stuart, A. E. (2010). Use of Medicinal Plants in Monterrey, Mexico. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(4), 07–11. <https://doi.org/10.15835/nsb245399>
- Guerra-Boone, L., Álvarez-Román, R., Salazar-Aranda, R., Torres-Cirio, A., Rivas-Galindo, V. M., De Torres, N. W., González, G. M. G., & Pérez-López, L. A. (2013). Chemical compositions and antimicrobial and antioxidant activities of the essential oils from *Magnolia grandiflora*, *Chrysactinia mexicana*, and *Schinus molle* found in northeast Mexico. *Natural Product Communications*, 8(1), 135–138. <https://doi.org/10.1177/1934578x1300800133>
- Guevara, B. M. M., Torres, A., Rivas, V. M., Salazar, R., Waksman, N., & Pérez-López, L. A. (2011). Activity against *Streptococcus pneumoniae* of the essential oil and 5-(3-buten-1-ynyl)-2, 2'-bithienyl isolated from *Chrysactinia mexicana* roots. *Natural Product Communications*, 6(7), 1035–1038. <https://doi.org/10.1177/1934578x1100600728>
- Harborne, J. B., Greenham, J., Eagles, J., & Wollenweber, E. (1991). 6-Hydroxyflavonol glycosides from *Chrysactinia mexicana*. *Phytochemistry*, 30(3), 1044–1045. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)85311-M](https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)85311-M)
- Iannicelli, J., Guariniello, J., Álvarez, S. P., & Escandón, A. (2018). Traditional uses, conservation status and biotechnological advances for a group of aromatic / medicinal native plants from America. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, 17(5), 453–491.
- Ibrahim, S. R. M., Abdallah, H. M., El-Halawany, A. M., & Mohamed, G. A. (2016). Naturally occurring thiophenes: isolation, purification, structural elucidation, and evaluation of bioactivities. *Phytochemistry Reviews*, 15(2), 197–220. <https://doi.org/10.1007/s11101-015-9403-7>
- INEGI. (1985a). *Conjunto de Datos Vectoriales Edafológicos Escala 1:250,000 Serie II, Continuo Nacional*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (1985b). *Conjunto de Datos Vectoriales Geológicos Escala 1:250,000 Serie I, Continuo Nacional*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (2000). *Conjunto de Datos Vectoriales de Climas. Escala 1:1,000,000 Serie I, Continuo Nacional*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (2001). *Conjunto de Datos Vectoriales Fisiográficos. Escala 1:1,000,000 Serie I, Continuo Nacional*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (2013). *Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250,000 Serie 5, Capa unión*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Juarez-Flores, B., Jasso-Pineda, Y., Aguirre-Rivera, J. R., & Jasso-Pineda, I. (2010). Efecto de polvos de asteráceas sobre el gorgojo del maíz. *Polibotánica*, 30, 123–135.
- Juárez-Rosete, C., Aguilar-Castillo, J., Juárez-Rosete, M., Bugarin-Montoya, R., Juárez-López, P., & Cruz-Crespo, E. (2013). Herbs and Medicinal Plants in Mexico : Tradition &. *Bio Ciencias*, 2(3), 119–129.
- Magallán-Hernández, F., Alvarado, A., Ocampo, R., & Guerrero, L. (2015). *Protocolos de propagación de plantas nativas aromáticas y medicinales con uso potencial en la industria farmacéutica y cosmética* (p. 52).
- Martínez, M. (1967). *Las plantas medicinales de México* (sexta). Librería y Ediciones Botas.
- Medina-de la Cruz, O., Leal-Moralesb, C. A., Meza-Menchaca, T., Guillen, L., & Juárez-Flores, B. I. (2021). Efecto del aceite esencial de *Chrysactinia mexicana* A. Gray sobre aislados clínicos de *Candida glabrata*. *Biotechnia*, XXIII(1), 28–35. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v23i1.1265>

- Mendoza-Hernández, C., Medina-de la Cruz, O., Díaz-Palma, R. M., Carranza-Betancourt, O., Gallegos-García, M., Escoto-Chávez, S. E., & Gallegos-García, V. (2021). Efecto del aceite esencial de *Chrysactinia mexicana* A. Gray en aislados clínicos de *Candida albicans* de mujeres con neoplasia intraepitelial cervical. *Rev Med UAS*, 11(1), 26–36. <https://doi.org/10.28960/revmeduas.2007-8013.v11.n1.004>
- Morrone, J. J. (2019). Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: encrucijada de la biodiversidad del Nuevo Mundo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(0), 1–68. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2980>
- Muñeton, P. (2009). Plantas medicinales: un complemento vital para la salud de los mexicanos. *Revista Digital Universitaria*, 10(9), 2–9. <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num9/art58/int58.htm>
- Nicholson, M., & Arzeni, C. (1993). The Market Medicinal Plants of Monterrey, Nuevo León, México. *Economic Botany*, 47(2), 184–192. <https://doi.org/10.1007/BF02862021>
- Palma-Tenango, M., Soto-Hernández, M., & Aguirre-Hernández, E. (2017). Flavonoids in Agriculture. *Flavonoids - From Biosynthesis to Human Health*, August. <https://doi.org/10.5772/intechopen.68626>
- Peña-Rodríguez, L. M., Durán-García, R., Vera-Ku, M., Fuentes-García, A., & Domínguez-Carmona, D. B. (2010). Recursos con potencial económico I Flora nativa como fuente potencial de nuevos fármacos. *Biodiversidad y Desarrollo Humano En Yucatán*. <https://doi.org/https://www.cicy.mx/sitios/biodiversidad-y-desarrollo-humano-en-yucatan>
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (1a digital). Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf
- Salazar-Aranda, R., Pérez-López, L. A., López-Arroyo, J., Alanís-Garza, B. A., & Waksman de Torres, N. (2011). Antimicrobial and antioxidant activities of plants from northeast of Mexico. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2011. <https://doi.org/10.1093/ecam/nep127>
- Standley, P. (1920). *Trees and shrubs of Mexico* (Vol. 23, Issue 1). Smithsonian Libraries. <https://doi.org/https://doi.org/10.5962/bhl.title.15726>
- Villareal, J. Á. (2003). Familia Compositae: Tribu Tageteae. *Flora Del Bajío y de Regiones Adyacentes, Fascículo*, 769–783. <http://inecolbajio.inecol.mx/floradelbajio/documentos/fasciculos/ordinarios/Compositae-Tageteae 113.pdf>
- Villarreal, M. L., Cardoso-Taketa, A., Ortiz, A., & Sharma, A. (2014). Biotecnología para producir medicinas de plantas mexicanas. *Revista Digital Universitaria*, 15(8), 1–15. <http://www.revista.unam.mx/vol.15/num8/art62/%5CnBIOTECNOLOGIA>
- Villaseñor, J. L., & Redonda-Martínez, M. del R. (2009). El género *Chrysactinia* (Asteraceae, tribu Tageteae) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80(001), 29–37. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2009.001.580>
- Waizel, J. (2010). *Las plantas medicinales y las ciencias: una visión multidisciplinaria*.
- Zavala-Mendoza, D., Grasa, L., Zavala-Sánchez, M. Á., Pérez-Gutiérrez, S., & Murillo, M. D. (2016). Antispasmodic effects and action mechanism of essential oil of *Chrysactinia mexicana* A. Gray on rabbit ileum. *Molecules*, 21(783), 1–12. <https://doi.org/10.3390/molecules21060783>

USOS DEL PALO DULCE
Eysenhardtia polystachya (Ort.) Sarg.,
EN CUATRO MUNICIPIOS DEL
ESTADO DE MORELOS, MÉXICO

USES OF KIDNEYWOOD
Eysenhardtia polystachya (Ort.) Sarg.,
IN FOUR MUNICIPALITIES OF
THE STATE OF MORELOS,
MEXICO

Lorenzo-Barrera, N.A.; M. Andrade Rodríguez; O.G. Villegas Torres; E. Román Montes de Oca; H. Sotelo Nava; T. de J. Rodríguez Rojas y R. Suárez Rodríguez
USOS DEL PALO DULCE *Eysenhardtia polystachya* (Ort.) Sarg., EN CUATRO MUNICIPIOS DEL ESTADO DE MORELOS, MÉXICO
USES OF KIDNEYWOOD *Eysenhardtia polystachya* (Ort.) Sarg., IN FOUR MUNICIPALITIES OF THE STATE OF MORELOS, MEXICO



Usos del palo dulce *Eysenhardtia polystachya* (Ort.) Sarg., en cuatro municipios del estado de Morelos, México

Uses of kidneywood *Eysenhardtia polystachya* (Ort.) Sarg., in four municipalities of the state of Morelos, Mexico

Lorenzo-Barrera, N.A.;
M. Andrade Rodríguez;
O.G. Villegas Torres;
E. Román Montes de Oca;
H. Sotelo Nava;
T. de J. Rodríguez Rojas
y R. Suárez Rodríguez

USOS DEL PALO DULCE
Eysenhardtia polystachya (Ort.)
Sarg., EN CUATRO
MUNICIPIOS DEL ESTADO
DE MORELOS, MÉXICO

USES OF KIDNEYWOOD
Eysenhardtia polystachya (Ort.)
Sarg., IN FOUR
MUNICIPALITIES OF THE
STATE OF MORELOS,
MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 55: 161-177. Enero 2023

DOI:

10.18387/polibotanica.55.11

NA. Lorenzo-Barrera
M. Andrade Rodríguez / maria.andrade@uaem.mx
O.G. Villegas Torres
E. Román Montes de Oca
H. Sotelo Nava
T. de J. Rodríguez Rojas

Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Morelos,
Av. Universidad 1001 Chamilpa, 62209 Cuernavaca, Morelos,
México. Tel.: 777 329 7000

R. Suárez Rodríguez
Centro de Investigación en Biotecnología,
Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001 Chamilpa,
62209 Cuernavaca, Morelos, México. Tel.: 777 329 7000

RESUMEN: Las plantas medicinales son la opción primaria para la salud en comunidades rurales, la conservación del conocimiento de la forma de uso de estas plantas es de vital importancia; además, el estudio de estas sirve de base para continuar con su utilización como una alternativa terapéutica. El objetivo de la investigación fue documentar el valor de uso, importancia cultural, forma de obtener la planta medicinal y el patrón de conocimiento etnobotánico de *Eysenhardtia polystachya* (Ort.) Sarg., para el tratamiento alternativo de afecciones a la salud de la población en los municipios de Tepoztlán, Tlayacapan, Cuautla y Yecapixtla, Morelos. La investigación presenta un diseño y análisis mixto (cualitativo y cuantitativo). El análisis cualitativo se basó en entrevistas semiestructuradas a 75 informantes por municipio de enero a mayo del 2021; para el análisis cuantitativo se calculó el índice de valor de uso (IVU, para determinar la importancia cultural de la especie), el nivel de uso significativo trámite (UST, para forma de uso) y prueba de chi cuadrada (para determinar la relación y diferencias entre variables). Los resultados muestran que *E. polystachya* es una planta utilizada en la medicina tradicional, con un IVU de 1, lo que indica que le dan tres usos (medicinal para humanos, medicinal para animales y como material de uso doméstico); con un UST de 26.66% en aceptación cultural; es comúnmente llamada palo dulce; utilizada principalmente para la infección de los riñones (68%), la principal forma de preparación es el remojo de tallos (78%). Las pruebas de Chi cuadrada indicaron que las personas que conocen *E. polystachya* están relacionadas con el municipio donde viven, con su ocupación, el tipo de vivienda, tipo de enfermedad para la que utilizan la planta, en la forma de obtenerla y la forma en que se transmite el conocimiento de esta planta. En conclusión, *E. polystachya*, es una especie de importancia cultural y multipropósito, la demanda local ocasiona que la tomen directamente de su hábitat natural; por lo cual es necesario promover estrategias de manejo, priorizando la propagación para la conservación y aprovechamiento, además de fomentar la transmisión del conocimiento tradicional para evitar la erosión del saber cultural.

Palabras clave: Medicina tradicional; conocimiento etnobotánico; palo dulce

ABSTRACT: Medicinal plants are the primary option for health in rural communities, the conservation of knowledge of the way these plants are used is of vital importance;

In addition, the study of these serves as a basis to continue with its use as a therapeutic alternative. The objective of the research was to document the value of use, cultural importance, way of obtaining the medicinal plant and the pattern of ethnobotanical knowledge of *Eysenhardtia polystachya* (Ort.) Sarg., for the alternative treatment of health conditions of the population in the municipalities of Tepoztlán, Tlayacapan, Cuautla and Yecapixtla, Morelos. The research presents a mixed design and analysis (qualitative and quantitative). The qualitative analysis was based on semi-structured interviews with 75 informants per municipality from January to May 2021; For the quantitative analysis, the use value index (IVU to determine the cultural importance of the species), the level of significant use tramil (UST for form of use) and the chi square test (to determine the relationship and differences between variable). The results show that *E. polystachya* is a plant used in traditional medicine, with an IVU of 1, which indicates that it has three uses (medicinal for humans, medicinal for animals and as a material for domestic use); with a UST of 26.66% with cultural acceptance; it is commonly called palo dulce; Mainly used for kidney infection (68%), the main form of preparation is stem soaking (78%). Chi square tests indicate that people who know *E. polystachya* are related to the municipality where they live, their occupation, the type of housing, type of disease for which they use the plant, how to obtain it and how it is transmitted. knowledge of this plant. In conclusion, *E. polystachya* is a species of cultural importance and multipurpose, the local demand causes it to be taken directly from its natural habitat; Therefore, it is necessary to promote management strategies prioritizing propagation for conservation and use, in addition to promoting the transmission of traditional knowledge to prevent the erosion of cultural knowledge.

Key words: Traditional medicine; ethnobotanical knowledge; sweet stick.

INTRODUCCIÓN

La etnobotánica, es una disciplina entre la botánica y la etnología, es la ciencia que busca rescatar el conocimiento del saber botánico tradicional de múltiples plantas, entre ellas las medicinales. Los extractos o los principios activos de las plantas medicinales se han empleado históricamente con propósitos terapéuticos, para contrarrestar dolencias o enfermedades para la salud humana, conocimientos que han sido transmitidos de generación en generación, asegurando su continuidad a través del tiempo (Bermúdez *et al.*, 2005; Hernández-Guerrero *et al.*, 2018; Zambrano-Intriago *et al.*, 2015; Zhiminaicela-Cabrera *et al.*, 2020). Este conocimiento también es de gran relevancia para contribuir de manera efectiva a mejorar los niveles de vida de las poblaciones rurales, ya que las plantas, entre otros usos, proporciona elementos para generar nuevos fármacos; ayuda a entender aspectos relacionados con diversidad vegetal, usada con fines medicinales, cuáles especies tienen mayor valor de uso en una determinada área o comunidad, ya que puede tener implicaciones para la conservación y manejo de los recursos forestales, además de ayudar a comprender el proceso de adquisición de éste y los cambios que ocurren a través del tiempo (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2014; Reimers *et al.*, 2019). El uso del conocimiento de la medicina tradicional debe basarse en la recopilación, sistematización y estudio de la información sobre la forma de uso tradicional, por lo que el registro permite la conservación de este vasto conocimiento (Gual, 2018; Monroy-Ortiz & Monroy, 2004).

Se han realizado estudios importantes sobre la biodiversidad en México, donde se estima que hay entre 3,000 a 5,000 especies de plantas medicinales, las cuales son principalmente cosechadas de los ambientes silvestres (90%) (Caballero & Cortés, 2001; Gual, 2018). En el estado de Morelos, Tapia (2018) reporta que desde 1438, cuando Moctezuma conquistó Oaxtepec encontró que muchas plantas eran usadas con fines medicinales. La mayoría de las comunidades rurales tiene relación directa con este tipo de plantas, con gran apego a la persistencia de creencias y costumbres sobre su uso, formando parte de su identidad cultural en pueblos de los municipios de Tepoztlán, Tlayacapan, Yecapixtla, Cuautla en la parte noreste del estado, con gran afluencia de personas, a los cuales acude una parte de la población por su

riqueza cultural y botánica. Además, el uso de plantas medicinales tradicionalmente ha sido considerado como una alternativa terapéutica básica para la población (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2014; Blancas *et al.*, 2020; Hernández-Guerrero *et al.*, 2018). Morelos se ha posicionado como una de las cuatro entidades que dota plantas medicinales al país; ocho de cada 10 morelenses acuden con un curandero para mejorar su salud (Tapia, 2018).

Dentro de las plantas medicinales más utilizadas destaca la familia Fabaceae por su importancia cultural y económica (Gual, 2018; Monroy-Ortiz & Monroy, 2004) dentro de esta familia se encuentra *E. polystachya* como una de las plantas más importantes por su frecuencia de uso y diversidad (Monroy-Ortiz & Monroy, 2004; Quevedo, 2015). De acuerdo con la CONABIO (2022), los nombres comunes con los cuales también se le conoce son: vara dulce, varaduz (Durango), palo azul, palo dulce (Sinaloa, Hidalgo, Puebla, Michoacán, Morelos), palo cuate, rosilla (Sinaloa); indican que se usa como forraje para ganado caprino y ovino, material para construcción de viviendas rurales, sus ramas y troncos por su dureza son utilizados como postes y leña. También está reportada como de uso medicinal (su albura y duramen), tanto para humanos como para animales, en enfermedades del sistema digestivo e inflamaciones, para problemas renales (Gutiérrez & Baez, 2014), con propiedades antibióticas (Rivas-Morales *et al.*, 2009; Rosas-Piñón *et al.*, 2012) y antimicóticas debido a que contienen una gran cantidad de principios activos que las hacen tóxicas para los microorganismos (Bernabé-Antonio *et al.*, 2017). Además, las plantas medicinales que son de gran valor cultural y económico (por la recolección de algunas de sus partes) presentan mayor riesgo de sobreexplotación debido a que son cosechadas de su zona ecológica de procedencia, para el autoconsumo y el comercio; sin embargo, se señala que los datos de volumen cosechado de las especies por región son limitados o no están disponibles (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2017; Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2020).

Lo anterior indica que es importante documentar el conocimiento tradicional relacionado con el palo dulce, en comunidades rurales de la zona noreste del estado de Morelos, dado que reportes previos solo se han orientado a hacer inventarios de plantas útiles (Monroy-Ortiz & Monroy, 2004), y un artículo de investigación etnobotánica en la Sierra de Huautla (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2014), por lo que se requiere un estudio etnobotánico a más profundidad que permita examinar aspectos ecológicos y sociales (género, ocupación, nivel educativo, relación con otras comunidades y uso del recurso natural), que dan forma a los conocimientos tradicionales relacionados con *E. polystachya*.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el valor de uso, la importancia cultural, las formas de obtención y el patrón de conocimiento etnobotánico de *E. polystachya* (Ort.) Sarg., para el tratamiento alternativo de afecciones a la salud que posee la población en los municipios de Tepoztlán, Tlayacapan, Yecapixtla y Cuautla, Morelos. Lo anterior proporcionará información que ayudará a comprender las relaciones entre el conocimiento etnobotánico, uso y manejo de la planta y permitirá el desarrollo de enfoques para conservar esta especie silvestre.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio etnobotánico se llevó a cabo en el estado de Morelos, México, en cuatro municipios: Tepoztlán, localizado a una latitud 18°59'10" N, longitud 99°06'01" O y altitud de 1740 msnm; Tlayacapan, a una latitud 18°95'55" N, longitud 98°98'11" O y altitud de 1640 msnm; Yecapixtla, localizado a una latitud 18°52'59" N, longitud 98°51'53" O y altitud de 1590 msnm; y Cuautla, localizado a una latitud 18°48'44" N, longitud 98°57'21" O y altitud de 1318 msnm (Fig. 1).

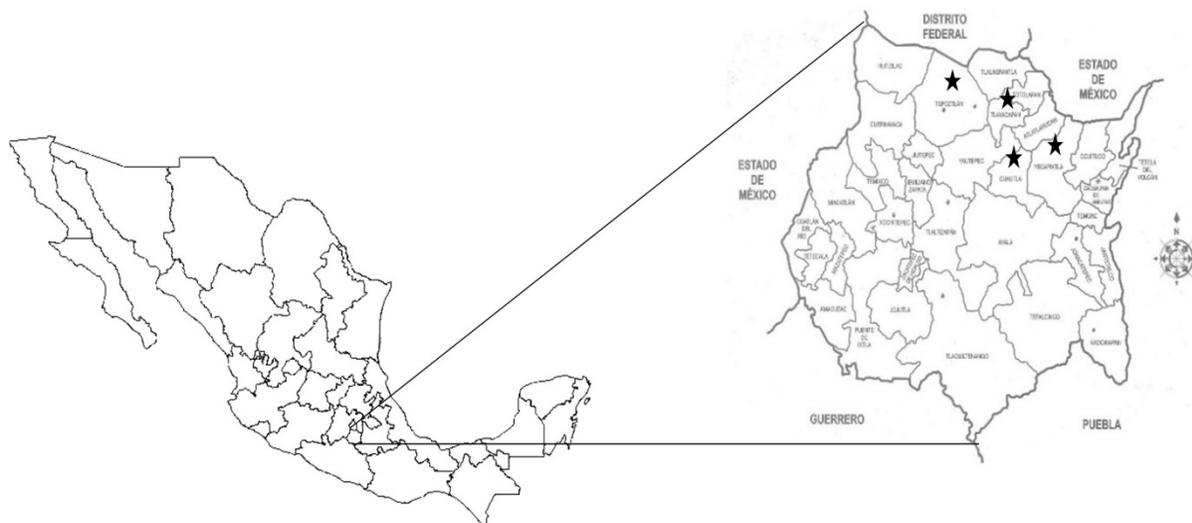


Fig. 1. Mapa de ubicación de los cuatro municipios del estado de Morelos, México en donde se realizaron las encuestas del estudio etnobotánico. Elaboración propia, con imágenes tomadas de internet.

En las entrevistas se presentó una muestra de la planta *E. polystachya*, elaborada con un ejemplar recolectado en Tlayacapan para tener la certeza de que tanto el entrevistador como el entrevistado se referían a la misma especie. El presente estudio partió de un análisis y diseño mixto, a través de la investigación cualitativa y cuantitativa.

Análisis cualitativo de la investigación

Para el análisis cualitativo se emplearon entrevistas semi-estructuradas (Alexiades, 1996), dirigidas a informantes clave (especialistas locales en herbolaria) (Hernández-Guerrero *et al.*, 2018; Katayama, 2014), mediante el muestreo bola de nieve (Goodman, 1961), principalmente en mercados y en hogares. Las entrevistas fueron realizadas de enero a mayo del 2021, para su realización se utilizaron cuestionarios. Para determinar el tamaño de la muestra a entrevistar, se usó la ecuación y las indicaciones de García-García *et al.* (2013).

$$n=(Z\alpha)^2 * p (1-p) /m^2$$

Donde $Z\alpha$: Es el nivel de confianza elegido para α ; para una confianza del 95 % ($\alpha = 0.05$). Este valor es 1.96; p : Es la probabilidad estimada o estimación puntual (5 %); m : Es el margen de error admitido del 5 %, cuyo valor estándar es 0.05, es decir la precisión del estudio.

De acuerdo con la formula anterior, n es $(1.96)^2 * 0.05(1-0.05) / 0.05^2 = 72.99$ de 72.99; es decir, el tamaño mínimo de la muestra es 73 individuos. Teniendo en cuenta n , para minimizar el error, se entrevistaron 75 personas por municipio, 300 en total.

En las entrevistas semiestructuradas se registraron los conocimientos de las comunidades, a partir de un guion de entrevista, que contenía información sobre: 1. Aspectos sociodemográfico (sexo, edad, escolaridad, domicilio); 2. Aspecto sociocultural, sobre el nombre con el que conocen a la planta, los principales usos, tipo de enfermedad para la cual es utilizada, forma de preparación, parte de la planta que se usa, cantidad de la planta utilizada, si se combina con otro tipo de planta, tiempo durante el cual toma el tratamiento, procedencia del material que se utiliza, quién le transfirió el conocimiento de uso medicinal, si se cuida o propaga la planta, y cuestiones que condicionarán sus costumbres.

Análisis estadísticos

Los datos obtenidos fueron analizados mediante la prueba de Chi cuadrada (X^2), $p \leq 0.05$ que se usó para determinar si existía una relación significativa de las variables por efecto del municipio. Nunkoo & Mahomoodally (2012); Zambrano-Intriago *et al.* (2015), indican que esta prueba es de utilidad para evaluar el impacto de diferentes variables sobre el uso de plantas en estudio.

Con el total de la información obtenida de las entrevistas realizadas a los distintos informantes se calcularon los índices de valor de uso significativo (IVU) para determinar la importancia de la especie identificada y nivel de uso significativo trámite (UST) que es la aceptación cultural (Jiménez-Romero *et al.*, 2019; Zambrano-Intriago *et al.*, 2015). Los índices constituyen una técnica que evalúa solo uno de los atributos relacionados con el conocimiento tradicional y pueden servir de referencia para selección de especies de interés (Rodríguez *et al.*, 2018; Toyo-Fernández, 2020). Aunque Coe & Gaoue (2020), señalan que es conveniente el uso cauteloso de los índices de importancia cultural para inferir el estado cultural clave de las especies.

El IVU, este índice expresa la importancia del valor de uso cultural de una especie determinada para todos los informantes entrevistados, a través de la sumatoria del uso de la especie que menciona cada entrevistado dividido entre el total de informantes. IVU se calcula mediante la ecuación:

$$IVU = \sum VU_{is} / N_s$$

Donde IVU: Importancia de Valor de uso de la especie.

VU_{is}: Es el valor de uso de la especie por cada informante (MAT+MED+MEDAN).

N_s: Número de informantes.

Las categorías de uso de la planta de estudio han sido adaptadas de Jiménez-Romero *et al.* (2019)(Tabla 1).

Tabla 1. Categorías y subcategoría de uso de *E. polystachya* reportadas en cuatro municipios del estado de Morelos.

Nº	Categoría de uso	Subcategoría
1	Material doméstico (MAT): Especie que proporcionan servicios al hombre	-Material de construcción, de viviendas rurales uso como postes, cercos, leña, carbón
2	Medicinal (MED): Especie que se vincula al tratamiento de dolencias y enfermedades renales	-Enfermedades del sistema urinario (riñones, vejiga, cálculos renales)
3	Medicinal para animales (MEDAN): Especie usada para tratar animales domésticos por sus propiedades antibióticas	-Sistema digestivo -Infección -Enfermedades referentes al sistema urinario

Nivel de uso significativo Trámil (UST). Para estimar el nivel de uso significativo para la especie y su aceptación cultural, se utilizó la metodología propuesta por Germosén *et al.* (2017), donde expresan el uso citado con una frecuencia superior o igual al 20%; pueden considerarse significativos debido a su aceptación cultural, merecen ser evaluados y validados científicamente. El UST se calcula mediante la ecuación:

$$UST = \text{Uso de especie} / N_s * 100$$

Donde UST: Uso significativo de la especie, N_s: Número de informantes para la especie

Los datos del estudio fueron analizados en Excel y las pruebas de Chi cuadrada mediante la paquetería de SAS System 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La información sociodemográfica obtenida de las entrevistas semiestructuradas se muestra en la Tabla 2. Los informantes tuvieron una edad mínima de 30 y una máxima de 80 años, el mayor número de informantes tuvieron una edad de entre 50-60 años ($X^2= 4.08$), clasificado como adulto mayor joven con conocimiento de uso y manejo de la planta (Reimers *et al.*, 2019; Toyo-Fernández, 2021), aunado a que muchos todavía se encuentran en edad productiva. Del total de los cuatro municipios, el 68.5% fueron mujeres y un 31.5 % fueron hombres, no presentaron diferencias significativas entre municipios ($X^2= 4.08$). Sin embargo, el municipio sí estuvo asociado a la ocupación ($X^2= 97.81$) y muestra diferencias significativas; esto sucede debido a la división del trabajo con respecto al género y por la asignación de tareas en donde las ocupaciones más mencionadas fueron vendedoras y ama de casa. La mayoría de las vendedoras de plantas medicinales fueron mujeres (Reimers *et al.*, 2019) y la ocupación de los hombres fue campesino, obrero y ganadero. Este mismo comportamiento fue registrado por Nunkoo & Mahomoodally (2012) y Reimers *et al.* (2019) quienes mencionan la división de roles entre mujeres y hombres, las mujeres cultivan la huerta, al ser amas de casa y al atender las necesidades de salud del hogar, utilizan más las plantas medicinales, entre ellas *E. polystachya*. Aunque Torres-Avilez *et al.* (2016) indican que el conocimiento acerca de las plantas medicinales no mostró diferencias con respecto a hombres y mujeres en Brasil, continente americano y a nivel global.

Tabla 2. Variables sociodemográficas de las personas a las que se les aplicaron las entrevistas semiestructuradas en cuatro municipios del estado de Morelos (Frecuencia relativa %).

criterio	Nivel	Tlayacapan	Cuautla	Yecapixtla	Tepoztlán
Sexo	Hombre	40	27	35	31
	Mujer	60	73	65	69
Edad	30-40	13	16	10	15
	50-60	75	77	54	73
	70-80	12	7	11	12
Ocupación	Campesino	15	7	20	11
	Ama de casa	33	21	25	29
	Vendedor	37	50	39	47
	Ganadero	3	7	4	3
	Obrero	7	12	8	8
	Otro	5	3	4	2

El uso de la planta fue mayor en los municipios con vivienda rural. En Tlayacapan (99%), Yecapixtla (89%), Tepoztlán (96%) y Cuautla (20%) se presentó una vivienda urbana principalmente (80%), mostrando diferencias significativas ($X^2= 173.83$) entre el tipo de vivienda y municipio de donde obtiene la planta medicinal, debido a que es la opción principal de salud en municipios con vivienda rural, reduciendo costos en gran parte de la población que carece de la posibilidad de comprar medicamentos o no quiere acudir a los centros de salud. Además, dichas prácticas y saberes pueden favorecer el desarrollo económico y social de la comunidad (Castañeda *et al.*, 2019) como el turismo rural, en el que su principal atractivo son las costumbres, las tradiciones y la cultura (Hernández, 2015). Sin embargo, en Cuautla que presenta vivienda urbana, en los mercados y tianguis se comercializan diversas partes vegetativas y reproductivas (hojas, flores, frutos, madera con corteza, resinas), entre ellas el palo dulce, debido a que muchas comunidades colindantes, en donde no encuentran la planta en

su comunidad van a comprarla a esta ciudad, dado que es una zona de alto flujo mercantil (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2017; Blancas *et al.*, 2020).

El nombre común con el que se conoce mayormente a la planta de *E. polystachya* es palo dulce en los cuatro municipios (58%) y palo azul (42%). La prueba de X^2 muestra que no existen diferencias significativas en el nombre utilizado en relación con la comunidad ($X^2= 1.36$). Beltrán-Rodríguez *et al.* (2014) y Burgos *et al.* (2019), reportan el nombre común de palo dulce como el más utilizado en el estado de Morelos; García *et al.* (2014) también lo reportan, pero en el estado de Guanajuato, seguido del nombre de palo azul.

La estructura vegetal más utilizada es el tallo, con un 95%, seguido por las hojas (5%) (Tabla 3). La prueba de X^2 muestra que el municipio no está relacionado a la parte de la planta que se utiliza ($X^2=3.01$). De acuerdo con Reimers *et al.* (2019), el órgano más comúnmente utilizado son las hojas por su facilidad para recolectarlas, seguido de raíces, corteza, frutos, tallos, semillas y flores. Se usa con más frecuencia la parte de la planta en donde se concentran sus propiedades medicinales. En el palo dulce, se usa la madera donde está el duramen y la albura porque ahí se presentan los compuestos fitoquímicos como polifenoles, flavonoides, terpenoides, taninos como el D-pinitol (Pérez & Alonso, 2018). Estos compuestos le dan sus propiedades medicinales como agente diurético, antiinflamatorio, espasmolítico, cicatrizante y con actividad analgésica (García-Ferrer *et al.*, 2016; González-Sarrías *et al.*, 2013). La segunda parte más utilizada son las hojas, solas o en una mezcla con otras especies vegetales útiles para tratamientos de las vías urinarias, en complicaciones mayores para obtener resultados más rápidos en los tratamientos utilizados, la mezcla de plantas medicinales con palo dulce también la ofrecen las farmacias naturistas y los herboristas (Reimers *et al.*, 2019).

Tabla 3. Formas de uso de *E. polystachya* en los cuatro municipios del estado de Morelos (Frecuencia relativa %).

Municipio	Nombre común		Parte vegetal usada		Modo de preparación		
	P. dulce	P. azul	Tallo	Hoja	Cocción	Remojo	Masticación
Tlayacapan	53	47	93	7	20	76	4
Cuautla	63	37	99	1	17	81	2
Yecapixtla	59	41	93	7	15	79	6
Tepoztlán	57	43	95	5	19	76	5

P.: Palo

Dentro de las diferentes formas de extraer el principio activo de las plantas medicinales están las decocciones (utilizan las raíces, los rizomas, la corteza, tallos leñosos, semillas, frutos y cáscaras deshidratadas) e infusiones (utilizan hojas), acorde con Reimers *et al.* (2019). No obstante, en el presente estudio los informantes mencionaron que para la extracción de las propiedades del palo dulce utilizan el remojo de duramen y albura principalmente (78%) también llamado “maceración”, en donde solo agregan el tallo (trozos de 4 a 8 cm) en 2 litros de agua. La utilización de agua permite extraer los compuestos químicos y después se toma como “agua de uso”. También lo usan en cocción (18%), para lo cual hierven el tallo (trozos de 4 a 8 cm) en agua, se deja enfriar y se toma como “te”. Por último, lo utilizan mediante masticación (4%) para sus animales domésticos como forraje o si presentan síntomas de infección se agrega una rama con hojas a su agua, injieren las hojas y toman el agua. Los informantes que consumen hojas, las usan frescas para preparar una infusión. La prueba de X^2 muestra que la localidad no está asociada a la forma de preparación ($X^2=4.30$), ya que muestran similar forma de uso. Rojas (2009), indica que en la mayoría de las cortezas medicinales, como cuachalalate, se usa mediante cocimiento, pero palo dulce es capaz de liberar el principio activo fácilmente con el remojo de la albura y duramen en el agua.

En los municipios donde tienen acceso a la planta directamente (Tlayacapan, Yecapixtla, Tepoztlán) agregan un trozo grande de 8 cm de tallo (49 %), los informantes que compran el tallo (Cuautla) utilizan varios trozos de 4 cm (46 %) y para sus animales que presentan alguna infección utilizan una rama de 30 cm (5 %) que agregan al agua de uso de sus animales. La prueba de X^2 muestra que no hay diferencias significativas entre la cantidad de la planta que utilizan y la localidad ($X^2=10.44$). El tamaño del material vegetal a utilizar depende de la localidad en que se encuentre, y la densidad de plantas de que se disponga. La relación hombre-ambiente también influye, porque indica el manejo que se le da a la planta (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2014). En los cuatro municipios, los informantes mencionaron observar una baja densidad de *E. polystachya*, lo cual podría deberse a una sobreexplotación de ésta, por el cambio de uso del suelo, por aumento de la población, deterioro del hábitat a causa de incendios forestales, pero se necesita más investigación para determinar las causas principales.

Se reportaron tres categorías de uso para la planta de estudio, las cuales fueron mencionadas por los informantes de los cuatro municipios. La categoría que representa la mayor importancia para el bienestar de las personas es la de uso medicinal, para tratar enfermedades del sistema urinario (85%), uso medicinal para sus animales (11%) y como material de construcción (4%) (Tabla 4). El uso medicinal fue la principal categoría de palo dulce (0.84). El valor de uso de esta planta fue de 1 en cada municipio.

Burgos *et al.* (2019), reportaron cuatro usos para la misma especie: leña, medicinal, postes y carbón, ubicándola como una de las plantas que forman parte fundamental en las estrategias de sobrevivencia de las poblaciones rurales, porque responde a sus necesidades, de manera que tiene mayor importancia cultural en la comunidad. En comparación, los resultados de Beltrán-Rodríguez *et al.* (2014) muestran que también en palo dulce hay un predominio del uso medicinal, pero reportaron que las personas reconocieron cinco usos para palo dulce, adicionando producción para madera y para realizar herramientas, lo que para su caso dio un índice de valor de uso de 1.95.

Las categorías de uso con mayores reportes son en plantas medicinales tanto para humanos como animales, las utilizadas en material de construcción (García *et al.*, 2014), en alimento para humanos y en forraje para animales (Jiménez *et al.*, 2015); Reimers *et al.* (2019), detectaron que el palo dulce es utilizado en problemas de los riñones debido a que posee compuestos bioactivos. Estos compuestos polifenólicos le brindan la actividad antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana, hepatoprotectora y analgésica (Gutierrez & Baez, 2014; Pérez & Alonso, 2018). De acuerdo con nuestros resultados, también es utilizado para el sistema urinario desde infección hasta cálculos renales; además, la actividad económica que se practique en el municipio influye en el uso que se le da, como criar ganado en Yecapixtla, el palo dulce es muy utilizado para las infecciones de los animales.

Tabla 4. Dominancia cultural de *E. polystachya* en cuatro municipios del estado de Morelos (Frecuencia relativa %).

Municipio	Categorías de uso				
	MAT	MED	MEDAN	IVU	Ns
Tlayacapan	0.07	0.85	0.08	1	75
Cuautla	0.07	0.85	0.08	1	75
Yecapixtla	0.01	0.97	0.02	1	75
Tepoztlán	0.03	0.70	0.27	1	75
Promedio	0.045	0.8425	0.1125	1	75

MAT: Material doméstico MED: Medicinal, MEDAN: Medicinal para animales, IVU: Índice de Valor de Uso, Ns: Número de informantes.

Burgos *et al.* (2019) categorizaron once usos que mencionaron los entrevistados, porque evaluaron diferentes especies vegetales de las que resaltaron tres: para un mejor desarrollo y bienestar de las familias que habitan ese ecosistema; estas son medicinal, leña y de consumo humano; además, encontraron especies multipropósito, en donde a una sola especie se le dan varios usos. En el presente estudio, la planta palo dulce también es una especie multipropósito porque presenta varios usos reportados por los entrevistados como medicinal, para leña, postes y carbón, en los cuatro municipios.

Las especies con más número de usos son las que presentan mayor nivel de uso significativo tránil. El nivel de UST fue de 26.66 % en nuestro estudio, lo que indica que es considerada una planta significativa debido a su aceptación cultural. Jiménez-Romero *et al.* (2019) describieron que las especies vegetales con UST superior o igual al 20% son consideradas de gran importancia debido a los diferentes usos que se dan, entre ellos mencionan a *Cymbopogon citratus* (44.64%), *Ocimum americanum* (41.07%), *Calendula officinalis* L. (33.93%), *Aloe vera* (L.) Burm.f. (26.79%). Soria *et al.* (2020) también mencionan que estas especies merecen su evaluación y validación científica para estudios farmacológicos y clínicos que permitan su uso en la atención primaria de la salud; entre las que reportaron están *Artemisia absinthium* L. (67%), *Mentha x piperita* L. (64%), *Aloysia polystachya* Griseb y Moldenke (60%), *Moringa oleifera* L. (29%).

El tipo de enfermedad para la que utilizan la planta en estudio es principalmente la infección de los riñones (68 %), seguido de una complicación mayor que es piedra en los riñones (22 %) y también es utilizada para curar infecciones de animales domésticos (10 %) como pollos, ganado porcino, caprino, ovino y vacuno, en su agua de bebida (Fig. 2). La prueba de X^2 muestra que existen diferencias significativas entre la localidad y el tipo de enfermedad para la que utilizan esta planta ($X^2= 34.36$).

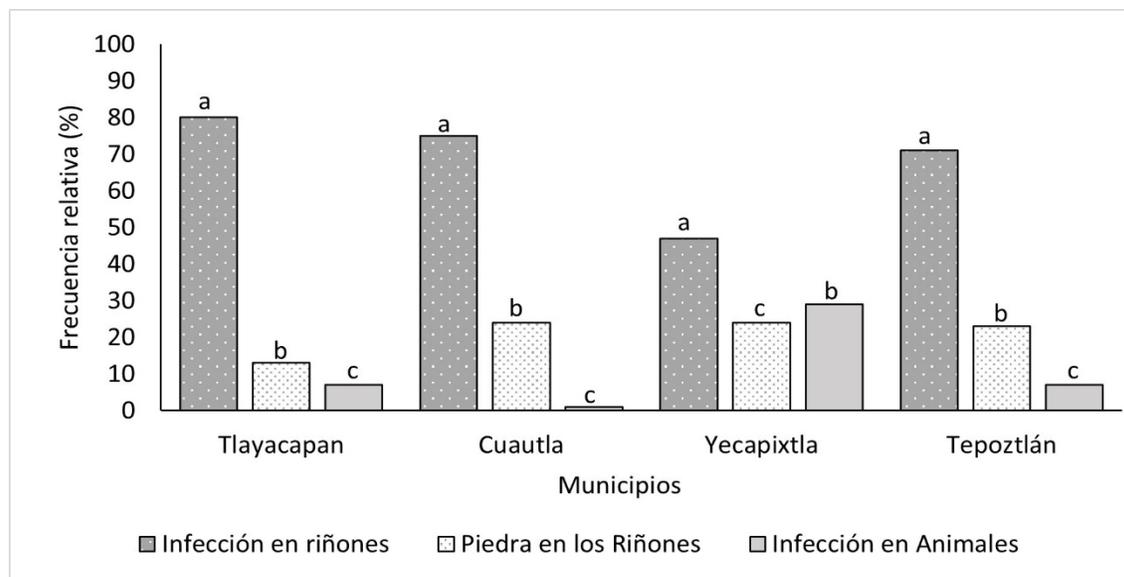


Fig. 2: Frecuencia relativa del tipo de enfermedad para la que se utiliza a *E. polystachya* en cuatro municipios del estado de Morelos, México.

En los cuatro municipios, la planta de palo dulce se toma sola para el tratamiento de enfermedad en el sistema urinario (62%), el 22% la combinan con cuachalalate (*Amphipterygium adstringens*) por sus propiedades antibióticas y antiinflamatorias, el 8% de los

entrevistados indican que la combinan con tres costillas (*Serjania triquetra*) para aliviar complicaciones como cálculos renales, por sus propiedades antibióticas, diuréticas, el otro 8 % la consiguen en los mercados locales como mezcla de varias plantas, que son especialmente para los riñones. La prueba de X^2 muestra que la localidad no está relacionada con la combinación de la planta, no hay diferencias significativas ($X^2=6.78$) (Fig. 3). Rojas (2009), menciona que es necesario conocer bien las plantas medicinales, sus propiedades y formas de uso, porque influye al momento de preparar los remedios, saber si se utilizan solas o en una mezcla; además, el éxito en la cura depende de su uso correcto.

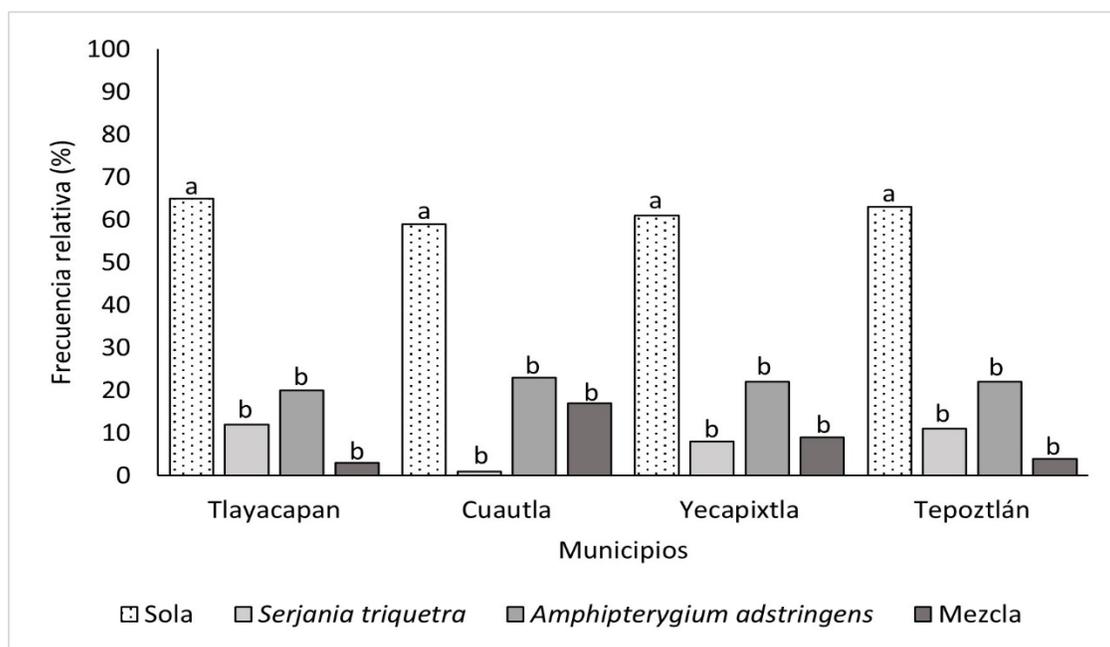


Fig. 3: Frecuencia relativa de especies con que se combina a *E. polystachya* para el tratamiento de enfermedades en cuatro municipios del estado de Morelos, México.

El tiempo durante el cual se toma el tratamiento fue variable, para una infección se recomienda tomarlo durante siete días (64%), o quince días (27%) si es una infección fuerte y de treinta días (9%), si el paciente tiene piedras en los riñones.

Los resultados mostraron que el tiempo en el que se toma el tratamiento varía de acuerdo a la enfermedad para la que se utilice, pero se recomienda tomar por siete días y en casos especiales como embarazos, alergias o en enfermedades avanzadas tomar sus precauciones o se restringe su uso (Gallegos-Zurita, 2016), aunque no hay estudios de toxicidad en humanos, se recomienda no utilizarlas por tiempo prolongado debido a que no todos sus componentes han sido probados en estudios científicos. Otra opción es tomar el tratamiento, descansar y después se podrá volverlo a tomar (Meléndez-Sosa *et al.*, 2020).

La forma principal de obtener la planta de palo dulce es por medio de herboristas (58%) que recolectan la planta medicinal y la venden en los mercados locales; en Tlayacapan y Tepoztlán la forma de obtener la planta es directamente del cerro (21%), seguido de la farmacia naturista (12%) donde la compran, y los que la consiguen de otro estado para surtir a los herboristas (9%) (Tabla 5). La prueba de X^2 muestra que la localidad está relacionada con la forma en donde se obtiene a la planta de estudio ($X^2=102.49$), ya que en donde tienen más acceso a ella van

directamente a cortarla del campo. En este sentido, Rodríguez *et al.* (2018) mencionan que los estudios etnobotánicos son imprescindibles porque informan acerca del lugar donde se obtiene las plantas medicinales, también brindan información sobre la abundancia de las plantas útiles en su comunidad (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2014), y a la vez muestra un panorama del impacto que ocasiona la extracción de las plantas en sus poblaciones naturales, como el causar degradación de los hábitats naturales.

Tabla 5. Lugar de donde se obtiene la planta *E. polystachya* y forma en que se transmite el conocimiento en los cuatro municipios del estado de Morelos (Frecuencia relativa %).

Municipio	Lugar donde obtiene la planta				Forma en que se transmite el conocimiento			
	F. naturista	Herb.	Cerro	Otro Edo.	Cur.	Ven.	Trad.	Autodidacta
Tlayacapan	3	40	56	1	13	9	72	5
Cuautla	25	62	1	13	9	28	60	3
Yecapixtla	12	67	1	20	21	13	60	5
Tepoztlán	6	64	27	3	16	12	64	8
Promedio	11.5	58.25	21.25	9.25	14.7	15.5	64	5.25

F.: Farmacia, Herb.: Herborista, Edo.: Estado, Cur.: Curandero, Ven.: vendedor, Trad.: tradiciones

La principal forma en que se transmite el conocimiento de uso de la planta medicinal palo dulce en los cuatro municipios es por medio de las tradiciones con un 64%, la preservación del conocimiento de su uso todavía se lleva a cabo en forma oral y se transmite generación tras generación entre sus familiares y conocidos. De acuerdo con lo propuesto por Jiménez *et al.* (2015), este proceso de enseñanza-aprendizaje es similar y se da entre la familia, por padres y abuelos hacia los hijos, es como se transmite de manera más eficaz la utilización de plantas medicinales. También se obtiene el conocimiento de los vendedores que recomiendan su uso (16%), y de los curanderos que dan consulta en sus localidades (15 %); un 5 % de los usuarios son autodidactas en el conocimiento medicinal. La prueba de X^2 muestra que la localidad está relacionada con la forma de obtener el conocimiento de la planta de estudio ($X^2=17.03$). Lo que indica que utilizan el conocimiento de sus familiares más cercanos para curar sus problemas de salud. Esto implica una relación social en donde participan diferentes actores (pacientes, familias, curanderos) en la atención de la salud (Jiménez-Romero *et al.*, 2019).

Con respecto al cuidado de la planta *E. polystachya*, la propagación es de vital importancia, pero en los cuatro municipios la mayoría no realizan ninguna forma de propagación (92%), un 5% utilizan semillas y el 3% utilizan estacas para propagar estas plantas (Fig. 4). La prueba de X^2 muestra que la localidad no está asociada con la forma de propagar al palo dulce ($X^2=5.17$). Lo anterior indica que cada vez se tendrán menos plantas en el hábitat natural, puesto que en algunos lugares la obtienen por recolección, pero no hacen reforestación. Por lo que es necesario poner especial atención en la propagación y cuidados para esta planta medicinal en el estado de Morelos. Para lo cual sería conveniente hacer divulgación de la situación de la planta y proponer alternativas de propagación y cuidado participativo de las localidades para preservar la especie.

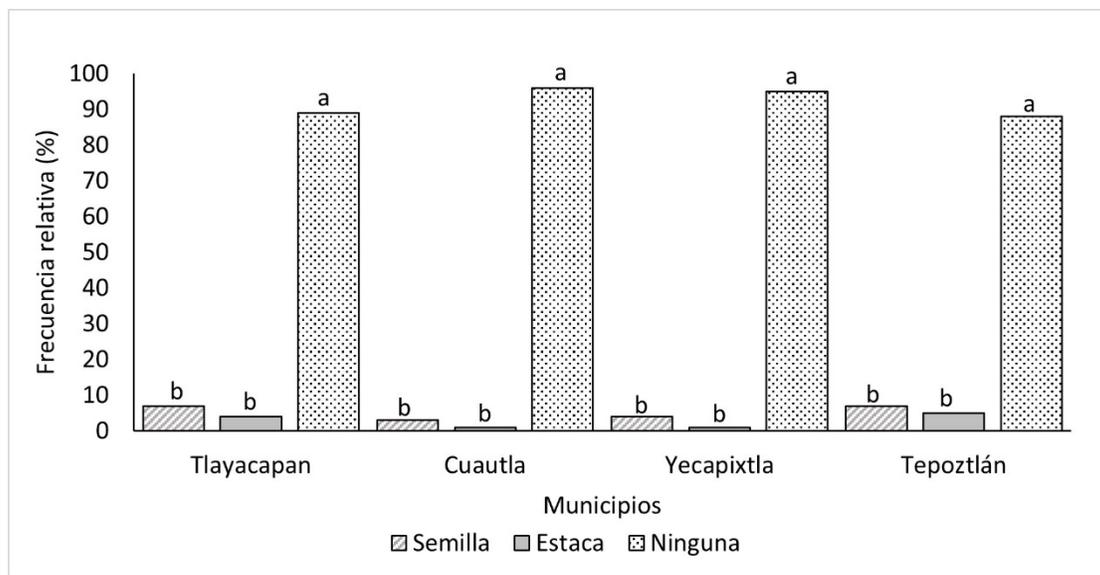


Fig. 4. Frecuencia relativa de la forma de propagar la planta *E. polystachya* en los cuatro municipios del estado de Morelos, México.

Aunque *E. polystachya* está en la lista roja de la IUCN (IUCN, 2022) en categoría de menor preocupación, en estudios realizados por Beltrán-Rodríguez *et al.* (2017, 2020) se sugiere sea reclasificada porque es altamente vulnerable y aunque no se tienen datos poblacionales exactos de esta especie, es considerada en riesgo por su distribución restringida y porque la extracción del duramen y albura provoca la muerte del individuo (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2017). La implementación efectiva de iniciativas tendientes al fortalecimiento del uso de plantas medicinales debe asociarse con el cuidado del ecosistema para el equilibrio de éste (Jiménez *et al.*, 2015), como cuidar la planta resguardándola de animales domésticos, cortar solo las ramas necesarias, propagarla en huertos caseros de traspatio y seguir conservando una farmacia viviente.

CONCLUSIONES

La información recabada indica que a *Eysenhardtia polystachya* se le dan tres formas de uso: medicinal para humanos, medicinal para animales y como material de uso doméstico (para construcción, cercos, leña y carbón), en Tlayacapan, Cuautla, Yecapixtla y Tepoztlán, Morelos. Por lo tanto, es considerada una especie de gran importancia cultural definiéndose como especie multipropósito, con base en las necesidades de las familias que es lo que determina su importancia y aceptación cultural.

La planta se obtiene principalmente de los herboristas, que la extraen directamente de su hábitat natural. En este sentido se considera necesario promover estrategias de manejo basadas en las demandas locales, priorizando la propagación para la conservación y aprovechamiento de esta especie medicinal.

Es importante señalar que el conocimiento etnobotánico se transmite de generación en generación, asociado con variables socioeconómicas como edad, sexo y residencia, tanto en el manejo como el aprovechamiento de la especie; por lo que preservar el conocimiento es importante para evitar la erosión del saber tradicional y promover la salud pública. Es necesario

hacer difusión del estatus de la especie con la finalidad de contribuir a la conservación de las plantas medicinales.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y tecnología (CONACYT) por el financiamiento del proyecto. Los autores agradecen a las personas de los cuatro municipios por su participación en las entrevistas y por compartir sus conocimientos. También a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y a la Universidad Autónoma del Estado de Morelos para el desarrollo de la investigación.

LITERATURA CITADA

- Alexiades M.N. (1996). Collecting Ethnobotanical Data: An Introduction to Basic Concepts and Techniques. *Advances in Economic Botany*, 10, 53-94. <https://www.jstor.org/stable/43927611>
- Beltrán-Rodríguez, L., Ortiz-Sánchez, A., Mariano, N. A., Maldonado-Almanza, B., & Reyes-García, V. (2014). Factors affecting ethnobotanical knowledge in a mestizo community of the Sierra de Huautla Biosphere Reserve, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10(1), 1-19. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-14/tables/5>
- Beltrán-Rodríguez, L., Manzo-Ramos, F., Maldonado-Almanza, B., Martínez-Ballesté, A., & Blancas, J. (2017). Wild Medicinal Species Traded in the Balsas Basin, Mexico: Risk Analysis and Recommendations for Their Conservation. *Journal of Ethnobiology*, 37(4), 743-764. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-37.4.743>
- Beltrán-Rodríguez L., Maldonado-Almaza B., Cristians S., Blancas J., Sierra-Huelz A., & Bye R. (2020). *Las cortezas como productos forestales no maderables en México: Análisis nacional y recomendaciones para su aprovechamiento sostenible*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt No. 293914). ISBN: 978-607-30-4054-9. https://scholar.google.com.mx/scholar?hl=es&as_sdt=0%2c5&q=las+cortezas+como+productos+forestales+no+maderables+en+m%C3%A9xico%3a+an%C3%A1lisis+nacional+y+recomendaciones+para+su+aprovechamiento+sostenible&btnq=
- Bermúdez, A., Oliveira-Miranda, M. A., & Velázquez, D. (2005). La Investigación etnobotánica sobre plantas medicinales: Una revisión de sus objetivos y enfoques actuales. *Interciencia*, 30(8), 453-459. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000800005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Bernabé-Antonio, A., Maldonado-Magaña, A., Ramírez-López, C. B., Salcedo-Pérez, E., Meza-Contreras, J. C., González-García, Y., López-Dellamary Toral, F. A., & Cruz-Sosa, F. (2017). Establishment of callus and cell suspension cultures of *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) and fungistatic activity of their extracts. *South African Journal of Botany*, 112, 40-47. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.05.023>
- Blancas, J., Beltrán-Rodríguez L., Maldonado-Almanza B., Sierra-Huelsz J.A., Sánchez L., Mena-Jiménez F., García-Lara F., Abad-Fitz I., & Valdez-Hernández J.I. (2020). Comercialización de especies arbóreas utilizadas en medicina tradicional y su impacto en poblaciones silvestres. En: La biodiversidad en Morelos. *CONABIO*, 3, 215-223.
- Burgos H. B., Saldaña F. M. C., & López M. X. (2019). Importancia cultural de especies forestales útiles, en tres comunidades de la Sierra de Huautla, Morelos, México. *Ambiente y Desarrollo*, 23(45). <https://doi.org/10.11144/javeriana.ayd23-45.icef>
- Caballero N. J., & Cortés L. (2001). *Percepción, uso y manejo tradicional de los recursos vegetales en México. Plantas, cultura y sociedad. Estudio sobre la relación entre seres humanos y plantas en los albores del siglo XXI*. (Rendón A. B., Rebollar D. S., Caballero N. J., & Martínez A. M. A., Eds.) (1a Ed.). *Universidad Autónoma*

- Metropolitana, Unidad Iztapalapa y Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca* 79-100. México.
<http://investigacion.izt.uam.mx/maph/plantas1.pdf#page=79>
- Castañeda R., Gutiérrez H., Chávez G., & Villanueva R. (2019). Etnobotánica de las flores de la pasión (*Passiflora*) en la provincia andina de Angaraes (Huancavelica, Perú). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 18(1), 27-41. <https://doi.org/10.35588/blacpma.19.18.1.3>
- Coe M. A., & Gaoue O. G. (2020). Cultural keystone species revisited: are we asking the right questions? *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 16(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13002-020-00422-z>
- CONABIO. (2022). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Eysenhardtia polystachya*. 1-3. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/28-legum18m.pdf
- Gallegos-Zurita, M. (2016). Las plantas medicinales: principal alternativa para el cuidado de la salud, en la población rural de Babahoyo, Ecuador. *Anales de la Facultad de Medicina*, 77(4), 327-332. <https://doi.org/10.15381/anales.v77i4.12647>
- García R., Sánchez V., Hernández M., & Reséndiz N. (2014). Estudio descriptivo de diversidad florística y usos de árboles y arbustos nativos del sureste de Guanajuato. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México*, 2(2), 24-31. https://scholar.google.com.mx/scholar?hl=es&as_sdt=0%2c5&q=estudio+descriptivo+de+diversidad+flor%3%adstica+y+usos+de+%3%a1rboles+y+arbustos+nativos+del+sureste+de+guanajuato&btnq=
- García-Ferrer, L., Bolaños-Aguilar, E.D, Lagunes-Espinoza, L. C, Ramos-Juárez, J. & Osorio-Arce, M. M. (2016). Concentration of phenolic compounds in tropical forage Fabaceae at different regrowth time. *Agrociencia*, 50(4), 429-440. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v50n4/1405-3195-agro-50-04-429.pdf>
- García-García, J. A., Reding-Bernal, A., & López-Alvarenga, J. C. (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investigación En Educación Médica*, 2(8), 217-224. [https://doi.org/10.1016/S2007-5057\(13\)72715-7](https://doi.org/10.1016/S2007-5057(13)72715-7)
- Germosén L.R., García G.M., Morón F., Delens H., Olmedo D., Méndez M., Boulogne I., García R., Duran R., Peguero B., Tillet S., & Gómez H. (2017). *Farmacopea vegetal caribeña/Tramil* (Germosén-Robineau L., Ed.; Editorial Universitaria). https://www.researchgate.net/publication/333024019_farmacopea_vegetal_caribena
- González-Sarriás, A., Larrosa, M., García-Conesa, M. T., Tomás-Barberán, F. A., & Espín, J. C. (2013). Nutraceuticals for older people: Facts, fictions and gaps in knowledge. *Maturitas*, 75(4), 313-334. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2013.05.006>
- Goodman L.A. (1961). *Snowball Sampling on JSTOR. The Annals of Mathematical Statistics*. 32(1),148-170. <https://www.jstor.org/stable/2237615>
- Gual D.M. (2018). Taxonomía de los usos y manejo de la biodiversidad de México para la construcción de sistemas de información. En *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México*. (1a ed.). https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2018/11/taxonomia_de_los_usos_y_manejo_de_la_biodiversidad_de_Mexico_para_la_construccion_de_sistemas_de_informaci%C3%B3n.pdf
- Gutierrez, R. M. P., & Baez, E. G. (2014). Evaluation of antidiabetic, antioxidant and antiglycating activities of the *Eysenhardtia polystachya*. *Pharmacognosy Magazine*, 10(38), 404-418. <https://doi.org/10.4103/0973-1296.133295>
- Hernández G. G.B. (2015). Análisis del turismo rural a través de la medicina tradicional. Una propuesta de desarrollo turístico en la comunidad de Tampate, municipio de Aquismón S.L.P. *TECTZAPIC*. <https://www.eumed.net/rev/tectzapic/2015/01/turismo.html>
- Hernández-Guerrero, V. G., Meléndez-Camargo, M. E., Márquez-Flores, Y. K., Arreguín-Sánchez, M. de la L., Hernández-Guerrero, V. G., Meléndez-Camargo, M. E., Márquez-Flores, Y. K., & Arreguín-Sánchez, M. de la L. (2018). Estudio etnobotánico y evaluación de la actividad antiinflamatoria de *Geranium seemannii Peyr.* (municipio de Ozumba, Estado de México). *Polibotánica*, 46, 287-303. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.46.19>

- IUCN. (2022). *The IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/search?taxonomies=123472&searchType=species>
- Jiménez C. P. A., Hernández J. M., Espinosa S. G., Mendoza C. G., & Bell T. A. M. (2015). Los saberes en medicina tradicional y su contribución al desarrollo rural: estudio de caso Región Totonaca, Veracruz* Knowledge in traditional medicine and its contribution to rural development: case study Totonac region, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8), 1791-1805. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000801791&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Jiménez-Romero, E. M., Moreno-Vera, A. N., Villacís-Calderón, A. C., Rosado-Sabando, J. K., Morales Moreira, D. M., Bravo Bravo, A. D., Jiménez-Romero, E. M., Moreno-Vera, A. N., Villacís-Calderón, A. C., Rosado-Sabando, J. K., Morales Moreira, D. M., & Bravo Bravo, A. D. (2019). Estudio etnobotánico y comercialización de plantas medicinales del bosque protector Murocomba y su área de influencia del cantón Valencia, Ecuador. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(3), 491-506. <https://doi.org/10.21930/rcta.vol20num3art:1597>
- Katayama O.R.J. (2014). *Introducción a la investigación cualitativa: fundamentos, métodos, estrategias y técnicas*. (Editorial de la UIGV). Fondo Editorial de la Universidad Inca Garcilaso de la Vega. https://seden.org/files/documents/Elementos_1176_introduccion-a-la-investigacion-cualitativa-fundamentos-metodos-estrategias-y-tecnicas13-00-28.pdf
- Meléndez-Sosa, M. F., García-Barrales, A. M., & Ventura-García, N. A. (2020). Perspectivas e impacto en la salud del consumo de los alimentos funcionales y nutraceuticos en México. *Apps.Buap.Mx*, 6(1), 114-136. <http://www.apps.buap.mx/ojs3/index.php/rdicuap/article/download/1745/1331>
- Monroy-Ortiz, C., & Monroy, R. (2004). Análisis preliminar de la dominancia cultural de las plantas útiles en el estado de Morelos. *Botanical Sciences*, 74, 77-95. <https://doi.org/10.17129/botsci.1687>
- Nunkoo, D. H., & Mahomoodally M. F. (2012). Ethnopharmacological survey of native remedies commonly used against infectious diseases in the tropical island of Mauritius. *Journal of Ethnopharmacology*, 143(2), 548-564. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.07.013>
- Pérez, M. S. E., & Alonso, C. A. J. (2018). Determinación del efecto analgésico de d-pinitol, un compuesto obtenido de *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg. (Fabaceae). *Jóvenes En La Ciencia: Verano de La Investigación Científica*. 4(1), 1197-1201. <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/5203>
- Quevedo Y. (2015). Plantas medicinales: un estudio de caso etnobotánico en la localidad de Ocoatepec, municipio de Cuernavaca, Morelos. *Universidad Nacional Autónoma de México*. <http://132.248.9.195/ptd2015/marzo/0727525/0727525.pdf>
- Reimers, E. A. L., Fernández C., E., Reimers, D. J. L., Chaloupkova, P., del Valle, J. M. Z., Milella, L., & Russo, D. (2019). An Ethnobotanical Survey of Medicinal Plants Used in Papantla, Veracruz, Mexico. *Plants*, 8(8), 246. <https://doi.org/10.3390/plants8080246>
- Rivas-Morales, C., Oranday-Cardenas, M. A., Verde-Star, M. J., Morales-Rubio, M. E., & Garza-González, E. (2009). Activity of extracts from two *Eysenhardtia* species against microorganisms related to urinary tract infections. *British Journal of Biomedical Science*, 66(2), 102-106. https://www.researchgate.net/publication/26700642_Activity_of_extract_from_two_Eysenhardtia_species_against_microorganisms_related_to_urinary_tract_infections
- Rodríguez G. Y., Valdés S. M. A., Hernández R. H., & Soria R. S. (2018). Guía metodológica para estudio etnobotánico de especies forestales en comunidades amazónicas y afines. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 7(1), 98-110. <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/368>

Recibido:
26/abril/2022

Aceptado:
12/enero/2023

- Rojas A. M. (2009). *Tratado de medicina tradicional Mexicana bases históricas, teorías y práctica clínico-terapéutica*. En *tlahui.com* (3a ed.). ISBN: 970-94401-2-8 <http://www.tlahui.com/libros/tmtmxt1parcop.pdf>
- Rosas-Piñón, Y., Mejía, A., Díaz-Ruiz, G., Aguilar, M. I., Sánchez-Nieto, S., & Rivero-Cruz, J. F. (2012). Ethnobotanical survey and antibacterial activity of plants used in the Altiplane region of Mexico for the treatment of oral cavity infections. *Journal of Ethnopharmacology*, 141(3), 860-865. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.03.020>
- Soria, N., Ramos, P., Viveros, G., Estigarribia, G., Ríos, P., Ortiz, A., Soria, N., Ramos, P., Viveros, G., Estigarribia, G., Ríos, P., & Ortiz, A. (2020). Etnobotánica y uso de plantas medicinales en unidades familiares de salud de Caaguazú, Paraguay. *Caldasia*, 42(2), 263-277. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v42n2.76907>
- Tapia G. (2018). *Es Morelos 4° productor nacional de plantas medicinales | Noticias | Diario de Morelos*. <https://www.diariodemorelos.com/noticias/es-morelos-4-productor-nacional-de-plantas-medicinales>
- Torres-Avilez, W., Medeiros, P. M. de, & Albuquerque, U. P. (2016). Effect of Gender on the Knowledge of Medicinal Plants: Systematic Review and Meta-Analysis. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. <https://doi.org/10.1155/2016/6592363>
- Toyo-Fernández, B. (2021). Estudio etnobotánico y fitoquímico para la promoción del uso medicinal del dividivi (*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.) *Revista Electrónica Multidisciplinaria de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura*, 3(5), 38-58. <https://doi.org/10.35381/i.p.v3i5.1368>
- Zambrano-Intriago, L., Buenaño-Allauca M.P., Mancera N.J., & Jiménez E. (2015). Ethnobotanical study of medicinal plants used by rural inhabitants of the parish San Carlos Quevedo in Ecuador. *Universidad y Salud*, 17(1), 97-111. <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v17n1/v17n1a09.pdf>
- Zhiminaicela-Cabrera, J. B., Quevedo-Guerrero, J. N., Herrera-Reyes, S. N., Sánchez-Quiance, A. R., & Bermeo-Gualan, L. Y. (2020). Estudio etnobotánico de plantas medicinales e importancia de conservar las especies vegetales silvestres del Cantón Chilla, Ecuador. *Ethnoscience*, 5(1), 1-10. <https://doi.org/10.22276/ethnoscience.v5i1.332>

VALOR CULTURAL DE LA FLORA MEDICINAL DE LAS ETNIAS MOCHÓ Y KAKCHIKEL DEL ESTADO DE CHIAPAS, MÉXICO

CULTURAL SIGNIFICANCE OF MEDICINAL PLANTS AMONGST MOCHÓ AND KAKCHIKEL ETHNIC GROUPS OF THE STATE OF CHIAPAS, MEXICO

**Trigueros-Vázquez, I.Y.; O. Ruíz-Rosado; F. Gallardo-López; B.F. Solís-Guzmán;
F. Morales-Trejo y G. López-Romero**

VALOR CULTURAL DE LA FLORA MEDICINAL DE LAS ETNIAS MOCHÓ Y
KAKCHIKEL DEL ESTADO DE CHIAPAS, MÉXICO

CULTURAL SIGNIFICANCE OF MEDICINAL PLANTS AMONGST MOCHÓ AND
KAKCHIKEL ETHNIC GROUPS OF THE STATE OF CHIAPAS, MEXICO



Valor cultural de la flora medicinal de las etnias Mochó y Kakchikel del estado de Chiapas, México

Cultural significance of medicinal plants amongst Mochó and Kakchikel ethnic groups of the state of Chiapas, Mexico

Trigueros-Vázquez, I.Y.;
O. Ruíz-Rosado;
F. Gallardo-López;
B.F. Solís-Guzmán;
F. Morales-Trejo
y G. López-Romero

VALOR CULTURAL DE LA
FLORA MEDICINAL DE
LAS ETNIAS MOCHÓ Y
KAKCHIKEL DEL ESTADO
DE CHIAPAS, MÉXICO

CULTURAL SIGNIFICANCE
OF MEDICINAL PLANTS
AMONGST MOCHÓ AND
KAKCHIKEL ETHNIC
GROUPS OF THE STATE OF
CHIAPAS, MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 55: 179-195. Enero 2023

DOI:
10.18387/polibotanica.55.12

I.Y. Trigueros-Vázquez

Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

Actualmente en el Campus Campeche del Colegio de Postgraduados.

O. Ruíz-Rosado / octavior@colpos.mx

F. Gallardo-López

Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

Manlio Fabio Altamirano, Veracruz México.

B.F. Solís-Guzmán

Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Campus IV. Huehuetán, Chiapas, México.

F. Morales-Trejo

CONACYT-Universidad Autónoma Chapingo.

Texcoco, Estado de México, México.

G. López-Romero

Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

Manlio Fabio Altamirano, Veracruz México.

RESUMEN: Las plantas medicinales han tenido importancia global y local en cuanto a su uso y conservación en las comunidades rurales y zonas urbanas. El objetivo de esta investigación fue determinar el Valor Cultural que las etnias Mochó y Kakchikel dan a la flora medicinal de su territorio en la Sierra Mariscal, Chiapas. En esta investigación se utilizó un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), con el apoyo de entrevistas dirigidas y aplicación de un cuestionario. La información proporcionada por los entrevistados se integró en una base de datos de Microsoft Excel® para determinar el número de plantas usadas por las etnias para atender sus padecimientos, de acuerdo con la Clasificación Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud (CIE-10) de la Organización Mundial de la Salud. Se determinó el índice de similitud de enfermedades entre etnias adaptando el índice de Jaccard, y se obtuvo el Valor Cultural TRAMIL de las plantas medicinales para atender sus padecimientos. Aunque los integrantes de ambas etnias se encuentran afiliados en algún servicio médico oficial o acuden al médico particular, los entrevistados indicaron preferir el uso de plantas medicinales independientemente de su escolaridad. La etnia Mochó reportó 93 padecimientos y la Kakchikel 74, distribuidos en 13 grupos de enfermedades, teniendo un índice de similitud de 28.5%. Del total de los padecimientos, diez fueron comunes en ambas etnias: tos, dolor de cabeza, diarrea, fiebre, gripe, dolor de estómago, diabetes, riñones, gastritis y heridas. De las 209 plantas reportadas, 123 corresponden a la etnia Mochó y 86 a la etnia Kakchikel, de las cuales 16 y 14 respectivamente tuvieron un Valor Cultural; y las plantas medicinales más usadas son Hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill.), Ruda (*Ruta graveolens* L.) y Verbena (*Verbena litoralis* Kunth.).

Palabras clave: Biodiversidad, servicios de salud, enfermedades, etnia, etnobotánica, etnomedicina.

ABSTRACT: Medicinal plants have had worldwide cultural importance because of their use and preservation in rural communities and urban areas. The aim of this research was to determine the cultural significance that Kakchikel and Mochó ethnic groups, inhabitants of the Sierra Mariscal estate of Chiapas, give to their medicinal plants. A qualitative and quantitative approach was used with direct interviews and a questionnaire. The data provided by the respondents was used to build up a Microsoft Excel® database for descriptive statistics to estimate the number of plants used per illness, grouped according to the International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems of the WHO. Similarity of illnesses amongst ethnic groups was determined adopting the Jaccard index, and the Significant Use Level (TRAMIL) or cultural value per plant species was evaluated as well. Both ethnic groups are registered for some official or private medical services, but they prefer using medicinal plants, regardless of their literacy level. The Mochó ethnic group reported 93 illnesses and the Kakchikel 74, classified into 13 diseases groups according to the WHO, having a 28.5% of similarity index. Ten out of 167 illnesses were reported as the most common ailments, such as: coughing, headache, diarrhea, fever, flu, stomachache, diabetes, kidneys ailments, gastritis and wounds. From 209 as total of medicinal plants, the Mochó reported using 123 and the Kakchikel 86, from which 16 and 14 species had cultural significance respectively. Most used medicinal plants are Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.), common rue (*Ruta graveolens* L.) and verbain (*Verbena litoralis* Kunth.).

Key words: Biodiversity, health services, illnesses, ethnic groups, ethnobotany, ethnomedicine.

INTRODUCCIÓN

La humanidad ha dependido diferencialmente de la diversidad vegetal y animal para satisfacer sus necesidades básicas (Yazdanshenas *et al.*, 2016). En relación a la salud, en el medio rural y en parte del medio urbano las poblaciones de escasos recursos económicos y limitada disponibilidad de servicios básicos médicos recurren a las plantas medicinales para tratar, aliviar y prevenir sus padecimientos (Hurtado-Rico *et al.*, 2006); (Magaña-Alejandro *et al.*, 2010); (Gheno-Heredia *et al.*, 2011) (Nwachukwu C.U., 2010). Las plantas medicinales brindan servicios de salud y forman parte del acervo cultural de la humanidad (Pascual-Casamayor *et al.*, 2014), incluso en zonas altamente industrializadas, ya que dichas plantas han sido pilares importantes de la cultura y la socialización humana como lo comentan (Owuor *et al.*, 2005) y (Okello *et al.*, 2010). Por ejemplo, en México (Taddei-Bringas *et al.*, 1999) encuestaron a 60 médicos de la Unidad Médica Familiar (UMF) No.37 de la ciudad de Hermosillo Sonora, sobre la aceptación y uso de herbolaria en medicina familiar y encontraron que las principales razones por el cual ellos aceptan a la herbolaria son por su efectividad (45%), por ser tratamientos alternativos (24%) y por ser de uso popular (18%). Actualmente las plantas medicinales forman parte del intercambio cultural integradas como elementos de los huertos familiares donde se conservan y reproducen (Mariaca-Méndez, 2012); (Escobar-Hernández *et al.*, 2016); y siguen siendo usadas por poblaciones urbanas y rurales encontrándose disponibles en mercados locales y tradicionales de México, como lo reporta (Villanueva-Solis *et al.*, 2020). De esta forma sigue el proceso de aculturación, considerado éste como el cambio cultural y psicológico posterior al contacto intercultural (Berry, 2003), en función de la utilidad que el ser humano les da a las especies vegetales.

La medicina a base de plantas ha tenido relevancia con enfermedades que se van desarrollando en el tiempo como la diabetes y el cáncer (Kigen *et al.*, 2013). También se han documentado plantas medicinales que ayudan a enfrentar las afecciones respiratorias como: tos, gripe, catarro, anginas y acumulación de flemas (Sotero-García *et al.*, 2016); (Juárez-Pérez & Cabrera-Luna, 2019); (Gallegos-Zurita *et al.*, 2021), síntomas que en la actualidad están relacionadas con la pandemia SARS-CoV-2 denominada como COVID-19 por la Organización Mundial de la Salud, (WHO, 2021, por sus siglas en inglés). Al respecto, existe un proceso de vinculación de las prácticas de la medicina tradicional indígena con la introducción de nuevas formas de atención a la salud con la medicina occidental, tal como lo comenta (Jorand, 2008), (Prieto-

González *et al.*, 2004) y confirma (Jorge-Montalvo *et al.*, 2020) al usar extractos etanólicos y metanólicos de jengibre (*Zingiber officinale* Rosc.).

Dada la importancia cultural y para la salud humana, en el estado de Chiapas se han realizado abundantes investigaciones relacionadas con las plantas medicinales, sin embargo, han estado enfocadas principalmente a las etnias Chol, Mam, Tojolabal, Tzotzil, Tzeltal, Lacandón y Zoque (Nigh, 2001); (Orantes-García *et al.*, 2018); (Pozo-Gómez, 2020); y poco se ha documentado sobre el conocimiento del uso de la flora medicinal en las etnias Mochó y Kakchikel.

La etnia Mochó habita en el Municipio de Motozintla de Mendoza, ciudad fundada en 1620 que formó parte del departamento de Guatemala con cabecera en la ciudad de Cuilco de la actual República de Guatemala; y desde 1894 pasó a formar parte del territorio mexicano, (García-Zúñiga & Ríos-Mendoza, 2006). La etnia Kakchikel, que habita Mazapa de Madero y otros municipios Chiapanecos y del estado de Campeche, en México compartía territorio con un área que comprende los departamentos de Totonicapán, Sololá y Chimaltenango, casi todo el de Sacatepéquez y sectores de El Quiché, Quetzaltenango, Suchitepéquez y Baja Verapaz de Guatemala. Su presencia histórica más conocida se registra en el llamado Memorial de Sololá: Anales de los Cakchiqueles, una genealogía de sus héroes. Guerrearon contra los españoles entre 1524 y 1530, en concreto contra Pedro de Alvarado, quien intentó fundar la ciudad de Santiago de Guatemala. Desde finales de la década de 1970 sufrieron el genocidio perpetrado por el Ejército guatemalteco (no menos de 30 000 masacrados), lo que les obligó a exiliarse en Chiapas, México (SIC-México, 2019). A partir de 1894 los Kakchikeles fueron divididos con el establecimiento de los límites fronterizos entre México y Guatemala; y junto con los Mochó, por políticas federales y educativas de castellanización y de integración forzada a la nación impulsadas por los gobiernos posrevolucionarios influyeron en que durante varias décadas un importante sector de la población fronteriza chiapaneca negara sus identidades étnicas y reivindicara exclusivamente sus identidades campesinas (Hernández-Castillo, 2008) y (Ruiz-Lagier, 2018). Al respecto, (Trigueros-Vázquez, 2013) documenta que se prohibió hablar lenguas indígenas, limitando la transmisión del conocimiento en la lengua materna sobre el uso, manejo y conservación de las plantas medicinales, entre otros aspectos culturales; a pesar de que poseen un acervo etnomedicinal digno de documentarse y valorar para bien de la sociedad. Ambas etnias conviven con la población no-indígena en el desarrollo de sus actividades cotidianas, conservando su propia identidad cultural: religiosa, económica, venta de productos derivados de sus agroecosistemas o colectados de sus ecosistemas, como: alimentos, condimentos, ornamentales, leña y uso de plantas medicinales. Estas aseveraciones coinciden con (Giddens, 2000) que menciona: “cada cultura es diferente de acuerdo a las pautas de comportamiento y que puede resultar extraña por sus actividades cotidianas”.

De estas etnias poco se habla o escribe, pero son poseedores y generadores de conocimiento herbolario que, con el paso del tiempo se ha ido perdiendo de generación en generación, lo que pone de manifiesto la pérdida gradual de conocimientos que poseen las abuelas, abuelos, padres, madres, tíos, tías o vecinos, entre otros actores de cada etnia. Además, influyen también en esa pérdida de información, aspectos ambientales como el uso excesivo de agroquímicos, migración y edad avanzada de los poseedores del conocimiento. Es por ello, que es imprescindible documentar los conocimientos que los Kakchikeles y Mochó han generado sobre el uso, conservación y manejo de las plantas medicinales, como parte de su legado y aportación a la Farmacopea Mexicana, para que estén al servicio de las presentes y futuras generaciones. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar el Valor Cultural que las etnias Kakchikel y Mochó dan a su flora medicinal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en el sureste de la Sierra Madre de Chiapas, en la Región XI denominada Sierra Mariscal (Gobierno del estado de Chiapas, 2014), en municipios colindantes de Motozintla de Mendoza (cuya cabecera municipal se ubica a 1,300 m.s.n.m.) y Mazapa de Madero, (su cabecera municipal se ubica a una altura de 1,100 m.s.n.m.), lugares donde habitan las etnias Mocho y Kakchikel, además de la etnia Mam, considerados como grupos Mayenses (Fig. 1). Los suelos del municipio de Motozintla son del tipo Andosol, Acrisol, Regosol, Litosol y Feozem. El clima es variable que va desde templado húmedo en las partes altas y semicálido húmedo, cálido húmedo y subhúmedo, todos con abundantes lluvias en verano. La temperatura anual se encuentra en el rango de 14-24 °C. Hay una precipitación total anual de 1000 a más de 3000 mm. Tipos de vegetación: bosques de pino-encino, de pino, de encino, selva mediana subperennifolia, selva baja caducifolia y pastizal inducido. La actividad económica principal es la agricultura de temporal y el comercio (CONABIO, 2022). Los suelos de Mazapa de Madero se encuentran en terrenos paleozoicos con un relieve accidentado, el tipo de tierra predominante son de Regosol y el uso principal es pastizal con bosque. Los climas son del tipo cálido subhúmedo, semihúmedo y semicálido húmedo. En la cabecera municipal la temperatura media anual es de 22 °C con una precipitación pluvial de 800 milímetros anuales (Gobierno Municipal Mazapa de Madero, 2015).

Con respecto a la población, en el año 2012, INEGI reporta para el municipio de Motozintla de Mendoza una población total de 69 119 habitantes de los cuales 2 841 corresponden a la etnia Mochó; y para el municipio de Mazapa de Madero una población de 7 793 habitantes de los cuales 843 son Kakchikel; y para el año 2021 en esos municipios, el Gobierno del Estado, reporta 979 y 246 hablantes de alguna lengua materna sin mencionar a que etnia pertenecen (Gobierno del Estado de Chiapas, 2021). Situación que da importancia a la presente investigación de documentar de viva voz la información sobre uso de la flora medicinal de estas dos etnias que no son mencionadas en la publicación oficial comentada.

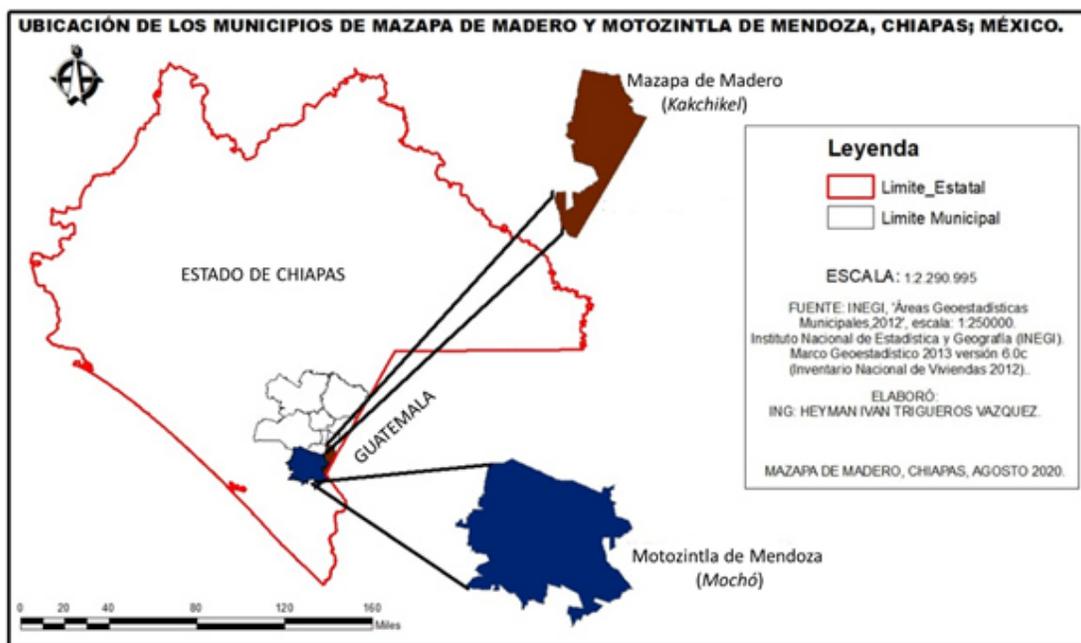


Fig. 1. Ubicación municipal de las etnias Mochó y Kakchikel de la Sierra Mariscal, en el sureste de Chiapas.
Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI, 2013).

Poco se habla de la cultura Mochó y Kakchikel, aunque en la actualidad lo más conocido es la festividad del Santo Patrón “San Francisco de Asís”, tradición de mayor arraigo de la etnia Mochó, cuyas actividades en cada año comienzan a partir del 20 de agosto y es el cuatro de octubre la principal celebración en donde comparten su bebida tradicional: Puzunque. De acuerdo a las tradiciones relatadas por el Sr. Roberto Matías Briceño (Parlamentista), Prof. Víctor Manuel Juárez Jiménez (Consejo Consultivo), Sra. Esperanza Matías Briceño (Coordinadora de cocina), Sra. María Luisa Méndez Echeverría (Coordinadora de mesa), y Sra. Ysabel Reyna Matías Echeverría (Prioste) quienes han sido las autoridades principales y representan a la etnia Mochó, dicen ellos “que San Francisco de Asís llegó para quedarse en la etnia Mochó para estar con ellos”.

Metodología

El método esencial utilizado para esta investigación fue mixto (cualitativo y cuantitativo) tomando como técnica de colecta de información: entrevistas dirigidas, aplicación de un cuestionario y observación participativa (DeWalt & DeWalt, 2002); (Kawulich, 2005), fortalecido con el aprendizaje vicario (Moctezuma-Pérez, 2017); para conocer a ambas etnias en cuanto a organización, estructura social, escolaridad, importancia que dan a las plantas medicinales obtenidas de su agroecosistema, patio, orillas de camino y del ecosistema (bosque de pino-encino y selva baja caducifolia); además estas técnicas son confiables y valiosas para documentar el uso de las plantas para fines específicos (Alexiades, 1996).

Mediante reuniones, entrevistas dirigidas y la integración del investigador en las actividades de acompañamiento a su parcela (agroecosistema), colecta de leña y molienda de plantas para sus festividades, presentación de avances de este proyecto en reuniones mensuales facilitó la aceptación y realización de la investigación. También fue útil llevar siempre una libreta como diario de campo, para anotar todos los detalles observados en el momento tal como lo sugiere (Restrepo, 2018).

Este estudio se llevó a cabo de agosto de 2017 a enero de 2020, con aplicación de un cuestionario conformado por preguntas sobre los aspectos: a) Socioculturales, ecosistemas y agroecosistemas y b) Usos de las plantas medicinales. Para la aplicación del cuestionario se determinó el tamaño de muestra, utilizando la fórmula para una población finita como lo sugiere (Aguilar-Barojas, 2005); esta población estuvo conformada por el listado oficial de los representantes de las familias de cada etnia (Kakchikel, N=111 y Mochó, N=85). En este proceso no se consideró a las autoridades (dos y cuatro respectivamente), puesto que ellos fueron entrevistados por separado al ser considerados como actores claves; la fórmula utilizada es:

$$n = \frac{N*(Z\alpha)^2p*q}{d^2 *(N-1) + Z\alpha^2p*q}$$

En donde:

n= Tamaño de muestra

N= Total de la población

Z α = Nivel de confiabilidad (1.645 al cuadrado, si el intervalo de confianza es del 90%)

p= Proporción aproximada del fenómeno en estudio (5%)

q= 1-p (en este caso 1-0.05= 0.95)

d= Precisión absoluta (como intervalo de confianza de un 5%)

Una vez determinado el tamaño de muestra, con el uso de una tabla de números aleatorios fueron seleccionados los integrantes de cada etnia como fuente de información, tal y como lo sugiere (Gomez-Beloz, 2002). Después de la aplicación del cuestionario los datos

proporcionados se integraron en una base de datos en Microsoft Excel® para su posterior análisis.

Los padecimientos de salud reportados por ambas etnias fueron agrupados de acuerdo a las Clasificación Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud (CIE-10) de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2015). Además, se agruparon padecimientos de afiliación cultural, siendo estos los que no se encuentran en la mencionada clasificación.

Debido a la importancia de determinar la coincidencia de padecimientos entre etnias, se adaptó el índice de similitud de *Jaccard* (Ij) de (Brower & Zar, 1977), que indica las relaciones antes mencionadas, aplicando la siguiente fórmula:

$$I_j = \frac{c}{a+b-c} \times 100$$

Dónde:

c = Número de padecimientos comunes entre a y b

a = Número total de padecimientos reportados por la etnia Kakchikel

b = Número total de padecimientos reportados por la etnia Mochó

Se determinó el Valor Cultural o Nivel de Uso Significativo TRAMIL (UST) como lo sugiere (Germosén-Robineau, 1995), que expresa la mención o citación más frecuente del número de especies de plantas más usadas por padecimiento en cada etnia, y cuando el valor UST es igual o superior al 20% sugiere que son las plantas que requieren evaluación y validación científica (Germosén-Robineau, 1995); (Bermúdez & Velázquez, 2002); (Bermúdez *et al.*, 2005); (Toscano-González, 2006) lo cual evidencia los conocimientos de causa, razón y efecto de la herbolaria en la medicina y salud local. La fórmula para calcular el UST para cada especie medicinal es:

$$UST = \frac{\text{Uso para cada especie}}{\text{nis}} \times 100$$

Dónde:

UST = Valor cultural

Uso Especie = número de menciones (citaciones) para cada especie.

nis = número de entrevistados.

RESULTADOS

La información que se comenta a continuación fue obtenida de la muestra n=35 de la etnia Kakchikel y n= 32 correspondiente a la etnia Mochó, al aplicar la formula sugerida por (Aguilar-Barojas, 2005).

Escolaridad, grado de estudio y ocupación

De acuerdo a los entrevistados, para los Kakchikeles la familia se encuentra integrada por un promedio de 7.2 personas y para los Mochó de 5.5 personas en promedio, siendo éstas del tipo nuclear y extensa; ambas etnias cuentan con servicios básicos de la vivienda (luz eléctrica, agua potable, baño o letrina). Con respecto a la escolaridad, el 97% de los entrevistados de la etnia Kakchikel y el 59% de los Mochó reportan tener algún grado de estudio; y se dedican a las actividades domésticas, del campo y otras, como se puede observar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Escolaridad y ocupación principal de las etnias Kakchikel y Mochó.

		Kakchikel (%)	Mochó (%)
Escolaridad	No estudió	3	41
	Sí estudió	97	59
Grado de estudio	Primaria	71	37
	Secundaria	20	9
	Bachillerato	0	13
	Licenciatura	3	0
	Maestría	3	0
Ocupación	Hogar	48	69
	Campesino	43	16
	Otras actividades	9	15

Organización y Estructura Social

El valor cultural que ambas etnias dan a sus plantas está relacionado con la forma de organización y estructura social. Existen diferencias culturales, que son principalmente la organización social y festividades en variadas fechas; por ejemplo, en la celebración del Santo Patrono del pueblo tanto para Motozintla de Mendoza (San Francisco de Asís) como para Mazapa de Madero (San Martín de Porres).

La fiesta de San Francisco de Asís es organizada solo por integrantes del grupo étnico Mochó o quienes se identifican en ella y es encabezada por autoridades étnicas quienes la representan, tales como: Parlamentista, Consejo Consultivo, Coordinadora de mesa, Coordinadora de cocina y Tesorero. En cambio, la fiesta de San Martín de Porres es organizada por la directiva de la iglesia católica (Presidente, Tesorero y Vocal) además de la autoridad municipal; y organizan procesiones o caminata con flores para ofrecerle al Santo Patrono. Finalmente, ambos grupos concluyen la fiesta con una misa en donde la gente de la cabecera municipal y las comunidades aledañas asisten como invitados.

Los Mochó comentan que la forma de organización, los eventos, fiestas y reuniones de cada mes, hacen que tengan mayor comunicación y convivencia entre ellos, ya que dinamiza la participación en comisiones al iniciar con actividades desde búsqueda y entrada de leña, consecución de ingredientes para la bebida tradicional denominada Pusunque, tales como: harina de trigo, pimienta (*Pimenta dioica* L.), gengibre (*Zingiber officinale* Rosc), sintule (*Eleocharis* spp.), anís (*Pimpinella anisum* L.), pericón (*Tagetes lucida* Cav.), chile guajillo (*Capsicum annuum* L.); tostado de harina con los ingredientes, y la elaboración del Pusunque; vale la pena mencionar que los ingredientes mencionados se usan por separado para atender ciertos padecimientos por sus propiedades medicinales, por ejemplo: *P. nigrum* que tiene propiedades antimicrobianas y antioxidante ((Figueroa-Chacín *et al.*, 2013); al igual *T. lucida* que lo informa (Scull-Lizama *et al.*, 2016) y para ciertos padecimientos relacionados con el sistema respiratorio y del sistema gastrointestinal como lo señala (Jorge-Montalvo *et al.*, 2020) con *Z. officinale*. Es en estos procesos culturales en donde integrantes de la etnia Mochó crean la oportunidad de compartir sus conocimientos sobre el uso de esas plantas medicinales; además, de las experiencias y vivencias de su cotidianidad.

Sin embargo, los integrantes de la etnia Kakchikel, únicamente se reúnen cuando el Consejo Consultivo o el Consejo de Ancianos requieren dar información sobre temas que competen a su etnia o a los que se consideran parte de ella, debido a lo anterior ellos informan que tienen menos convivencia y comunicación, situación que demuestra reducidas oportunidades de que

compartan información sobre el uso de plantas medicinales, por lo que se considera que sus conocimientos son más individuales.

Ambas etnias cuentan con diferentes servicios médicos, la cabecera municipal de Mazapa de Madero solo cuenta con un Centro de Salud y es donde los entrevistados asisten a citas médicas o para atender sus problemas de salud, mencionando que “si se trata de comprar medicamento recomendado por el médico, se tienen que conseguir en alguna farmacia cerca y en ocasiones no se encuentra lo recetado”. Mientras los Mochó, que radican principalmente en la cabecera municipal de Motozintla de Mendoza, se encuentran afiliados a los servicios de ISSTE, IMSS, Centro de Salud o hacen uso de consultorios privados; sin embargo, ambas etnias comentan que poco frecuentan a esos servicios y en general el 97% de ellas informa que continúan recurriendo a las plantas medicinales, como se muestra en el Cuadro (2).

Cuadro 2. Servicios médicos con el que cuentan los grupos étnicos Kakchikel y Mochó.

		Kakchikel (%)	Mochó (%)
Servicio médico	*Seguro Popular	49	70
	IMSS	5	12
	ISSTE	21	9
	Médico particular	25	9
Asistencia al médico	No	14	16
	Si	86	84
Frecuencia de asistencia al médico	Frecuente	14	25
	Poco frecuente	77	62
	Nada	9	13
Uso de plantas medicinales		97	97

*Actualmente INSABI

Clasificación de enfermedades y padecimientos

Los padecimientos que reportan ambas etnias fueron agrupados de acuerdo a la Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud (CIE-10) de la OMS (WHO, 2015). La etnia Mochó reportó 93 padecimientos y la etnia Kakchikel 74, los cuales fueron clasificados en 13 grupos de enfermedades de acuerdo a la CIE-10. Para ambas etnias los grupos de enfermedades clasificadas con más incidencia son: infecciosas y parasitarias, del sistema digestivo, embarazo, parto y puerperio, lesiones, intoxicaciones y algunas otras consecuencias de causas externas, sistema respiratorio y enfermedades del sistema genitourinario; padecimientos que coinciden con lo reportado en 1991 por la etnia Mam que conviven con las etnias Mocho y Kakchikel (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional de los Pueblos Indígenas de México, 2009). Es de notarse que de los padecimientos dentro del grupo de enfermedades infecciosas y parasitarias más mencionados por los Kakchikeles fueron 16 y los Mochó solo reportaron 9 padecimientos de ese tipo; sin que esto reste importancia a los otros padecimientos como se muestra en la Fig. 2.

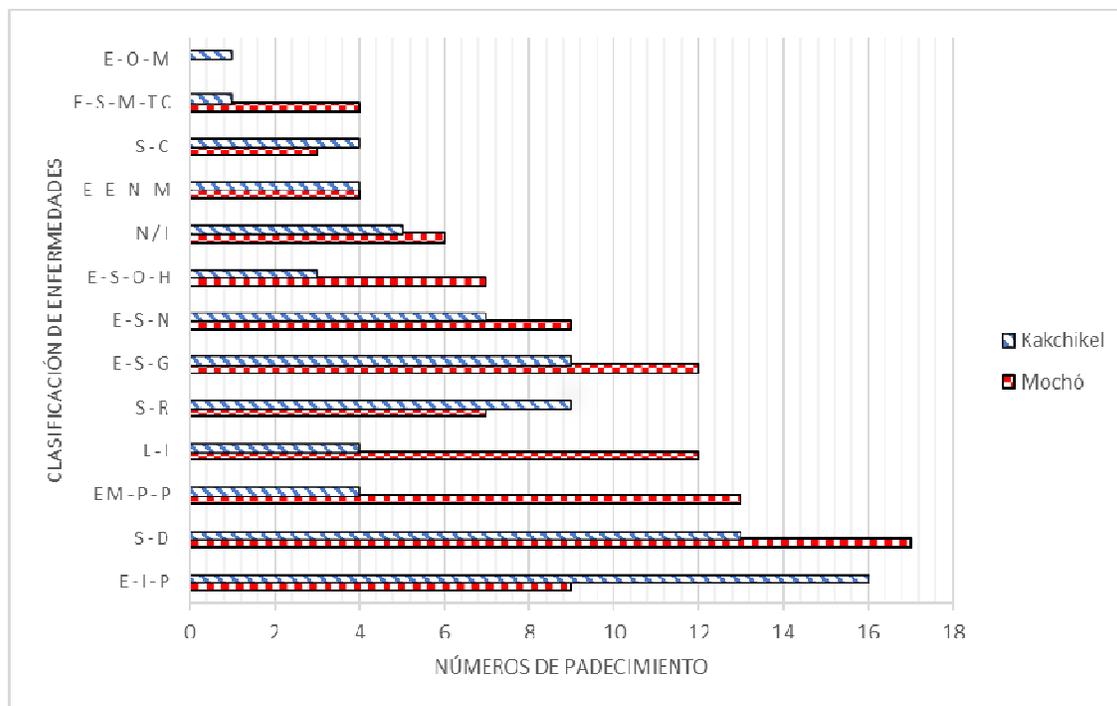


Fig. 2. Padecimientos reportados por las etnias Mochó y Kakchikel, y catalogados de acuerdo a la Clasificación Estadística Internacional de la OMS, 2015 (*Padecimientos no identificados por la OMS (N/I), Enfermedades infecciosas y parasitarias (E-I-P), Enfermedades de la sangre y de los órganos hematopoyéticos y ciertos trastornos que involucran el mecanismo inmunológico (E-S-O-H), Enfermedades endocrinas, nutricionales y metabólicas (E-E-N-M), Enfermedades del sistema nervioso (E-S-N), Sistema circulatorio (S-C), Sistema respiratorio (S-R), Sistema digestivo (S-D), Enfermedades del sistema musculoesquelético y del tejido conectivo (E-S-M-TC), Enfermedades del sistema genitourinario (E-S-G), Embarazo, parto y puerperio (EM-P-P) y Lesiones, intoxicaciones y algunas otras consecuencias de causas externas (L-I), Enfermedades del oído y proceso mastoideo (E-O-M).

Similitud de padecimientos entre etnias (Índice de Jaccard)

De un total de 167 padecimientos reportados por ambas etnias, coinciden en un 28.5% (37). En cuanto al grupo de enfermedades de mayor incidencia en las dos etnias son las relacionadas con el sistema digestivo, los Mochó reportan 17 y los Kakchikel 13, teniendo una similitud del 25%, con los padecimientos conocidos localmente por las etnias como: bilis, colitis, fuego en la boca, llenazón en la boca del estómago, inflamación del estómago y cólicos. Con respecto al grupo de enfermedades infecciosas parasitarias presentaron una similitud del 38.89% (Cuadro 3).

Cuadro 3. Similitud (%) de padecimientos entre las etnias Mochó y Kakchikel (Índice de Jaccard) identificados de acuerdo a la Clasificación Estadística Internacional de la OMS, 2015.

Clasificación de Padecimientos*	IJ (%)
E-E-N-M	60.00
E-S-N	45.45
S-C	40.00
E-I-P	38.89
S-R	25.00
E-S-M-TC	25.00
S-D	24.00
L-I	23.08
E-S-G	16.67
E-S-O-H	11.11
EM-P-P	6.25
E-O-M	0
N/I	22.22

* Enfermedades endocrinas, nutricionales y metabólicas (E-E-N-M), Enfermedades del sistema nervioso (E-S-N), Sistema circulatorio (S-C), Enfermedades infecciosas y parasitarias (E-I-P), Sistema respiratorio (S-R), Enfermedades del sistema musculoesquelético y del tejido conectivo (E-S-M-TC), Sistema digestivo (S-D), Lesiones, intoxicaciones y algunas otras consecuencias de causas externas (L-I), Enfermedades del sistema genitourinario (E-S-G), Enfermedades de la sangre y de los órganos hematopoyéticos y ciertos trastornos que involucran el mecanismo inmunológico (E-S-O-H), Embarazo, parto y puerperio (EM-P-P), Enfermedades del oído y proceso mastoideo (E-O-M), N/I = no identificadas.

Plantas usadas por padecimiento

De la información brindada por ambas etnias se tomaron en cuenta los 10 padecimientos más mencionados y que fueran atendidos con un mayor número de especies medicinales. En cuanto al grupo de enfermedades de tipo E-I-P: diarrea, fiebre, dolor de estómago; las E-S-G: riñones; las de E-E-M-N: diabetes, las de tipo S-R: tos y gripe, la etnia Mochó reportó un mayor número de plantas usadas por padecimiento en contraste con los Kakchikeles; mientras que en los padecimientos de tipo nervioso (dolor de cabeza) y lesiones e intoxicaciones (secar heridas) los Kakchikeles reportaron mayor número de plantas usadas para tratar dichos padecimientos como se muestra en la Fig. 3.

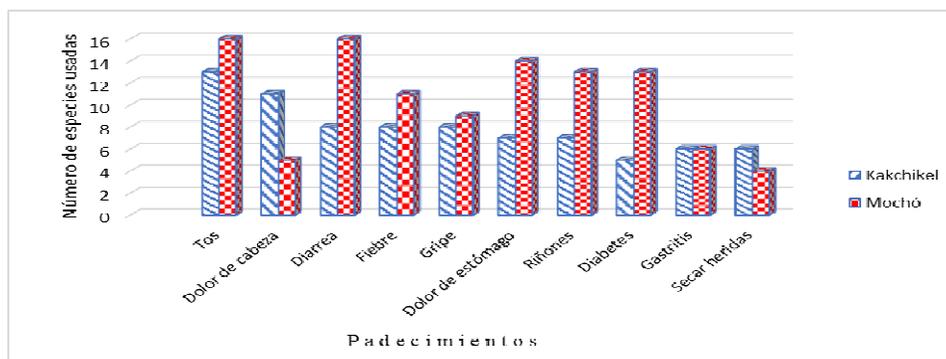


Fig. 3. Número de plantas medicinales usadas por las etnias Kakchikel y Mochó para atender sus principales padecimientos de salud.

Valor Cultural TRAMIL de las plantas medicinales

Se identificaron 20 especies con valor cultural TRAMIL, 16 plantas medicinales para la etnia Mochó y 14 para la Kakchikel, teniendo 10 especies en común. Lo más sobresaliente es que existe flora medicinal exclusiva en uso dentro de cada territorio, como sucede en la etnia Kakchikel que mencionaron: palo jiote (*Bursera simaruba* L.), ajo (*Allium sativum* L.), caña de cristo *Costus pictus* D. DON.) y epazote (*Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin et Clemonts); mientras que la etnia Mochó mencionó el uso de albahaca (*Ocimum basilicum* L.), lava plato (*Solanum torvum* SW), chicalote (*Argemone mexicana* L.), ajenjo (*Artemisia absinthium* L.) y guayaba (*Psidium guajava* L.); flora que se encuentra tanto en sus ecosistemas como en el patio de los territorios correspondientes (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valor Cultural TRAMIL (%) de las plantas medicinales usadas por ambas etnias.

No.	Nombre común	Nombre científico	Kakchikel	Mochó
1	Aguacate	<i>Persea americana</i> Mill.	0	21.9
2	Ajenjo	<i>Artemisia absinthium</i> L.	0	31.3
3	Ajo	<i>Allium sativum</i> L.	22.9	
4	Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i> L.	0	25.0
5	Canela	<i>Cinnamomum verum</i> J.	22.9	37.5
6	Caña de Cristo	<i>Costus pictus</i> D. DON.	22.9	0
7	Chicalote	<i>Argemone mexicana</i> L.	0	31.3
8	Epazote	<i>Dysphania ambrosioides</i> L.	22.9	0
9	Guayaba	<i>Psidium guajava</i> L.	0	37.5
10	Hediondillo	<i>Senna occidentalis</i> L.	42.9	34.4
11	Hierbabuena	<i>Mentha x piperita</i> L.	31.4	40.6
12	Hinojo	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	48.6	93.8
13	Lavaplato	<i>Solanum torvum</i> Sw	0	28.1
14	Limón	<i>Citrus x aurantifolia</i> (Christm.) Swingle	40.0	40.6
15	Manzanilla	<i>Matricaria recutita</i> L.	20.0	25.0
16	Palo jiote	<i>Bursera simaruba</i> (L.	22.9	0
17	Ruda	<i>Ruta graveolens</i> L.	45.7	56.3
18	Sábila	<i>Aloe vera</i> (L.) Burm. f.	25.7	34.4
19	Te limón	<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf	31.4	31.3
20	Verbena	<i>Verbena litoralis</i> Kunth.	60.0	43.8

DISCUSIÓN

El proceso de transmisión cultural del conocimiento, en este caso sobre la relación de plantas medicinales y padecimientos atendidos, involucra cuatro elementos como lo sugiere (Taboada-Soldati, 2016), a saber: “1) la información que debe transmitirse, 2) un modelo que posee la información, 3) un aprendiz que recibirá la información y 4) un contexto socioambiental donde ocurre el proceso”. En cada etnia la forma de organización y estructura social es un factor que muestra el grado de convivencia, interacción y el proceso de aprendizaje sobre el uso de las plantas medicinales para cada padecimiento, como sugieren las respuestas de los entrevistados. En general, en este caso la información que comparte la etnia Mochó es producto de su dinámica mensual y de eventos de naturaleza sociocultural-religioso; y en particular el conocimiento compartido que ellos poseen sobre el uso de plantas medicinales, lo que tiende a ser colectivo, situación que les da identidad. Mientras que la etnia Kakchikel tiene menor actividad social, lo que influye en la poca oportunidad para compartir experiencias en el uso de plantas medicinales; por lo tanto, el conocimiento de ellos se cataloga como individual y familiar, coincidiendo con (Villoro, 1982) al señalar que la dinámica de conocimientos puede ser individual o colectivo; además, (Moctezuma-Pérez, 2017) comenta al tratar el aprendizaje

vicario de que “el individuo nunca es pasivo ante las estructuras sociales y culturales que se encuentran en un ambiente”; es decir, hay un aprendizaje continuo.

Ambas etnias expresan que cuentan con servicios médicos, el 49% de los Kakchikeles y el 70% de los Mochó informan estar afiliados en el Seguro Popular (actualmente INSABI); mientras el 25% de los Kakchikeles y el 9% de los Mochó recurre al médico particular. Mazapa de Madero cuenta con el servicio de un Centro de Salud que es donde asisten los Kakchikeles y la población en general; contrario a lo que sucede con la etnia Mochó, que cuenta con más infraestructura y variados servicios de salud, como son: IMSS, ISSSTE y Centro de Salud, todos ubicados en la cabecera municipal de Motozintla de Mendoza. También mencionaron ambas etnias que solo recurren a los servicios médicos cuando sus padecimientos no se curan con las plantas medicinales y que requieren de atención especializada, como son: “hemodiálisis”, “dentista”, “diabetes” y “epilepsia”; resultados similares obtenidos por (Trigueros-Vázquez *et al.*, 2018) donde reportan que las familias de Paso Serrano del municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, recurren a los servicios médicos alópatas ocasionalmente para atender sus padecimientos principalmente: infecciones en riñón, vacuna contra influenza y persona con diabetes.

La etnia Mochó cuenta con varios servicios médicos, y menor escolaridad, reportaron el uso de 123 plantas medicinales para diferentes padecimientos; mientras que los Kakchikeles, con mayor escolaridad, reportaron el uso de 86 especies medicinales. En sus respuestas indican que, aunque haya diferencias de escolaridad entre ambas etnias tienen preferencia y confianza en el uso de la flora medicinal local, lo que muestra conocimientos sobre diversidad y disponibilidad de plantas en su territorio; estos resultados coinciden con lo reportado por (Taddei-Bringas *et al.*, 1999), (Trigueros-Vázquez *et al.*, 2018), (Orantes-García *et al.*, 2018).

Los Mochó usan más plantas medicinales contrario a los Kakchikeles que tiene menos disponibilidad de ellas. Estos resultados, son diferentes a lo reportado por (Hitziger, 2016), que realizó investigación con dos grupos étnicos (Kakchikel y Q’eqchi’) en el Petén, Guatemala y parte de Belize, encontrando conocimiento de especies medicinales similares entre esas etnias y sus respectivos territorios. El mismo autor reporta tres grupos de enfermedades que coinciden con las encontradas en esta investigación con las etnias Mochó y Kakchikel, estas son: E-I-P, S-D y S-R lo que evidencia una relación similar entre esos padecimientos y plantas usadas en esos territorios.

De todos los padecimientos reportados por ambas etnias, 93 del grupo Mochó y 74 de la etnia Kakchikel, se atienden mayormente con plantas medicinales, lo que contrasta con lo reportado por (Villarreal-Ibarra *et al.*, 2014), identificaron 51 padecimientos con 128 especies de plantas para atenderlos en la comunidad de Malpasito, Huimanguillo, Tabasco.

La riqueza de la flora medicinal usada por las etnias se evidencia al tener 20 especies con valor cultural (TRAMIL) en total, y por separado se determinaron 16 plantas de importancia cultural para la etnia Mochó y 14 especies medicinales para los Kakchikeles, coincidiendo en 10 especies. En otras regiones se tienen valores similares de riqueza como lo ejemplifica (Toscano-González, 2006) con 10 especies con valor cultural en Boyacá Colombia, de zona templada; (Villarreal-Ibarra *et al.*, 2014) con 13 especies en Huimanguillo, Tabasco de zona tropical húmeda y por (Zambrano-Intriago *et al.*, 2015) con 12 plantas con valor cultural en Quevedo, Ecuador, en clima húmedo tropical. Conocimientos que dan evidencia e importancia de la etnomedicina a nivel global y son experiencias que fortalecen la validación cultural a través del tiempo en el uso de la flora medicinal (de Sousa Araújo *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES

Las etnias Mochó y Kakchikel de la Sierra Mariscal del estado de Chiapas tienen acceso diferenciado a los servicios básicos de salud y escolaridad, ambas prefieren usar plantas medicinales para atender sus padecimientos en general. La etnia Mochó genera oportunidades para la socialización de conocimientos y confianza en el uso de su flora medicinal asociada a un mayor grado de organización. La etnia Mochó reportó 93 padecimientos y la Kakchikel 74, distribuidos en 13 grupos de enfermedades, teniendo entre ambas un índice de similitud de Jaccard del 28.5%. El Valor Cultural o Nivel de Uso Significativo TRAMIL (UST) para la etnia Mochó fue de 16 y para la etnia Kakchikel fue de 14 plantas medicinales, con 10 especies en común.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONACyT por el financiamiento de beca doctoral (Núm. 266360) a la primera autora en el postgrado en Agroecosistemas Tropicales del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. A Apoyos complementarios para Mujeres Indígenas Becarias CONACyT 2018-2020. A las etnias Kakchikel y Mochó de la región Sierra Mariscal del estado de Chiapas. Por apoyos en campo y consultas se agradece al Ing. Carlos Martín Gutiérrez, Sr. Roberto Matías Briceño, Prof. Víctor Manuel Juárez Jiménez, Sra. Esperanza Matías Briceño, Sra. María Luisa Méndez Echeverría, al Prof. Vedalmiro Morales Ramos y Prof. Pablo García García. Además, se agradece a los revisores anónimos por su aportes críticos y sugerencias para mejorar este escrito.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud En Tabasco*, 11(1-2), 333-338. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48711206>
- Alexiades, M. (1996). Collecting ethnobotanical data: An introduction to basic concepts and technics. In *Selected guidelines for ethnobotanical research* (pp. 3-54).
- Bermúdez, A., Oliveira-Miranda, M. A., & Velázquez, D. (2005). La investigación etnobotánica sobre plantas medicinales: una revisión de sus objetivos y enfoques actuales. *Interciencia*, 30(8), 453-459.
- Bermúdez, A., & Velázquez, D. (2002). Etnobotánica médica de una comunidad campesina del estado Trujillo, Venezuela: un estudio preliminar usando técnicas cuantitativas. *Revista de La Facultad de Farmacia*, 44, 1-6.
- Berry, J. (2003). Conceptual approaches to acculturation. In K. M. Chun, P. Balls-Organista, & G. Marin (Eds.), *Acculturation: advances in theory, measurements and applied research* (pp. 17-37).
- Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional de los Pueblos Indígenas de México. (2009). *Mames: la Medicina Tradicional de los Pueblos Indígenas de México*.
- Brower, J. E., & Zar, J. H. (1977). Community similarity. In *Field and laboratory methods for general ecology* (pp. 226-226).
- CONABIO. (2022). 87. *Motozintla*. http://Www.Conabio.Gob.Mx/Conocimiento/Regionalizacion/Doctos/Rhp_087.Html.
- de Sousa Araújo, T. A., de Melo, J. G., Ferreira Júnior, W. S., & Albuquerque, U. P. (2016). Medicinal plants. In *Introduction to Ethnobiology* (pp. 143-149). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28155-1_22
- DeWalt, K. M., & DeWalt, B. R. (2002). *Participant observation: a guide for fieldworkers*. Altamira Press. https://Books.Google.Com/Mx/Books?Id=p1wcO3UNXQ4C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

- https://books.google.com.mx/books?id=p1wcO3UNXQ4C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Escobar-Hernández, M. A., Bello-Baltazar, E., & Estrada-Lugo, E. I. J. (2016). Intercambio de plantas entre huertos y otros espacios. *Revista Pueblos y Fronteras*, 10, 92–114.
- Figueroa-Chacín, J., Malavé-Acuña, Y. C., Cordero-Mendoza, A. J., & Médez-Natera, R. J. (2013). Constituyentes químicos de las hierbas y especias: Efectos sobre la salud humana. *Revista Científica UDO Agrícola*, 13(1), 1–16.
- Gallegos-Zurita, M., Castro-Posligua, A., Mazacón-Mora, M., Zalazar-Carranza, L., & Zambrano-Pacuso, M. (2021). Plantas medicinales, su uso en afecciones respiratorias. *Journal of Science and Research*, 6, 57–72.
- García-Zúñiga, Antonio., & Ríos-Mendoza, Bruma. (2006). *Mochó*. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. <http://www.cdi.gob.mx>
- Germosén-Robineau, L. (1995). *Hacia una Farmacopea Caribeña. Edición TRAMIL 7. Collection privée Emmanuel Nossin*.
- Gheno-Heredia, Y. A., Nava-Bernal, G., Roberto Martínez-Campos, Á., & Sánchez-Vera, E. (2011). Las plantas medicinales de la organización de parteras y médicos indígenas tradicionales de Ixhuatlancillo, Veracruz, México y su significancia cultural. *Polibotánica*, 31, 199–251.
- Giddens, A. (2000). Cultura, sociedad e individuo. In *Sociología* (pp. 3–33). Alianza.
- Gobierno del estado de Chiapas. (2014). *PROGRAMA REGIONAL DE DESARROLLO 2013-2018. REGIÓN XI, SIERRA MARISCAL*.
- Gobierno del Estado de Chiapas. (2021). Capítulo XXVI. Estadística de Población. In Gobierno del Estado de Chiapas (Ed.), *Lineamientos para la programación del presupuesto de egresos*.
- Gobierno Municipal Mazapa de Madero. (2015). *Gobierno Municipal Mazapa de Madero 2015-2018*. <https://20182021.Mazapademadero.Gob.Mx/Historia> Consultado 17 Octubre 2022.
- Gomez-Beloz, A. (2002). Plant use knowledge of the Wikina Warao: The case for questionnaires in ethnobotany. *Economic Botany*, 56(3), 231–241.
- Hernández-Castillo, R. A. (2008). *Procesos contemporáneos de conformación de identidades indígenas en la frontera sur de Chiapas*. CDI.
- Hitziger, M. (2016). *Mayan phytotherapy in Guatemala: A transdisciplinary study for ethnographic documentation and local empowerment*. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-010735971>
- Hurtado-Rico, N. E., Rodríguez-Jiménez, C., & Aguilar-Contreras, A. (2006). Estudio cualitativo y cuantitativo de la flora medicinal del municipio de Copándaro de Galeana, Michoacán, México. *Polibotánica*, 22, 21–50.
- INEGI. (2013). *Marco Geoestadístico v6.0*. <https://www.Inegi.Org.Mx/App/Biblioteca/Ficha.Html?Upc=702825292829>.
- Jorand, B. (2008). Formas de transformación del conocimiento de la medicina tradicional en los pueblos Nahuas del municipio de Hueyapan, Sierra Norte de Puebla. *Cuicuilco*, 44, 181–196.
- Jorge-Montalvo, P., Vilchez-Perales, C., & Visitación-Figueroa, L. (2020). Pharmacological properties of ginger (*Zingiber officinale*) for the prevention and treatment of COVID-19. *Agroindustrial Science*, 10(3), 329–338. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.03.16>
- Juárez-Pérez, J. C., & Cabrera-Luna, J. A. (2019). Plantas para afecciones respiratorias comercializadas en tres mercados de la ciudad de Santiago de Querétaro. *Polibotánica*, 0(46). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.12>
- Kawulich, B. B. (2005). La observación participante como método de recolección de datos 1. *Qualitative Social Research*, 6(2), 1–32. <http://www.qualitative-research.net/fqs/>
- Kigen, G., Rono, H. K., Kipkore, W., Rotich, J. K., Kigen, G. K., Ronoh, H. K., Kipkore, W. K., & Rotich, J. K. (2013). Current trends of Traditional Herbal Medicine Practice in Kenya: A review. *J. Pharmacol. Ther.*, 2(1), 32–37. <http://www.uonbi.ac.ke/journals/kesobap/>

- Magaña-Alejandro, M. A., Gama-Campillo, Ma. L., & Mariaca-Méndez, R. (2010). El uso de las plantas medicinales en las comunidades Maya-Chontales de Nacajuca, Tabasco, México. *Polibotánica*, 29, 213–262.
- Mariaca-Méndez, R. (2012). La complejidad del huerto familiar Maya del sureste de México. In R. Mariaca-Méndez (Ed.), *El huerto familiar del sureste* (pp. 7–97). Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental Tabasco.
- Moctezuma-Pérez, S. (2017). Una aproximación a las sociedades rurales de México desde el concepto de aprendizaje vicario. *Revista LiminaR. Estudios Sociales y Humanísticos*, 15(2), 169–176.
- Nigh, R. (2001). *Tzeltales y Tzotziles de Chiapas*. Proyecto Perfiles Indígenas de México, Documento de trabajo
- Nwachukwu C.U. (2010). Identification And Traditional Uses Of Some Common Medicinal Plants In Ezinihitte Mbaise L.G.A., Of Imo State, Nigeria. *Report and Opinion*, 2, 1–8.
- Okello, S. v, Nyunja, R. O., Netondo, G. W., & Onyango. (2010). Ethnobotanical study of medicinal plants used by Sabaots of Mt. Elgon, Kenya. *African Journal Traditional, Complementary and Alternative Medicines (CAM)*, 7(1), 1–10. www.africanethnomedicines.net
- Orantes-García, C., Moreno-Moreno, R. A., Caballero-Roque, A., & Farrera-Sarmiento, O. (2018). Plantas utilizadas en la medicina tradicional de comunidades campesinas e indígenas de la selva Zoque, Chiapas, México. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 17(5), 503–521.
- Owuor, B. O., Mulemi, B. A., & Kokwaro, J. O. (2005). Indigenous snake bite remedies of the Luo of Western Kenya. *Journal of Ethnobiology*, 25(1), 129–141. [https://doi.org/10.2993/0278-0771\(2005\)25\[129:ISBROT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2993/0278-0771(2005)25[129:ISBROT]2.0.CO;2)
- Pascual-Casamayor, D., Pérez-Campos, Y. E., Guerrero-Morales, I., Castellanos-Coloma, I., & González-Heredia, E. (2014). Algunas consideraciones sobre el surgimiento y la evolución de la medicina natural y tradicional. *MEDISAN*, 18(10), 1467–1474.
- Pozo-Gómez, B. K. (2020). *Estudio etnobotánico en huertos familiares de una comunidad Zoque de Chiapas*. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Prieto-González, S., Garrido-Garrido, G., González-Lavaud, J. A., & Molina-Torres, J. (2004). Actualidad de la medicina tradicional herbaria. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 35(1), 19–36.
- Restrepo, E. (2018). *Etnografía: alcances, técnicas y éticas*. <https://www.researchgate.net/publication/327129214>
- Ruiz-Lagier, V. (2018). Los refugiados guatemaltecos y la frontera-frente de discriminación, explotación y desigualdad. *Alteridades*, 28(56), 47–57. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcsh/alteridades/2018v28n56/Ruiz>
- Scull-Lizama, R., Gutiérrez, Y. I., Sánchez, A., & Montes, A. (2016). Análisis farmacognóstico de *Tagetes lucida* Cav. y sus extractos hidroalcohólicos. *Revista de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*, 2(1), 1–14. <https://www.researchgate.net/publication/324606052>
- SIC-México. (2019). *Cultura. Pueblos Indígenas. Kaqchikeles*. https://w.w.w.Sic.Gob.Mx/Ficha.Php?Tablej=grupo_etnico&table_id=46.
- Sotero-García, A. I., Gheno-Heredia, Y. A., Roberto Martínez-Campos, Á., & Arteaga-Reyes, T. (2016). Plantas medicinales usadas para las afecciones respiratorias en Loma Alta, Nevado de Toluca, México. *Acta Botanica Mexicana*, 114, 51–68.
- Taboada-Soldati, G. (2016). Local or traditional knowledge transmission and natural resource use. In U. P. Alburquerque & R. Alves (Eds.), *Introduction to ethnobiology* (pp. 235–238). Springer.
- Taddei-Bringas, G. A., Santillana-Macedo, M. A., Romero-Cancio, J. A., & Romero-Tellez, M. B. (1999). Aceptación y uso de herbolaria en medicina familiar. salud pública de México. *Salud Pública de México*, 41, 216–220.
- Toscano-González, J. Y. (2006). Uso tradicional de plantas medicinales en la vereda de San Isidro, municipio de San José de Paré-Boayacá: un estudio preliminar usando técnicas cuantitativas. *Acta Biológica Colombiana*, 11(2), 137–146.

Recibido:
27/mayo/2022

Aceptado:
13/enero/2023

- Trigueros-Vázquez, I., Bautista-García, G., Cessa-Reyes, V., & García-Sánchez, A. I. (2018). Uso de plantas medicinales en Paso Serrano, Manlio Fabio Altamirano, Ver. In *Memoria XXXI. Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria, Veracruz. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA-UV, Tec.NM. Medellín, Ver. México*. (Vol. 2, pp. 1352–1362).
- Trigueros-Vázquez, L. A. (2013). *Factores que propiciaron el proceso de desuso de la lengua Kaqchikel en el municipio de Mazapa de Madero. Una experiencia de la redefinición de la identidad*. Universidad Autónoma de Chiapas.
- Villanueva-Solis, I., Arreguín-Sánchez, M. L., Quiroz-García, D. L., & Fernández-Nava. R. (2020). Plantas medicinales que se comercializan en el mercado 8 de julio y uno tradicional, ambos localizados en el centro de Actopan, Hidalgo, México. *Polibotánica*, 50, 209–243. <https://doi.org/DOI: 10.18387/polibotanica.50.14>
- Villarreal-Ibarra, E. C., García-López, E., Antonio López, P., Jesús Palma-López, D., Del, L., Lagunes-Espinoza, C., Freddy Ortiz-García, C., & Oranday-Cárdenas, A. (2014). Plantas útiles en la medicina tradicional de Malpasito, Huimanguillo, Tabasco, México. *Polibotánica*, 37, 109–134.
- Villoro, L. (1982). Conocer y saber. In *Creer, saber y conocer* (pp. 195–221).
- WHO. (2015). *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems. 10th. Revision*. <http://Apps.Who.Int/Classifications/Icd10/Browse/2015/> Consultado Febrero 3, 2020.
- WHO. (2021). *Información básica sobre la COVID-19*. <https://www.Who.Int/Es/News-Room/Questions-and-Answers/Item/Coronavirus-Disease-Covid-19>. Consultada Octubre 5 de 2022.
- Yazdanshenas, H., Shafeian, E., Nasiri, M., & Mousavi, S. A. (2016). Indigenous knowledge on use values of Karvan district plants, Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 18(4), 1217–1238. <https://doi.org/10.1007/s10668-015-9698-y>
- Zambrano-Intriago, L. F., Buenaño-Allauca, M. P., Mancera-Rodríguez, N. J., & Jiménez-Romero, E. (2015). Estudio etnobotánico de plantas medicinales utilizadas por los habitantes del área rural de la Parroquia San Carlos, Quevedo, Ecuador. *Universidad de Salud*, 17(1), 97–111.

ESTUDIO DE PLANTAS MEDICINALES EN EL MUNICIPIO DE PACHUCA DE SOTO HIDALGO, MÉXICO

STUDY OF MEDICINAL PLANTS IN THE MUNICIPALITY OF PACHUCA OF SOTO HIDALGO, MEXICO

Lara Reimers, E.A.; A.R. García Hernández; F. Cruz García; D. Uresti Duran: J.A. Gonzales Fuentes; J.A. Encina Domínguez y Y. Uribe Salazar

ESTUDIO DE PLANTAS MEDICINALES EN EL MUNICIPIO DE PACHUCA DE SOTO HIDALGO, MÉXICO

STUDY OF MEDICINAL PLANTS IN THE MUNICIPALITY OF PACHUCA OF SOTO HIDALGO, MEXICO



Estudio de plantas medicinales en el municipio de Pachuca de Soto Hidalgo, México

Study of medicinal plants in the municipality of Pachuca of Soto Hidalgo, Mexico

Lara Reimers, E.A.;
A.R. García Hernández;
F. Cruz García;
D. Uresti Duran;
J.A. Gonzales Fuentes;
J.A. Encina Domínguez
y Y. Uribe Salazar

ESTUDIO DE PLANTAS
MEDICINALES EN EL
MUNICIPIO DE PACHUCA
DE SOTO HIDALGO,
MÉXICO

STUDY OF MEDICINAL
PLANTS IN THE
MUNICIPALITY OF
PACHUCA OF SOTO
HIDALGO, MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 55: 197-211. Enero 2023

DOI:

10.18387/polibotanica.55.13

E.A. Lara Reimers

A.R. García Hernández

F. / guarimochi_494@hotmail.com

Departamento de Forestal UAAAN, Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”
de Saltillo, Calzada Antonio Narro 1923, Buena Vista,
CP 25315 Saltillo, Coahuila, México.

D. Uresti Duran

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias,
Carretera Saltillo-Zacatecas, Kilómetro 342 + 119, 9515,
Hacienda de Buena Vista, CP 25315, Saltillo, Coahuila, México.

J.A. Gonzales Fuentes

Departamento de Horticultura UAAAN, Universidad Autónoma Agraria “Antonio
Narro” de Saltillo, Calzada Antonio Narro 1923,
Buena Vista, CP 25315 Saltillo, Coahuila, México.

J.A. Encina Domínguez

Departamento de Recursos Naturales UAAAN, Universidad Autónoma Agraria
“Antonio Narro” de Saltillo, Calzada Antonio Narro 1923,
Buena Vista, CP 25315 Saltillo, Coahuila, México.

Y. Uribe Salazar

Departamento de Biología UAM-I, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa,
Avenida San Rafael Atlixco 186, Leyes de Reforma Ira. Sección,
Iztapalapa, 09340, Ciudad de México, CDMX.

RESUMEN: En México, el uso de plantas medicinales ha sido una práctica ancestral para el tratamiento de la salud, que va desde la cura de un padecimiento común hasta el cáncer. México cuenta con una gran diversidad de plantas medicinales utilizadas por su gente a lo largo del país para tratar diferentes dolencias. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la importancia y uso de las plantas medicinales en 13 comunidades rurales del municipio de Pachuca de Soto, Hidalgo. Se aplicaron un total de 97 encuestas etnobotánicas a pobladores locales; La recolección de datos consideró aspectos socioeconómicos y de salud, e información sobre los principales usos de las plantas. Los informantes con edades entre 50 y 54 años citaron un mayor número de plantas medicinales. Se registraron un total de 90 especies, 82 géneros y 45 familias. Asteraceae, Lamiaceae y Rutaceae fueron las familias mejor representadas. Asimismo, en los índices etnomedicinales con los que se estimó la importancia cultural de la especie, los taxones *Chamaemelum nobile* (L.) All. y *Ruta chalepensis* L. presentaron los mayores valores y usos para enfermedades de los aparatos digestivo y respiratorio. Estas especies son las de mayor uso medicinal y se mencionan en el 90% de la población entrevistada.

Palabras clave: Asteraceae, Lamiaceae, Rudaceae, Plantas medicinales, Importancia Cultural, *Chamaemelum nobile* (L.) All.

ABSTRACT: In Mexico, the use of medicinal plants has been an ancestral practice for the treatment of health, ranging from the cure of a common complaint to cancer.

Mexico has a great diversity of medicinal plants used by its people throughout the country to treat different ailments. The present work aimed to evaluate the importance and use of medicinal plants in 13 rural communities in the municipality of Pachuca de Soto, Hidalgo. A total of 97 ethnobotanical surveys were applied to locals; The data collection considered socioeconomic and health aspects, and information on the main plant uses. The informants aged between 50 and 54 years cited a higher number of medicinal plants. A total of 90 species, 82 genera, and 45 families were registered. Asteraceae, Lamiaceae, and Rutaceae were the best-represented families. Likewise, in the ethnomedicinal indexes with which the cultural importance of the species was estimated, the taxa *Chamaemelum nobile* (L.) All. and *Ruta chalepensis* L. presented the highest values and uses for diseases of the digestive and respiratory systems. These species are the ones with the greatest medicinal use and are mentioned in 90% of the interviewed population.

Key words: Asteraceae, Lamiaceae, Rutaceae, Medicinal Plants, Cultural Importance, *Chamaemelum nobile* (L.) All.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial al menos el 80% de la población utiliza medicina tradicional para tratar malestares que afectan su salud (Bermúdez *et al.*, 2005). Las plantas medicinales tienen diversos usos, lo cual beneficia de forma directa a la población que aprovecha sus propiedades y conocimiento en su aplicación (Magaña-Alejandro *et al.*, 2010), estas plantas tienen mayor impacto en la salud en países en vías de desarrollo, donde más se utilizan debido a la carencia de medicamentos y al alto costo de estos (Jiménez-Arellanes *et al.*, 2014).

En México, el uso de las plantas medicinales representa una alternativa económica significativa para 400 millones de personas que no tienen acceso a los servicios de salud pública (Osuna Torres *et al.*, 2005). En el estado de Hidalgo se localizan comunidades indígenas que tienen un conocimiento amplio de las plantas medicinales, además presentan un índice de marginación elevado. Casos como Huehutla, ocupa el tercer lugar de los 83 lugares con marginación a nivel nacional, esto es debido en parte a la alta concentración de población indígena (74%) (López-Gutiérrez *et al.*, 2014). Dentro de tal estado resaltan municipios como Huasca de Ocampo, Real del Monte, Mineral del Monte, Omitlán, Meztlán y Meztlán por el inventario de la flora local y sus usos, el municipio de Pachuca de Soto por el contrario no tiene estudios del uso de la flora local enfocados en la medicina tradicional (CONABIO y SEMARNAT, 2022).

En el estado de Hidalgo aproximadamente el 12.5% de la flora estatal es flora medicinal, donde se tiene registro de uso cercano entre 160 a 370 especies (CONABIO y SEMARNAT, 2022; López-Gutiérrez *et al.*, 2014). Por lo tanto, existe la necesidad de investigar las especies de importancia medicinal y cultural local, hacer registro y actualizar información de esas especies vegetales, permitiendo apoyar programas de manejo sostenible y su conservación, para lo cual se generen estrategias de recolecta sostenible, propagación y cultivo (López-Gutiérrez *et al.*, 2014). El objetivo del estudio fue generar información más precisa del conocimiento tradicional herbolario de las comunidades del municipio de Pachuca de Soto, Hidalgo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo de investigación se realizó en el municipio de Pachuca de Soto, Hidalgo, México (Fig. 1). El clima del municipio es templado semifrío y con lluvias en verano, y la precipitación media anual es de 400 a 800 mm anual. Dentro del municipio encontramos que alrededor de 32% de la superficie se emplea en agricultura, 7% en pastizal, matorral 7%, bosque 6% y el 8% restante en vegetación secundaria (CONABIO, 2022).

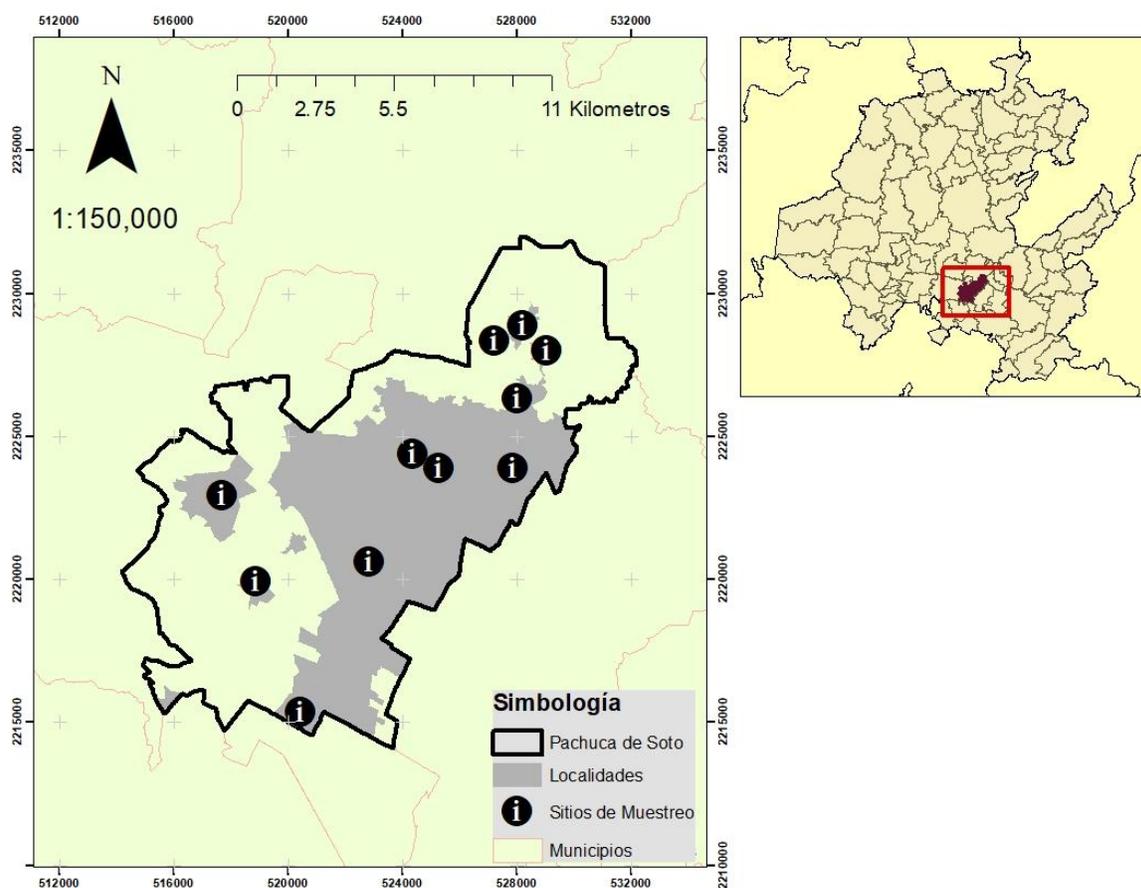


Fig. 1. Municipio de Pachuca de Soto, Hidalgo.

Aspectos Sociales, Culturales, Pobreza y Salud

Como entidad federativa, Hidalgo posee una riqueza cultural material que es distribuida en diez regiones geoculturales: los Llanos de Apan, el Valle del Mezquital, la Huasteca, la Sierra Alta, la Sierra Baja, la Sierra Gorda y la Sierra de Tenango, la Cuenca del Valle de México, la Comarca Minera y el Valle de Tulancingo, donde aún existen presencia de indígenas nahuas y hñähñú y una minoría tepehuas, mismos que poseen información ancestral y única.

De acuerdo al (CONEVAL, 2020), la pobreza de Hidalgo en 2018 fue del 43.8% de la población, es decir, 1,311,100 personas. De este total, el 37.8% (cerca de 1,129,600 personas) estaba en situación de pobreza moderada, mientras que el 6.1% se encontraba en situación de pobreza extrema (alrededor de 181,500 personas). Por otro lado, la población no pobre y no vulnerable representó solo el 13.5%, aproximadamente 403,500 personas, mientras que el 86.5% de la población en Hidalgo estaba en situación de pobreza o de vulnerabilidad por carencias o ingresos.

De 2008 a 2018, la población carente de servicios de salud en Hidalgo tuvo una disminución de 33.0 puntos porcentuales, lo cual indica que unas 808,600 personas tuvieron acceso a servicios de salud. Actualmente el índice de marginación (IM) de Pachuca de Soto representa -1.675 de carencia de servicios, considerándose con muy bajo grado de marginación comparado con los municipios aledaños (CONAPO, 2021).

Los datos recopilados por INEGI (2022) citan que 29% de la población no se encuentra afiliada a algún centro de salud y cerca del 50% se encuentra económicamente activa desde los 12 años. Existen 9,387 habitantes étnicos pertenecientes al náhuatl, otomí y totonaco, siendo las tres lenguas con mayor número de hablantes (COFECE y DATAWHEEL, 2022; INEGI, 2022).

Colecta de datos

El trabajo se realizó dentro de los meses de octubre del 2020 a marzo del 2021. Los datos se obtuvieron de 97 informantes (Hombres 34; Mujeres 63) en 13 comunidades: San Miguel Cerezo, La Estanzuela, el Arbolito, Santa Julia, La Laguna, El Bordo, Camelia, Santa Mónica, El Durazno, El huixmí, Matilde, La Estrella y San Judas, realizando muestreos aleatorios (Zar, 1999) a residentes permanentes de las comunidades dentro del municipio y que utilizan plantas medicinales.

La información se recabó a través de encuestas informales y semiestructuradas (Martin, 2010), aplicadas a la población perteneciente a alguna comunidad, afiliada o sin afiliación a los servicios de salud y económicamente activa, con un rango de edad de 18 a 81 años. El cuestionario consistió en dos partes: la primera abarca las variables socioeconómicas como escolaridad, ocupación, actividad laboral, edad, género, etc.; y la segunda parte se enfocó a recabar el conocimiento sobre plantas medicinales, especie, obtención de la planta, uso, parte utilizada y preparación de los remedios herbales.

Los encuestados fueron visitados en sus residencias. Las preguntas realizadas fueron enfocadas para identificar las plantas más usadas, las enfermedades más comunes a tratar y registrar la importancia del patrimonio biocultural de las especies existentes de ese lugar, de acuerdo con su demanda de uso.

Para la identificación de las especies medicinales mencionadas por los encuestados se recolectaron muestras botánicas, y se pidió a los encuestados mostrar los lugares donde recolectan las plantas en campo, después las muestras fueron secadas, prensadas e identificadas taxonómicamente con visitas periódicas al herbario de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ubicado en el municipio de Pachuca. Los nombres botánicos de las especies se verificaron con base a las Bibliotecas Digitales de la Medicina Tradicional Mexicana (www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/index.php) y The Plant List (www.theplantlist.org).

La información de reportes de uso para las enfermedades se agrupó en 15 categorías basadas en la Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas de Salud, de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020); Antídoto, enfermedades autoinmunes, sistema reproductivo, crónicas degenerativas, tejido celular subcutáneo y la piel, aparato genitourinario, sistema circulatorio, sistema digestivo y gastrointestinal, sistema musculo-esquelético, sistema nervioso, sistema respiratorio, hepáticas, infecciosas y parasitarias, síntomas generales y trastornos neurológicos, para conocer la razón y el modo de empleo de las plantas medicinales, clasificando cada planta mencionada. Finalmente, se estimaron los indicadores necesarios para mostrar la importancia cultural y grado de presión sobre las especies.

Análisis y procesamiento de datos

La información se recopiló en una base de datos en Microsoft Excel® versión 2016, con el cual se estimaron los indicadores descritos, y se analizó la información de cada una de las categorías (número de repeticiones por especie, usos alternativos y número de repeticiones por familia). Para el recuento de los datos se utilizaron los siguientes índices:

Índice de valor cultural (IC)

Este índice es un indicador que permite evaluar las características cualitativas que determinan el valor cultural de cada especie (López-Gutiérrez *et al.*, 2014).

$$IC = \frac{P * U * N_u * S * N_{su} * H_r * C * M}{1000}$$

Dónde: **P** es la cantidad de personas que usan las especies; **U** es la frecuencia de uso en el año: 1= una vez al año, 2= más de una vez al año, 3= una vez al mes, 4= una vez por semana, 5= más de una vez por semana; **N_u** es el número de diferentes usos; **S**, la estructura vegetal usada con mayor frecuencia: 1= vegetativa (tallo/hoja), 2= reproductiva (flores/frutos/semilla), 3= completa; **N_{su}**, número de estructuras utilizadas; **H_r**, forma de reunión: 1= ocasionalmente, 2= exclusivamente; **C**= posibilidad de comercio: 1= no existe, 2= si existe; y **M**, uso medicinal: 1= no existe, 2= si existe.

Uso significativo Tramil (UTS)

Este indicador muestra el nivel de uso significativo de las especies medicinales. Este indicador es estimado para cada especie e indica su nivel de aceptación cultural o grado de recurrencia ante la posibilidad de ser reemplazado por otro bien o servicio que cumpla con las mismas funciones (Toscano González, 2006).

$$UTS = \frac{UsoEspecie(s)}{n_i} * 100$$

Dónde: Uso Especie (s) es el número de citas para cada especie. n_i es el número de informantes entrevistados.

Además de los indicadores anteriores, se registró también la abundancia de la especie percibida por los usuarios en 1= rara, 2= escasa, 3= abundante, 4= muy abundante. Esto con el fin de identificar un posible estatus de disponibilidad de cada una de las especies.

Valor de importancia de la familia (FIV)

Este índice representa la importancia a nivel cultural de las familias botánicas en el contexto de la etnobotánica, donde se refleja la proporción de informantes que citan a una familia respecto al número total de informantes (Toscano González, 2006).

$$FIV = \frac{FC(Familia)}{N} * 100$$

Dónde: **FC** es el número de informantes que mencionaron a la familia botánica y **N** es el número de informantes que participaron en el estudio.

Factor de consenso del informante (FCI)

El factor de consenso del informante expresa si hay acuerdo entre los informantes sobre el uso de especies vegetales en determinadas categorías de afecciones (Lara Reimers *et al.*, 2018).

$$FCI = \frac{n_{UR} - n_i}{n_{UR} - 1}$$

Dónde: n_{UR} es el número de reportes de uso por determinadas categorías de afecciones, y n_i es el número de especies usadas por esa categoría de afección. El rango del índice es de 0 y 1; con un número cercano a 1 por parte de todos los informantes refleja acuerdo entre los informantes en el uso de la planta para curar una determinada dolencia.

RESULTADOS

El 30% de los encuestados no tienen servicio médico y el 53% de los que no tienen ese servicio, utilizan la medicina tradicional como primera medida para tratar enfermedades. El 27% de las personas entrevistadas mencionó dificultades para recolectar las plantas medicinales en el campo, esto ha ocasionado que las obtengan en tiendas naturistas a través de encapsulados, tinturas y aceites. Cerca del 42% de la población identifica y recolecta en campo la flora medicinal para el tratamiento de sus dolencias. Este sector manifestó el uso de plantas como estrategia económica para tratar sus enfermedades. Menos del 1% de la población encuestada tiene plantas medicinales de traspatio para consumo, el 57% busca y compra en los mercados locales la flora medicinal.

Las personas mayores de 60 años muestran un mayor conocimiento sobre la medicina tradicional, citando en promedio 5.7 especies / persona. El 63% de los encuestados de 50 años prefieren emplear la medicina tradicional y medicina moderna como medida de efectividad y prevención para tratar sus enfermedades debido a los efectos secundarios.

La población femenina tiene mayor conocimiento acerca de la flora medicinal (Tabla 1), citando cuatro plantas en promedio en comparación al número de plantas citadas por el sector masculino (tres plantas/persona).

Tabla 1. Características demográficas de los 97 informantes.

Variable demográfica	Categoría demográfica	Nº de informantes	%	Promedio de especies citadas
Género	Masculino	34	35%	3.02
	Femenino	63	65%	5.0
Edad	18 – 30	35	36%	2.5
	31 – 40	16	16%	4.2
	41 – 50	24	25%	3
	51 – 60	13	13%	5.2
	< 61	9	9%	5.7
Ocupación	Administrativo	2	2.06%	1
	Comerciante	4	4.12%	1.5
	Docente	3	3.09%	1.6
	Empleado	36	37.11%	4.26
	Estudiante	26	26.80%	2.73
	Hogar	11	11.34%	5.72
	Pensionado	3	3.09%	4.33
Servicio	Servidor público	12	12.37%	3.5
	Si	67	69.07%	3.62

médico	No	30	30.93%	3.75
--------	----	----	--------	------

Especies medicinales útiles

Se identificaron 90 especies que pertenecen a 82 géneros y 45 familias con utilidad medicinal en el municipio de Pachuca de Soto, Hidalgo. El análisis demostró que los entrevistados utilizan las plantas medicinales para tratar en mayor medida las Enfermedades del Sistema Digestivo y/o Gastrointestinal (ESDG), la cual presenta una mayor abundancia de plantas con 23 especies mencionadas para esta categoría de enfermedades estomacales (Tabla 2).

Chamaemelum nobile L. All., *Mentha spicata* L. y *Ruta chalepensis* L. fueron las especies más citadas para el tratamiento de ESDG, para diferentes usos, como: indigestión, dolor de estómago, estreñimiento, infecciones estomacales, gastritis y úlceras.

Tabla 2. Enfermedades de Pachuca, Hidalgo, número de especies registradas para cada categoría.

Tipo de enfermedades	Especies Registradas	Nº Usos alternativos	FCI
Antídoto	1	2	1.00
Autoinmunes	6	7	0.17
Enfermedad del Sistema	8	12	0.36
Enfermedades Crónicas	4	4	0.00
Enfermedades de la piel y del	13	23	0.45
Enfermedades del Aparato	14	36	0.63
Enfermedades del Sistema	17	21	0.20
Enfermedades del Sistema	23	130	0.83
Enfermedades del Sistema	19	44	0.58
Enfermedades del Sistema Nervioso	13	24	0.48
Enfermedades del Sistema	27	91	0.71
Enfermedades Hepáticas	4	5	0.25
Enfermedades infecciosas y	3	12	0.82
Síntomas generales	16	28	0.44
Trastornos neurológicos	4	7	0.50

Dentro de las Enfermedades del Sistema Respiratorio (ESR) en el municipio de Pachuca, que han tenido gran impacto a nivel local e internacional por la pandemia COVID-19. Se presentaron 27 especies mencionadas para el tratamiento de ESR, con 91 usos que abarcan enfermedades como mayormente: bronquitis, tos, gripa, faringitis y COVID-19 (Tabla 2).

Mentha spicata L., *Zingiber officinale* Roscoe, *Eucalyptus globulus* Labill, *Allium cepa* L. y *Chamaemelum nobile* L. All Fueron las especies más citadas dentro del tratamiento de ESR teniendo de dos hasta seis usos distintos por planta.

Indicadores de importancia

Los rangos de FCI van de 0.20 a 1.00, correspondiendo a la probabilidad de que la planta tenga un principio real y efectivo. Según los resultados en la Tabla 2 del índice FCI muestran que los informantes especifican un mayor uso de plantas y mismos tratamientos para tratar problemas relacionados con el sistema digestivo y gastrointestinal (FCI = 0.83), infeccioso y parasitario (FCI = 0.82) y del sistema respiratorio (FCI = 0.71). Así también el uso de las plantas como antídoto es confirmado con un FCI = 1.

Las enfermedades del aparato genitourinario, enfermedades del sistema reproductivo, enfermedades del sistema músculo-esquelético y los trastornos neurológicos presentaron los valores medios de FCI (Tabla 2), con rangos por encima del 0.50, mientras que las categorías con valores más bajos fueron: Enfermedades hepáticas (FCI = 0.25) y Enfermedades del sistema circulatorio (FCI = 0.20). Las enfermedades autoinmunes y crónicas degenerativas fueron las categorías con menor presencia de ser tratadas con medicina tradicional por los encuestados de las comunidades.

La especie *Chamaemelum nobile* L. All ocupa el primer lugar en los reportes de uso para el tratamiento de ESDG, con un porcentaje del 46.15% en donde los informantes reportaron 43 usos para esta especie, además de registrar los valores más altos de los tres indicadores evaluados (UST % = 54.54 y IC = 3.42).

Chamaemelum nobile L. All dentro del municipio de Pachuca de Soto presenta gran importancia medicinal debido a sus múltiples usos. *Mentha spicata* L. presenta el segundo posicionamiento para UST % 25.75 y IC = 1.22. Esta especie predomina en el tratamiento de tos, faringitis, bronquitis y gripe.

Tabla 3. Indicadores de importancia de las especies medicinales más citadas de enfermedades del sistema digestivo y gástrico.

Nombre común	Nombre científico	UST %	IC
Manzanilla	<i>Chamaemelum nobile</i> (L.) All.	54.5455	3.456
Ruda	<i>Ruta chalepensis</i> L.	16.6667	2.64
Hierba buena	<i>Mentha spicata</i> ; L.	25.7576	1.224
Marrubio	<i>Marrubium vulgare</i> ; L.	6.0606	0.288
Limón	<i>Citrus aurantifolia</i> Swing	7.5758	0.27
Ajenjo	<i>Artemisia absinthium</i> ; L.	7.5758	0.24

Dentro de las ESR, la especie con mayores reportes de uso sigue siendo *Chamaemelum nobile* (L.) All., con un porcentaje de 30.43% de informantes, reportando 13 usos alternativos para el tratamiento de enfermedades del sistema respiratorio. Esta especie reporta igual que las enfermedades digestivas, los mayores valores de los índices evaluados, donde UST% = 26.92 y IC = 1.63, esta última variable se presenta como excepción, ya que la especie con un mayor índice cultural (IC) es *Eucalyptus globulus* Labill con un valor de IC de 4.32. *E. globulus* Labill

es la segunda especie dentro de los parámetros de los índices de importancia con valores de UST% = 19.23.

Tabla 4. Indicadores de importancia de las especies medicinales más citadas de enfermedades del sistema respiratorio.

Nombre común	Nombre científico	UST %	IC
Hierba buena	<i>Mentha spicata</i> L.	15.385	3.024
Jengibre	<i>Zingiber officinale</i> Roscoe	15.385	2.688
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill	19.231	4.32
Cebolla morada	<i>Allium cepa</i> L.	11.538	2.16
Manzanilla	<i>Chamaemelum nobile</i> L.	26.923	1.638

Importancia de las familias botánicas en la medicina tradicional

De las más familias más comunes que se citaron en las comunidades del municipio de Pachuca acorde a su FIV, son Asteraceae (2.69), Lamiaceae (2.02) y Rutaceae (0.60), estas son las más usadas para el tratamiento de enfermedades (Fig. 2).

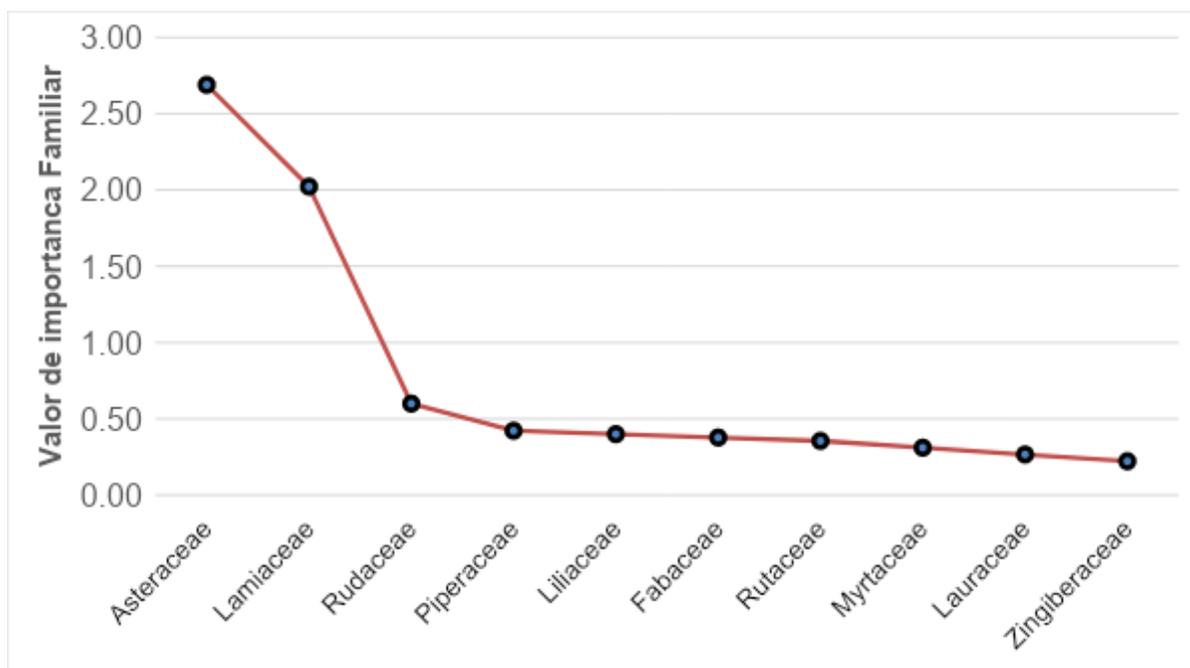


Fig. 2. Valor de importancia familiar para las 10 familias botánicas más citadas dentro del municipio de Pachuca de Soto, Hidalgo.

Se hizo mención de 443 veces a las 46 familias botánicas, con 115 menciones para la familia Asteraceae; 37 para el sistema digestivo, 17 para sistema nervioso, 12 en enfermedades músculo-esquelético y 11 para sistema genitourinario, 82 menciones para Lamiaceae; 26 para el sistema digestivo, 19 en el sistema respiratorio y siete menciones para el tejido cutáneo, las Rutaceae fueron mencionadas 25 veces distribuidas en las 15 categorías de enfermedades (Fig. 3).

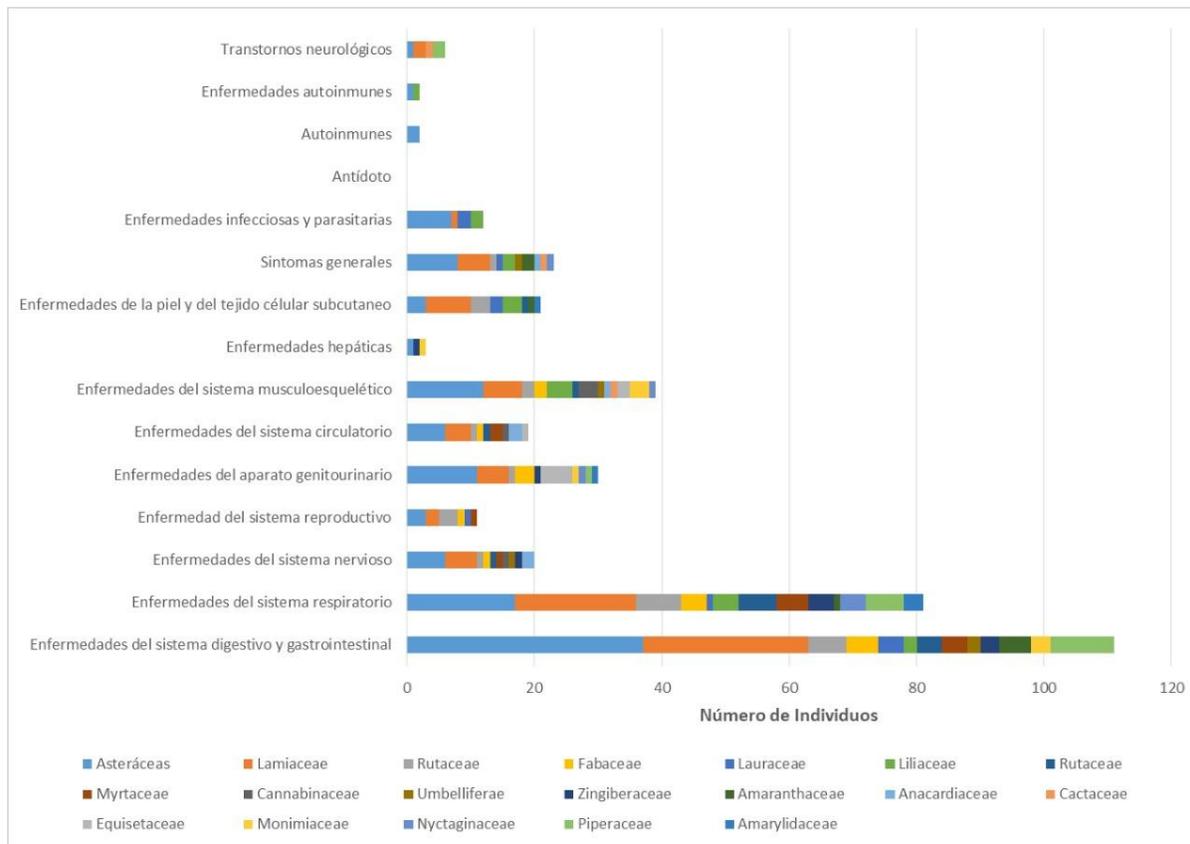


Fig. 3. Número de veces mencionadas de plantas medicinales por familia botánica & categoría de enfermedad

DISCUSIÓN

Es importante conocer los usos, importancia cultural, distribución y el estado actual de las plantas medicinales. Se sabe que entre el 70 y 90% de la población mundial utiliza la medicina tradicional, ya que son una alternativa efectiva, segura, barata y culturalmente aceptable desde hace décadas (Abera, 2003). Existen varios estudios con evidencia basada en medicina herbaria, donde la medicina tradicional es reconocida como una alternativa de gran significancia para la salud humana (Popović *et al.*, 2016; Lara Reimers *et al.*, 2018).

La riqueza de flora medicinal para las comunidades estudiadas del municipio de Pachuca de Soto es de 90 especies, agrupadas en 82 géneros y 45 familias. Esta diversidad es menor a la reportada por Sánchez-González *et al.* (2008) para el municipio de Nicolás Flores, Hidalgo, donde registró 110 especies de 102 géneros y 17 familias.

Se registraron 85 padecimientos tratados por las 90 especies de plantas, la mayoría para el tratamiento de ESDG y ESR. Las ESDG en Pachuca de Soto, cuentan con 130 usos alternativos para cada una de las 24 especies medicinales mencionadas, Fuentes-Cervantes *et al.* (2013)

registró las mismas afecciones de ESDG descritas en este estudio y en el municipio de Omitlán, Hidalgo, existiendo solo diferencias en el número de usos que las especies pueden brindar, donde en Omitlán, de las 24 especies obtenidas, se les da 67 usos para el tratamiento de ESDG, lo que es 63 especies menos en comparación con Pachuca. Investigaciones previas en municipios del estado de Hidalgo (Cantarranas y Huehuetla), mencionan el uso del 85% de las plantas estudiadas para el tratamiento de ESDG, tratando 51 padecimientos diferentes, además de presentar especies similares (*Chamaemelum nobile* L. All., *Mentha spicata* L., *Eucalyptus globulus* Labill y *Zingiber officinale* Roscoe) entre los primeros lugares de importancia cultural (López-Gutiérrez *et al.*, 2014).

La clasificación de FCI nos refleja la coincidencia de uso y conocimiento de las especies, para tratar una afección en específico y nos apoya a determinar cuáles son los principales padecimientos de mayor recurrencia tratados con plantas medicinales en las comunidades estudiadas. Faruque *et al.* (2018) encontró altos valores de FCI para los problemas gástricos (0.77), seguido por parásitos (0.76) y en séptimo lugar las enfermedades respiratorias (0.65), mientras que Juárez-Vázquez *et al.* (2013) registró estas enfermedades como sus segundos, terceros y cuartos valores más altos de FCI, mientras que Chang *et al.* (2017) presentó valores para ESR Y ESGS entre los 0.56 a 0.65. Esta clasificación de FCI en el municipio de Pachuca puede deberse a la falta de condiciones sanitarias, pues lo citado por Soto-Estrada *et al.* (2016) la distribución del gasto sanitario en el país se presenta con un PIB de 6.47%, donde el estado distribuye un 3.1% de gasto destinado a las áreas sanitarias.

Chamaemelum nobile L. All., *Mentha spicata* L., *Eucalyptus globulus* Labill y *Zingiber officinale* Roscoe fueron las especies más mencionadas de las 97 personas entrevistadas, encontrándose bajo los estatus de especies silvestres exóticas. Estas especies poseen mayores usos en enfermedades del sistema gástrico y digestivo y las enfermedades del sistema respiratorio; tratando enfermedades pulmonares crónicas, infecciones respiratorias agudas, tos, inflamación del estómago, infecciones del estómago, gripe, fiebre, dolor de estómago, diarrea, indigestión y en el combate a los padecimientos del COVID-19, son dos de las causas principales de mortalidad en la población hidalguense en un 27.5% y 16.5% (Sánchez-González *et al.*, 2008; Magaña-Alejandro *et al.*, 2010). En Perú se tiene registrado que por lo menos el 71.5% de la población hizo uso de plantas medicinales para el tratamiento para el alivio de síntomas de COVID, siendo especies como *Eucalyptus* y *Zingiber officinale* Roscoe las especies más usadas contra esta enfermedad (Becerra Goicochea *et al.*, 2021). En el año 2016 las ESR registraron un total de 3.8 millones de muertes y 2.2 millones de muertes para las ESDG causadas por bacterias, parásitos o virus (OMS, 2020), por lo que es importante conocer, conservar y disponer de las especies usadas para tratar los síntomas. Demostrando la importancia del conocimiento de las especies medicinales, incluso aquellas que son exóticas y que tienen un carácter cosmopolita en la mayoría de las especies recolectadas y adquiridas, incorporadas con la conquista española hace 300 años y que ahora se encuentran naturalizadas y creciendo en los ecosistemas latino americano (Eyssartier *et al.*, 2009).

Al comparar las especies de plantas medicinales de Pachuca de Soto, con el municipio de Nicolás Flores, Omitlán, Huasca de Ocampo y los mercados de la ciudad Actopan, se encontró que estos cuatro estudios comparten varias plantas en común: *Aloe vera* (sábila), *Calendula officinalis* (mercadela), *Taraxacum officinale* Weber (diente de león), *Marrubium vulgare* L. (Marrubium), *Mentha x piperita* L. (menta), *Selaginella lepidophylla* (Hook. & Gray) Spring (doradilla), *Chamaemelum nobile* (L.) All. (manzanilla) y *Mentha spicata*; L. (Hierba buena) siendo ampliamente recomendadas para problemas digestivos, respiratorios y de filiación cultural y la tila para nervios, susto, insomnio e infecciones (Villanueva-Solis *et al.*, 2020).

La variedad de molestias y enfermedades que se registró que curan enfermedades en el municipio de Pachuca está variado, desde gripe y tos hasta cáncer. Las familias más comunes para el combate de enfermedades son Asteraceae, Lamiaceae y Rutaceae. Los datos obtenidos por Molina-mendoza *et al.* (2012), en Huasca de Ocampo muestran que tanto la familia

Asteraceae y Fabaceae son las que mejor se representan dentro de la flora medicinal y regional, presentado casi el mismo caso en Pachuca de Soto, donde la familia Asteraceae es la que se presenta con mejor representación en el municipio. Un dato interesante es la amplia distribución de la familia Asteraceae que tiene en México, pues cuenta con una amplia distribución, mientras que la familia Lamiaceae la mayoría de las especies son medicinales o exóticas incorporadas a la tradición desde mucho tiempo (Magaña-Alejandro *et al.*, 2010).

Familias como Asteraceae, Piperaceae, Zingiberaceae y Fabaceae con influencia en Pachuca de Soto dentro de países europeos, asiáticos y africanos, son de las familias más importantes, siendo mayormente citadas y con más usos en la medicina tradicional en enfermedades respiratorias, tratando enfermedades como: asma, fiebre, tos, bronquitis y dificultades respiratorias (Dash *et al.*, 2018; El-mokasabi *et al.*, 2018).

Se tiene registro de 90 especies, 82 géneros y 45 familias, lo que indica que la población cuenta con cierto grado de conocimiento acerca de la medicina tradicional, siendo las personas mayores a 50 años los más cultos en plantas medicinales dado las condiciones sanitarias de décadas pasadas en el municipio, donde la falta de servicios médicos a finales del siglo XX y principios del siglo XXI provocó la búsqueda, aprendizaje y uso de la medicina tradicional para el tratamiento de enfermedades. En la localidad Pirules aún se recurre al apoyo de parteras y personas con conocimiento de plantas medicinales para el tratar enfermedades (Arias Rico *et al.*, 2017). Actualmente, se cuenta con mayores servicios de salud, lo que muestra mayor comodidad para la población local, facilitando el consumo, adquisición y dosificación de la medicina moderna en comparación de la medicina tradicional.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados se puede determinar que existe un conocimiento elemental de la medicina tradicional en comunidades del municipio de Pachuca de Soto, Hidalgo, pero de gran importancia para las familias que no pueden adquirir medicinas modernas.

En la salud pública local, las enfermedades del sistema digestivo y del sistema respiratorio fueron las enfermedades más citadas y que presentaron mayor número de usos de plantas medicinales.

Es importante ampliar el número de investigaciones de ámbito florístico y medicinal, ya que el presente estudio es el primero en el municipio de Pachuca de Soto, este trabajo ayudara a tener un listado florístico con base en los saberes tradicionales enfermedades puntuales.

AGRADECIMIENTOS

A las personas del municipio Pachuca de Soto que amablemente accedieron a responder la entrevista. Igualmente, a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por su apoyo en este trabajo de investigación (clave 3811-425103001-2355) a través del programa “Proyectos de Investigación”.

LITERATURA CITADA

- Abera, B. (2003). Medicinal Plants used in Traditional Medicine in Jimma Zone, Oromia Southwest Ethiopia. *Ethiopian Journal of Health Sciences*, 13(2), 85–94.
- Arias Rico, J., Vázquez, J., Ruvalcaba Ledezma, J. C., Flores Chávez, O. R., & Jiménez Sánchez, R. C. (2017). Diagnóstico de salud en la colonia pirules, municipio de Pachuca, Hidalgo. *Educación y Salud Boletín Científico de Ciencias de La Salud Del*

- ICSa*, 5(10). doi: 10.29057/icsa.v5i10.2540
- Becerra Goicochea, L. J., Rodríguez Sánchez, A. E., & Lezama Torres, M. (2021). Importancia del uso de plantas medicinales en tiempos de COVID-19. *Ocronos*, 3.
- Bermúdez, A., Oliveira-Miranda, M. A., & Velázquez, D. (2005). La Investigación Etnobotánica Sobre Plantas Medicinales: Una Revisión De Sus Objetivos Y Enfoques Actuales. *Interciencia*, 30(8), 453–459.
- Chang, N., Luo, Z., Li, D., & Song, H. (2017). Indigenous uses and pharmacological activity of traditional medicinal plants in Mount Taibai, China. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2017, 1–11. doi: 10.1155/2017/8329817
- Comisión Federal de Competencia Económica (COFECE), & DATAWHEEL. (2022). Economía, Empleo, Equidad, Calidad de Vida. <https://Datamexico.Org/Es/Profile/Geo/PachucadeSoto>. Fecha de consulta 20 de noviembre del 2022.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2022). Portal de Geoinformación, Sistema Nacional de Información Sobre Biodiversidad (SNIB). <http://www.Conabio.Gob.Mx/Informacion/Gis/>. Fecha de consulta 20 de noviembre del 2022.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad CONABIO y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2022). La Biodiversidad en Hidalgo: Estudio del Estado (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo). https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios/ee_hidalgo. Fecha de consulta 21 de noviembre del 2022.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2021). Índices de Marginación. <https://www.Gob.Mx/Conapo/Documentos/Indices-de-Marginacion-2020-284372>. Fecha de consulta 19 de noviembre del 2022.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2020). Informe de pobreza y evaluación 2020. Hidalgo. Ciudad de México. https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Documents/Informes_de_pobreza_y_evaluacion_2020_Documentos/Informe_Hidalgo_2020.pdf. Fecha de consulta 19 de noviembre del 2022.
- Dash, G., T, M. K., Sahoo, D., Mahalik, M., & Parida, S. (2018). Traditional medicinal plants used for the treatment of asthma in Bhubaneswar, Odisha. *International Journal of Herbal Medicine*, 6(5), 57–60.
- El-mokasabi, F. M., Al-Sanousi, M. F., & El-mabrouk, R. M. (2018). Taxonomy and Ethnobotany of Medicinal Plants in Eastern Region of Libya. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 12(8), 14–23. doi: 10.9790/2402-1208011423
- Eyssartier, C., Ladio, A. H., & Lozada, M. (2009). Use of medicinal plants cultivated in a semi-rural community of the Patagonian steppe. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8(2), 77–85.
- Faruque, M. O., Uddin, S. B., Barlow, J. W., Hu, S., Dong, S., Cai, Q., Li, X., & Hu, X. (2018). Quantitative ethnobotany of medicinal plants used by indigenous communities in the Bandarban district of Bangladesh. *Frontiers in Pharmacology*, 9, 40. doi: 10.3389/fphar.2018.00040
- Fuentes-Cervantes, I., Villavicencio-Nieto, M. Á., & Pérez-Escandón, B. E. (2013). Plantas medicinales de Omitlán, Hidalgo, México. *Estudios Científicos En El Estado de Hidalgo y Zonas Aledañas*, 2, 129–135.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). Sistema de Consulta de Integración Territorial (SCITEL). <https://www.Inegi.Org/Mx/App/Scitel/Default?Ev=9>. Fecha de consulta 18 de noviembre del 2022.
- Jiménez-Arellanes, M. A., Alamilla-Fonseca, L., & Gutiérrez-Rebolledo, G. A. (2014). Mexican medicinal plants as source of active compounds against leishmaniasis. *Revista Mexicana de Ciencias Farmaceuticas*, 45(2), 19–30.

Recibido:
25/junio/2022

Aceptado:
16/enero/2023

- Juárez-Vázquez, M. D. C., Carranza-Álvarez, C., Alonso-Castro, A. J., González-Alcaraz, V. F., Bravo-Acevedo, E., Chamarro-Tinajero, F. J., & Solano, E. (2013). Ethnobotany of medicinal plants used in Xalpatlahuac, Guerrero, México. *Journal of Ethnopharmacology*, 148(2), 521–527. doi: 10.1016/j.jep.2013.04.048
- 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*, 87(2), 0–5. doi: 10.5586/asbp.3581
- López-Gutiérrez, B. N., Pérez-Escandón, B. E., & Villavicencio-Nieto, M. A. (2014). Aprovechamiento sostenible y conservación de las plantas medicinales en Cantarranas, Huehuetla, Hidalgo, México, como un medio para mejorar la calidad de vida en la comunidad. *Botanical Sciences*, 92(3), 389–404. doi: 10.17129/botsci.106
- Magaña-Alejandro, M. A., Gama-Campillo, L. M., & Mariaca-Méndez, R. (2010). El uso de las plantas medicinales en las comunidades Maya-Chontales de Nacajuca, Tabasco, México. *Polibotánica*, 29, 213–262.
- Martín, G. J. (2010). *Ethnobotany: a methods manual (people and plants conservation series)* (G. J. Martín (ed.); 1st ed.). Taylor & Francis. doi: 10.4324/9781849775854
- Molina-mendoza, J. L., Galván-villanueva, R., Patiño-Siciliano, A., & Fernández-Nava, R. (2012). Plantas medicinales y listado florístico preliminar del municipio de Huasca de Ocampo, Hidalgo, México. *Polibotánica*, 34, 239–271.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). Tendencias de la mortalidad y los factores de riesgo de las enfermedades no transmisibles, y muertes por lesiones y violencia: In *Estadísticas Sanitarias Mundiales 2020*.
- Osuna Torres, L., Tapia Pérez, M. E., & Aguilar Contreras, A. (2005). Plantas medicinales de la medicina tradicional mexicana para tratar afecciones gastrointestinales: Estudio etnobotánico, fitoquímico y farmacológico. In L. Osuna Torres, M. E. Tapia Pérez, & A. Aguilar Contreras (Eds.), *Universidad de Barcelona (Universidad)*. doi: 10.1093/gao/9781884446054.article.t064165
- Popović, Z., Matic, R., Bojović, S., Stefanović, M., & Vidaković, V. (2016). Ethnobotany and herbal medicine in modern complementary and alternative medicine: An overview of publications in the field of I&C medicine 2001-2013. *Journal of Ethnopharmacology*, 181, 182–192. doi: 10.1016/j.jep.2016.01.034
- Sánchez-González, A., Granados-Sánchez, D., & Simón-Nabor, R. (2008). Uso Medicinal De Las Plantas Por Los Otomíes Del Municipio De Nicolás Flores, Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(3), 271–279. doi: 10.5154/r.rchsh.2007.08.038
- Soto-Estrada, G., Moreno-Altamirano, L., & Pahlua-Díaz, D. (2016). Epidemiological overview of Mexico's leading causes of morbidity and mortality. *Revista de La Facultad de Medicina de La UNAM*, 59(6), 8–22.
- Toscano González, J. Y. (2006). Uso Tradicional De Plantas Medicinales En La Vereda San Isidro, Municipio De San José De Pare-Boyacá: Un Estudio Preliminar Usando Técnicas Cuantitativas. *Acta Biologica Colombiana*, 11(2), 137–146.
- Villanueva-Solis, I., Quiroz-García, D. L., & Fernández-Nava, R. (2020). Plantas medicinales que se comercializan en el mercado 8 de julio y uno tradicional, ambos localizados en el centro de Actopan, Hidalgo, México. *Polibotánica*, 0(50), 209–243. doi: 10.18387/polibotanica.50.1
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis*. Pearson Education India.

PLANTAS SILVESTRES COMESTIBLES DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES, MÉXICO, SUS FORMAS DE CONSUMO Y COMERCIALIZACIÓN

EDIBLE WILD PLANTS OF AGUASCALIENTES, MEXICO, THEIR FORMS OF CONSUMPTION AND COMMERCIALIZATION

Sandoval-Ortega, M.H.; E.E. De Loera-Ávila; V.M. Martínez-Calderón y S.G. Zumaya-Mendoza

PLANTAS SILVESTRES COMESTIBLES DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES, MÉXICO, SUS FORMAS DE CONSUMO Y COMERCIALIZACIÓN

EDIBLE WILD PLANTS OF AGUASCALIENTES, MEXICO, THEIR FORMS OF CONSUMPTION AND COMMERCIALIZATION



Plantas silvestres comestibles del estado de Aguascalientes, México, sus formas de consumo y comercialización**Edible wild plants of Aguascalientes, Mexico, their forms of consumption and commercialization**

Sandoval-Ortega, M.H.;
E.E. De Loera-Ávila;
V.M. Martínez-Calderón y
S.G. Zumaya-Mendoza

PLANTAS SILVESTRES
COMESTIBLES DEL
ESTADO DE
AGUASCALIENTES,
MÉXICO, SUS FORMAS DE
CONSUMO Y
COMERCIALIZACIÓN

EDIBLE WILD PLANTS OF
AGUASCALIENTES,
MEXICO, THEIR FORMS OF
CONSUMPTION AND
COMMERCIALIZATION

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 55: 213-230. Enero 2023

DOI:
10.18387/polibotanica.55.14

M.H. Sandoval-Ortega / m.higinio.s@hotmail.com

*Universidad de Sonora, DICTUS, Herbario USON. Niños Héroes,
entre Rosales y Pino Suárez, Col. Centro Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000*

E.E. De Loera-Ávila
V.M. Martínez-Calderón

*Universidad Autónoma de Aguascalientes, Centro de Ciencias Básicas,
Departamento de Biología, Av. Universidad # 940, Ciudad Universitaria
Aguascalientes, Aguascalientes, México, C.P. 20131*

S.G. Zumaya-Mendoza

*Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias,
Investigación Científica, C. U., Coyoacán, Ciudad de México, México, C.P.04510*

RESUMEN: El uso de plantas silvestres en la dieta de los pueblos originarios y rurales lleva consigo un conocimiento en muchos casos ancestral, que es parte de su patrimonio cultural. El estado de Aguascalientes no cuenta con un estudio enfocado únicamente a la flora silvestre comestible. El objetivo del presente estudio fue generar un listado de las especies de plantas silvestres comestibles utilizadas en el estado de Aguascalientes, además de identificar las estructuras utilizadas, la forma de consumo y nivel de aprovechamiento. De enero 2019 a octubre 2021 se entrevistó un total de 103 personas con un rango de edades de 32 a 95 años en 26 poblados del estado, además se visitaron tianguis y mercados de todas las capitales municipales para identificar las especies comercializadas. Se identificaron 67 especies de plantas silvestres que se utilizan como comestibles en el estado de Aguascalientes, de las cuales 25 son comercializadas, las principales estructuras consumidas son los frutos, tallos y hojas. La flora silvestre comestible es un recurso económico y alimenticio importante para la población de Aguascalientes y algunas especies se utilizan en platillos o dulces típicos que son parte de las tradiciones y herencia cultural del estado.

Palabras clave: acitrón; nopales; pitaya; plantas útiles; quelite; tuna cardona.

ABSTRACT: The use of wild plants in the diet of indigenous and rural peoples involves, in many cases, ancestral knowledge which is part of their cultural heritage. The state of Aguascalientes does not have a study focused solely on edible wild flora. The objective of this study was to generate a list of wild edible plant species used in the state of Aguascalientes, in addition to identifying the structures used, the form of consumption and the level of use. From January 2019 to October 2021, a total of 103 people with an age range of 32 to 95 years were interviewed in 26 towns in the state, in addition, street markets and markets in all the municipal capitals of the state were visited to identify the commercialized species. 67 species of wild plants that are used as food in the state of Aguascalientes were identified, of which 25 are commercialized, the main structures consumed are the fruits, stems and leaves. The edible wild flora is an important economic and nutritional resource for the population of Aguascalientes and some species are used in typical dishes or sweets that are part of the traditions and cultural heritage of the state.

Key words: acitron; nopales; pitaya; quelite; tuna cardona; useful plants.

INTRODUCCIÓN

Uno de los valores fundamentales de la biodiversidad vegetal para los humanos es el suministro de alimento y seguridad nutricional (León-Lobos *et al.*, 2022); no obstante, en la actualidad la inseguridad alimentaria y la malnutrición afecta gran parte de la población mundial (Godfray *et al.*, 2010). Esta crisis alimentaria ha intensificado la búsqueda de alternativas a la agricultura industrializada (Woodhouse, 2010), como un modelo que genera una serie de problemas ambientales, médicos, sociales y económicos (Angelo, 2017).

A lo largo del tiempo, se ha llevado a cabo la recolección de plantas silvestres como recurso alternativo en las dietas de los pueblos originarios y rurales; la recolección de estos alimentos no cultivados lleva consigo un conocimiento en muchos casos ancestral, que es parte del patrimonio cultural de los habitantes de una región, ya que para la obtención de dichas plantas el recolector debe tener conocimiento básico del lugar en el que crecen, las temporadas y los modos de preparación (Molina *et al.*, 2009; Pardo de Santayana & Gómez-Pellón, 2003).

En algunos sitios del mundo, las plantas silvestres comestibles tienen un rol importante en garantizar la seguridad alimentaria y de subsistencia de familias y comunidades (Khan *et al.*, 2017). Y en México, pese a que en la actualidad los hábitos alimenticios han cambiado drásticamente, no siempre de forma positiva; las plantas comestibles del país continúan utilizándose ampliamente, en especial en localidades rurales, pero incluso en las grandes ciudades se pueden encontrar muchas plantas comestibles no siempre cultivadas (Mapes & Basurto, 2016).

Sin embargo, actualmente la sociedad muestra desinterés general por muchas de las antiguas tradiciones, lo que ha ocasionado la pérdida de estos conocimientos que se han transmitido por generaciones (Molina *et al.*, 2009). Lo anterior, sumado al proceso de modernización y globalización, ha uniformado muchas de las costumbres y modos de vida de los pueblos, provocando el olvido de buena parte de la riqueza y diversidad cultural (Pardo de Santayana & Gómez-Pellón, 2003), por lo que es necesario documentar el saber tradicional sobre el uso de la flora, especialmente de las plantas comestibles. Por otro lado, los inventarios de plantas silvestres comestibles son una herramienta útil para la selección de especies prioritarias de aprovechamiento, nuevos cultivos potenciales o implementar políticas para la conservación de recursos fitogenéticos (Pío-León, Delgado-Vargas, León-de la Luz, *et al.*, 2017; Pío-León, Delgado-Vargas, Murillo-Amador, *et al.*, 2017).

En Aguascalientes existen algunos trabajos acerca de la flora útil, principalmente de uso medicinal (García-Regalado, 1989b, 1989a, 2014), un par en alguna zona determinada dentro del estado como la región semiárida (Barba-Ávila *et al.*, 2003) y en Sierra del Laurel (Mares-Guerrero & Ocampo-Acosta, 2018) y uno sobre una familia en particular (Sandoval-Ortega & Siqueiros-Delgado, 2019), pero no se había realizado un estudio enfocado en la flora silvestre comestible, por lo que es necesario documentar el conocimiento popular de las plantas utilizadas con este uso, la manera en la que se consumen y si representan una fuente de ingresos para las personas de comunidades rurales.

El objetivo del presente estudio fue generar un listado de las especies de plantas silvestres comestibles utilizadas en el estado de Aguascalientes. Así como identificar las principales estructuras utilizadas, la forma de consumo y nivel de aprovechamiento (autoconsumo o comercialización).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. Aguascalientes se encuentra ubicado en la zona centro-norte de la República Mexicana, posee una extensión de 5680 km² (CONABIO, 2008) y cuenta con 11 municipios

(Fig. 1). En general, el clima del estado es de tipo semiseco (BS) (García, 1964) y hay tres principales tipos de vegetación: la xerofítica, ubicada en la porción central, la templada ubicada en la región montañosa al oeste del estado y la subtropical, en suroeste de la entidad (Siqueiros-Delgado et al., 2016). Dentro de su territorio se extienden tres provincias biogeográficas: Sierra Madre Occidental, Desierto Chihuahuense y Tierras bajas del Pacífico (Morrone *et al.*, 2017).

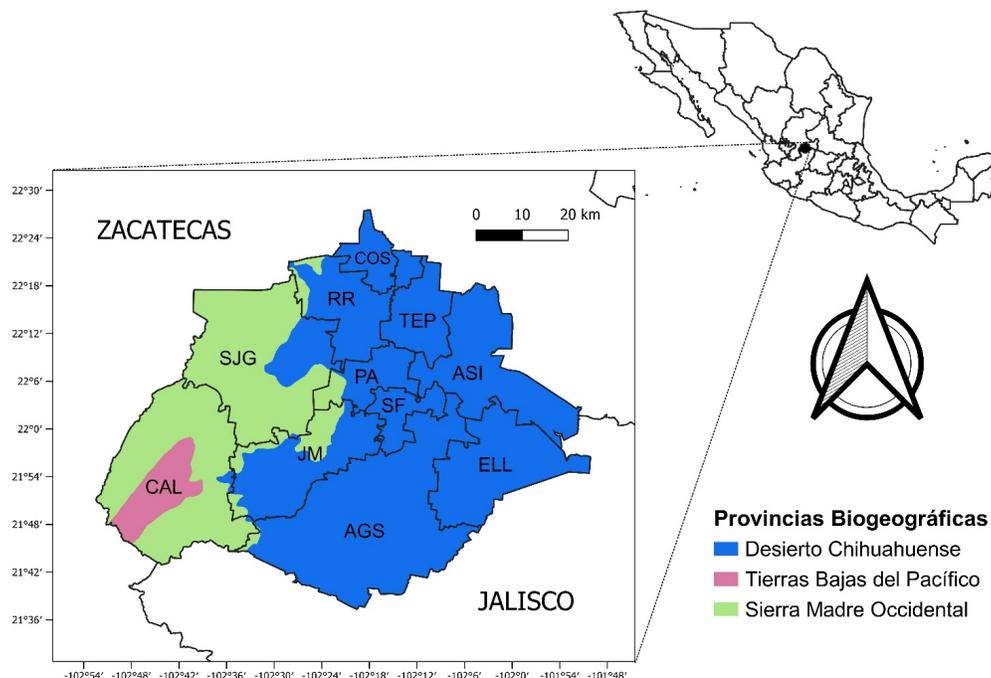


Fig. 1. Ubicación del estado de Aguascalientes, México, sus municipios y provincias biogeográficas. Municipios: AGS= Aguascalientes, ASI= Asientos, CAL=Calvillo, COS= Cosío, ELL= El Llano, JM= Jesús María, PA=Pabellón de Arteaga, RR= Rincón de Romos, SF= San Francisco de los Romo, SJG= San José de Gracia, TEP= Tepezalá.

Entrevistas. De enero 2019 a octubre 2021 se entrevistó un total de 103 personas, 60 mujeres y 43 hombres, con un rango de edad de 32 a 95 años, en 26 poblados del estado (Cuadro 1), de los cuales 11 son urbanos (>2500 habitantes) y 15 rurales (<2500 habitantes) (INEGI, 2021). El método utilizado para la obtención de datos fue por medio de entrevistas abiertas y semiestructuradas con base en Babbie (1988) y Díaz-Bravo et al. (2013), así como observación participante. Se seleccionaron informantes clave, considerando los siguientes criterios: personas adultas que han habitado la mayor parte de su vida en el poblado y con conocimiento acerca de la flora local, principalmente dedicadas a la agricultura y/o ganadería, así como amas de casa. Adicionalmente, se visitaron tianguis y mercados de todas las capitales municipales del estado para identificar las especies comercializadas.

Las estructuras comestibles mencionadas para cada especie se clasificaron en cinco categorías: V= estructuras vegetativas aéreas como tallos y hojas, R= estructuras vegetativas subterráneas como raíces, tubérculos y bulbos, F= flores, C= frutos y S= semillas.

Cuadro 1. Poblados del estado de Aguascalientes visitados para recopilar la información de plantas silvestres comestibles y número de personas entrevistadas por localidad, rango de edad y género con el que se identificaron: femenino (F) o masculino (M). Población: *= rural (<2500 habitantes), **= urbano (>2500 habitantes).

Municipios de Aguascalientes	Población	No. Informantes	Rango de Edad (años)	F	M
Aguascalientes	**Cd. de Aguascalientes	8	37-92	5	3
	*La Lumbraera	2	47	0	2
	*El Ocote	3	50-86	2	1
	*Villa Lic. Jesús Terán	4	40-75	3	1
Asientos	**Real de Asientos	4	45-76	3	1
	*Las Negritas	3	36-62	1	2
Calvillo	**Calvillo	5	37-68	4	1
	*El Terrero de la Labor	6	60-86	4	2
	*Palo Alto	2	58-71	1	1
	*Puerta de Fraguas	2	62-67	0	2
	*San Tadeo	5	50-83	4	1
	*Fraccionamiento Popular Valle de Huejúcar	2	80-86	2	0
	*Piedras Chinas	3	56-69	1	2
Cosío	**Cosío	4	47-79	3	1
El Llano	**Palo Alto	5	53-81	2	3
Jesús María	**Jesús María	4	32-71	2	2
	*General Ignacio Zaragoza	4	42-85	3	1
	*Gracias a Dios	4	45-95	3	1
Pabellón de Arteaga	**Pabellón de Arteaga	5	40-80	1	4
Rincón de Romos	**Rincón de Romos	5	30-91	3	2
San Francisco de los Romo	*Escaleras	4	62-74	2	2
	**San Francisco de los Romo	5	52-84	2	3
San José de Gracia	**San José de Gracia	5	58-70	3	2
	*La Congoja	3	43-87	2	1
Tepezalá	**Tepezalá	3	50-85	3	0
	*Mesillas	3	37-76	1	2

Para la identificación taxonómica, se adquirió una muestra de aquellas especies que se encontraron a la venta o se pidió la compañía de los informantes para localizar en campo las plantas mencionadas durante la entrevista, las cuales fueron colectadas siguiendo la metodología propuesta por Engelmann (1986). Las muestras obtenidas fueron identificadas en el Herbario de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (HUAA), con el apoyo de bibliografía especializada (Flora of North America Editorial Committee, 1993+; Calderón y Rzedowski, 2005) y cotejadas con material depositado en el mismo. Cuando no fue posible adquirir una muestra de la planta mencionada, se mostró a los entrevistados una fotografía de las posibles especies con base en el nombre común, la descripción morfológica proporcionada por el informante y la localidad. Para la consulta de fotografías se utilizaron las plataformas SEINet (2019) y la Red de Herbarios de Noroeste de México (Sánchez-Escalante & Gilbert, 2018).

RESULTADOS

Se identificaron 67 especies de plantas silvestres comestibles en el estado de Aguascalientes (Cuadro 2), pertenecientes a 26 familias y 54 géneros, la mayoría (91%) nativas. Las familias Cactaceae y Amaranthaceae fueron las mejor representadas (Fig. 2), con cerca del 18% y 10% respectivamente, seguidas por Asteraceae (9%), Solanaceae (9%) y Fabaceae (7%). Los géneros con mayor número de especies utilizadas fueron *Opuntia* (6 spp.) *Amaranthus* (3 spp.) y *Solanum* (3 spp.).

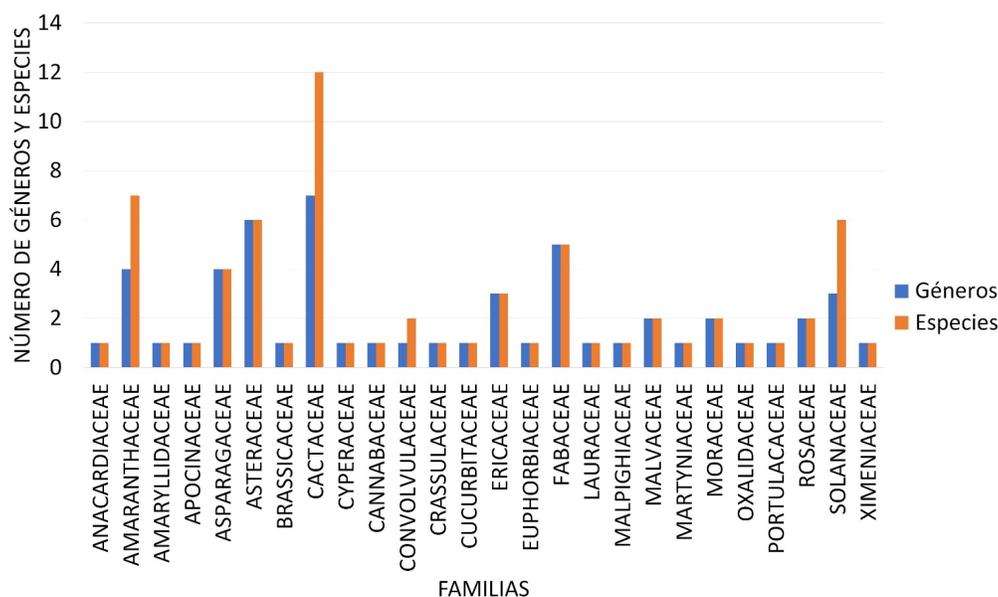


Fig. 2. Número de géneros y especies, ordenadas por familia botánica, de uso comestible en el estado de Aguascalientes, México.

Las principales estructuras aprovechadas son los frutos (31 spp), seguidos por tallos y hojas (27 spp), mientras que las menos utilizadas son las estructuras subterráneas vegetativas (9 spp), flores (8 spp) y semillas (6 spp) (Fig. 3).

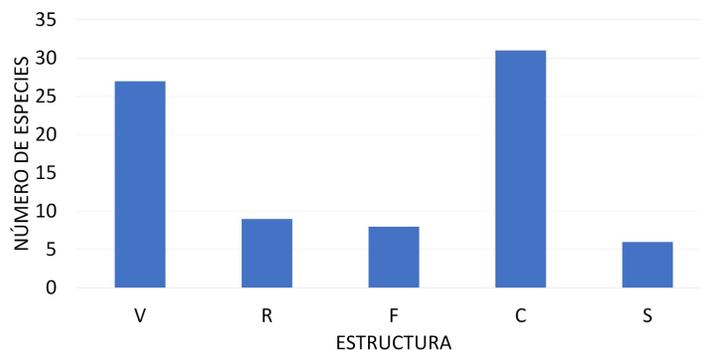


Fig. 3. Número de especies de uso comestible en el estado de Aguascalientes según la estructura utilizada. V= estructuras vegetativas aéreas como tallos y hojas, R= estructuras vegetativas subterráneas (raíces, tubérculos y bulbos), F= flores, C= frutos y S= semillas.

Cuadro 2. Plantas silvestres comestibles del estado de Aguascalientes, México: estructuras comestibles, formas de consumo y nivel de aprovechamiento (comercializada o no). *= Introducida. Estructura comestible: V: Tallo y/u hojas, F: Flor, C: Fruto, R: Raíz, tubérculos o bulbos, S: Semillas.

Especie	Estructura Comestible	Forma de consumo	Comercializada
ANACARDIACEAE			
* <i>Schinus molle</i> L.	S	Bebida	No
AMARANTHACEAE			
<i>Amaranthus hybridus</i> L.	V	Cocida	Si
<i>Amaranthus palmeri</i> S. Watson	V	Cocida	Si
<i>Amaranthus powellii</i> S. Watson	V	Cocida	Si
* <i>Chenopodium murale</i> (L.) S. Fuentes-B., Uotila & Borsch	V	Cocida	Si
<i>Chenopodium album</i> L.	V	Cocida	No
<i>Chenopodium berlandieri</i> Moq.	V	Cocida	No
<i>Dysphania ambrosioides</i> (L.) Mosyakin & Clemants	V	Condimento	Si
AMARYLLIDACEAE			
<i>Allium glandulosum</i> Link & Otto	R	Cruda, cocida	No
APOCYNACEAE			
<i>Cynanchum ligulatum</i> (Benth.) Woodson	C	Cruda	No
ASPARAGACEAE			
<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck	V	Cocida, bebida, dulce	Si
<i>Dasyllirion acrotrichum</i> (Schiede) Zucc.	F	Cocida	No
<i>Milla biflora</i> Cav.	F	Cruda	No
<i>Yucca filifera</i> Chabaud	F, C	Cruda, cocida	No
ASTERACEAE			
<i>Artemisia ludoviciana</i> Nutt.	V	Bebida	Si
<i>Brickellia veronicifolia</i> (Kunth) A. Gray	V	Bebida	No
<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	F, R	Cruda	No
<i>Porophyllum macrocephalum</i> DC.	V	Cruda	Si
<i>Tagetes micrantha</i> Cav.	V	Bebida	No
* <i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.	V, F	Cruda	No
BRASSICACEAE			
* <i>Nasturtium officinale</i> W.T. Aiton	V	Cruda, cocida	No
CACTACEAE			
<i>Cylindropuntia imbricata</i> (Haw.) F.M. Knuth	C	Cruda	No
<i>Ferocactus histrix</i> (DC.) G.E. Linds.	V, C	Dulce	Si
<i>Mammillaria craigii</i> G.E. Linds.	C	Cruda	No
<i>Myrtillocactus geometrizans</i> (Mart. ex Pfeiff.) Console	C	Cruda, dulce	Si
<i>Opuntia hyptiacantha</i> F.A.C. Weber	V, C	Cruda, cocida	Si
<i>Opuntia jaliscana</i> Bravo	V, C	Cruda, cocida	Si
<i>Opuntia joconostle</i> F.A.C. Weber ex Diguet	V, C	Cruda, cocida	Si
<i>Opuntia leucotricha</i> DC.	V, C	Cruda, cocida	Si
<i>Opuntia robusta</i> H.L. Wendl. ex Pfeiff.	V, C	Cocida, cruda	No
<i>Opuntia streptacantha</i> Lem.	V, C	Cocida, cruda, dulce, bebida	Si
<i>Pachycereus marginatus</i> (DC.) Britton & Rose	C	Cruda	No
<i>Stenocereus queretaroensis</i> (F.A.C. Weber) Buxb.	C	Cruda	Si
CYPERACEAE			
* <i>Cyperus esculentus</i> L.	R	Cruda	No

Especie	Estructura Comestible	Forma de consumo	Comercializada
CANNABACEAE			
<i>Celtis pallida</i> Torr.	C	Cruda	No
CONVOLVULACEAE			
<i>Ipomoea murucoides</i> Roem. & Schult.	F	Néctar	No
<i>Ipomoea capillacea</i> (Kunth) G. Don	R	Cruda	No
CRASSULACEAE			
<i>Sedum praealtum</i> A. DC.	V	Cruda	No
CUCURBITACEAE			
<i>Apodanthera undulata</i> A. Gray	S	Tostada	No
ERICACEAE			
<i>Arctostaphylos pungens</i> Kunth	C	Cruda, bebida	Si
<i>Arbutus arizonica</i> (A. Gray) Sarg.	C	Cruda	No
<i>Comarostaphylys polifolia</i> (Kunth) Zucc. ex Klotzsch	C	Cruda	No
EUPHORBIACEAE			
<i>Ditaxis heterantha</i> Zucc.	S	Condimento	Si
FABACEAE			
<i>Leucaena esculenta</i> (DC.) Benth.	V, C	Cocida, cruda	Si
<i>Lysiloma acapulcense</i> (Kunth) Benth.	V, F	Cocida	Si
<i>Macroptilium gibbosifolium</i> (Ortega) A. Delgado	R	Cruda	No
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	F	Cruda	Si
<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst.	C	Cruda, harina	No
LAURACEAE			
<i>Litsea glaucescens</i> Kunth	V	Condimento	Si
MALPIGHIACEAE			
<i>Mascagnia macroptera</i> (Moc. & Sessé ex DC.) Nied.	S	Cruda	No
MALVACEAE			
<i>Ceiba aesculifolia</i> (Kunth) Britten & Baker f.	S	Cruda, tostada	No
* <i>Malva parviflora</i> L.	V, C	Cocida, cruda	No
MARTYNIACEAE			
<i>Proboscidea louisiana</i> (Mill.) Thell.	S, C	Cruda	No
MORACEAE			
<i>Ficus petiolaris</i> Kunth	C	Cruda	No
<i>Casimiroa edulis</i> La Llave	C	Cruda	No
OXALIDACEAE			
<i>Oxalis hernandezii</i> DC.	R	Cruda	No
<i>Oxalis latifolia</i> Kunth	R	Cruda	
PORTULACACEAE			
<i>Portulaca oleracea</i> L.	V	Cocida	Si
ROSACEAE			
<i>Fragaria vesca</i> L.	C	Cruda	No
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	C	Cruda	No
SOLANACEAE			
<i>Jaltomata procumbens</i> (Cav.) J.L. Gentry	C	Cruda	No
<i>Physalis chenopodifolia</i> Lam.	C	Cocida	Si
<i>Physalis philadelphica</i> Lam.	C	Cocida	Si
<i>Solanum ehrenbergii</i> Rydb.	R	Cocida	No
<i>Solanum stoloniferum</i> Schltld.	R	Cocida	No
<i>Solanum lycopersicum</i> L.	C	Cruda, cocida	Si
XIMENIACEAE			
<i>Ximenia parviflora</i> Benth.	C	Cruda	N

Entre las especies aprovechadas por sus hojas y tallos se encuentran los nopales (*Opuntia* spp.) que, según los informantes, son de mejor sabor que los cultivados, especialmente el nopal chaveño (*O. hyptiacantha*) y el duraznillo (*O. leucotricha*). También se consumen las verdolagas (*Portulaca oleracea*), los quelites (*Amaranthus* spp.), la malvita (*Malva parviflora*), el quelite de perro (*Chenopodium murale*) y el quelite cenizo (*Chenopodium album* y *C. berlandieri*), que aparecen como arvenses en la milpa y se recolectan durante el deshierbe.

Por otro lado, son pocas especies con raíces, tubérculos o bulbos reconocidas como comestibles en el estado, entre estas se encuentra *Dahlia coccinea*, localmente conocida como jícama, ya que su raíz se consume de la misma manera, como ocurre con las campicholas o jicamitas, como se les llama a las raíces de *Macroptilium gibbosifolium* y la raíz de *Ipomoea capillacea*, que también se conoce como jícama.

Las únicas especies registradas con bulbo comestible son las cebollitas (*Allium glandulosum*), que son utilizadas como las cebollas cultivadas y los jocoyoles (*Oxalis hernandezii* y *Oxalis latifolia*), que se consumen frescos y de forma directa.

En cuanto a tubérculos, se identificaron dos especies de papita silvestre (*S. ehrenbergii* y *S. stoloniferum*), que se obtienen principalmente al arar los terrenos de cultivo, también son cosechadas principalmente para autoconsumo; además, de los coquitos (tubérculos de *Cyperus esculentus*) que también se colectan para autoconsumo, se comen frescos y de forma directa.

Las flores de pocas especies son aprovechadas en el estado, entre las que se encuentran las estrellitas (*Milla biflora*), que se consumen frescas mientras se “anda” en el campo; las flores de la palma yuca (*Yucca filifera*), que se preparan de manera similar a los nopales y pueden guisarse de distintas maneras. Algunos informantes de los municipios de Asientos y El Llano mencionaron que las flores del sotol (*Dasyliirion acrotrichum*) pueden prepararse y comerse igual que las flores de la palma yuca. Por otro lado, los pétalos de *Dahlia coccinea* son consumidos de manera directa y de las flores del palo bobo (*Ipomoea murucoides*) se consume únicamente el néctar.

Respecto a frutos, es la familia Cactaceae la que incluye la mayor cantidad de especies con frutos comestibles, entre ellas el cardenche (*Cylindropuntia imbricata* Fig. 4A), cuyo fruto es de sabor amargo y puede comerse fresco después de retirar la piel y que, según algunos informantes, anteriormente eran ofrecidos como botana en las cantinas acompañados con sal, también son empleados para dar sabor a los caldos, al igual que el joconostle (*Opuntia joconostle*, Fig. 4C) como otro fruto de sabor amargo que puede comerse fresco después de retirar la piel y condimentado con sal y chile, pero su principal uso es para dar sabor a los caldos.

Para el género *Opuntia* se registró también el uso de la tuna cardona (*O. streptacantha*), que es uno de los frutos silvestres más conocidos en el estado y del que se consume el endocarpo dulce. Las tunas de otros nopales como el chamacuero (*O. jaliscana*), el chaveño (*O. hyptiacantha*), el duraznillo (*O. leucotricha*, Fig. 4E) y el tapón (*O. robusta*, Fig. 4G) son también comestibles y se consumen principalmente frescas después de retirar la cobertura.

También de la familia Cactaceae y de endocarpo comestible de sabor dulce, son las pitayas (frutos de *Stenocereus queretaroensis*, 4B), que son apreciadas en el suroeste del estado, al igual que los garambullos (*Myrtillocactus geometrizans*) y los chilitos (*Mammillaria craigii*, 3F) que se consumen directamente sin necesidad de remover la piel.

Otros frutos aprovechados en el estado son los jaltomates (*Jaltomata procumbens*), los jitomates silvestres (*Solanum lycopersicum*), el granjeno (*Celtis pallida*), la ciruelilla (*Ximenia parviflora*), los mezquites (*Prosopis laevigata*), y la manzanita o pingüica (*Arctostaphylos pungens*) que pueden consumirse de manera directa cuando están maduros, al igual que los

frutos del zalate (*Ficus petiolaris*) y los dátiles, como se les conoce a los frutos de la palma yuca (*Yucca filifera*, Fig. 4I), aunque la forma más popular de comer estos últimos es cocidos con piloncillo. En cambio, el talayote (fruto de *Cynanchum ligulatum*, Fig. 4H) se colecta antes de que madure por completo, ya que lo que se consume son las semillas inmaduras.

De acuerdo con pobladores de Asientos, los frutos del pirúl (*Schinus molle*), se utilizan para preparar una bebida con la que se acompañaban los alimentos en tiempos de escases; estos se colocan en un cántaro con agua, se tapan y se agitan hasta extraer todo el sabor, después se cuele y se ingiere como una bebida refrescante que puede ser endulzada con azúcar. Otras especies que también son utilizadas para preparar bebidas que se consumen solo por su sabor y no por fines medicinales, son el istafiate o estafiate (*Artemisia ludoviciana*), el pesitón o mejorana de campo (*Brickellia veronicifolia*) y el anisillo (*Tagetes micrantha*), con las que se preparan infusiones que pueden beberse frías o calientes.



Fig. 4. Frutos comestibles de algunas especies silvestres distribuidas en el estado de Aguascalientes, México. A= Cardenche (*Cylindropuntia imbricata*), B= Pitayas (*Stenocereus queretaroensis*), C= Joconostle (*Opuntia joconostle*), D= Garambullos (*Myrtillocactus geometrizans*), E= Tunas de nopal duraznillo (*Opuntia leucotricha*) sin exocarpo, F= Chilitos (*Mammillaria craigii*), G= Tunas taponas (*Opuntia robusta*), H= Talayote (*Cynanchum ligulatum*), I= Dátiles de palma yuca (*Yucca filifera*), J= Jaltomates (*Jaltomata procumbens*), K= Granjeno (*Celtis pallida*), L= Mezquites (*Prosopis laevigata*).

Entre las especies cuyas semillas se consumen se encuentra el azafrancillo o falso azafrán (*Ditaxis heterantha*), que es utilizada como condimento en distintos platillos, como un sustituto del azafrán y se le puede encontrar en huertos de traspatio. Por otro lado, las semillas de la gallinita (*Mascagnia macroptera*) se comen frescas y sin ningún tipo de preparación, al igual que las del torito (*Proboscidea louisianica*) y la pochota (*Ceiba aesculifolia*).

En cambio, las semillas de *Apodanthera undulata*, conocidas como “gualaistas”, necesitan una preparación previa para su consumo, deben de remojar en cal por 2 a 3 días, después enjuagarse y remojar en sal para después ser tostadas. Las gualaistas son reconocidas como comestibles en todos los municipios del estado.

Se registraron 25 especies silvestres comestibles que son comercializadas, que representan cerca del 37% (Fig. 6, Cuadro 2), entre las que destacan los nopales (tallos de *Opuntia* spp.), de los cuales se comercializan los brotes tiernos (Fig. 6A) y el centro carnoso de las pencas maduras, conocido como corazón, que se consume como verdura y se utilizan para preparar distintos platillos. El nopal chaveño (*O. hyptiacantha*), el duraznillo (*O. leucotricha*) y el cardón (*O. streptacantha*) se encuentran entre las especies más utilizadas e incluso se les puede encontrar en huertos de traspatio, pero la mayoría de los vendedores ambulantes manifestaron que los colectan de poblaciones silvestres. Las únicas dos especies silvestres de *Opuntia* cuyos frutos son comercializados son el jconostle y el cardón (Fig.6I).

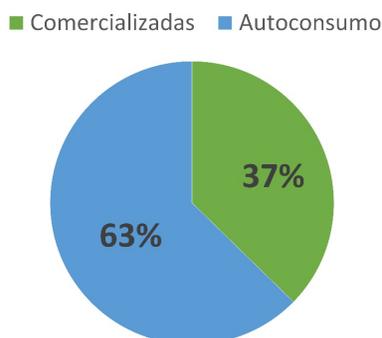


Fig. 5. Proporción del nivel de aprovechamiento (comercializadas o colectadas solo para autoconsumo) de plantas silvestres comestibles del estado de Aguascalientes, México.

La verdolaga (*Portulaca oleracea*) es otra planta silvestre ampliamente comercializada en el estado y se le puede encontrar a la venta principalmente en tianguis y mercados (Fig. 6C) aunque también es colectada para autoconsumo.

Los guamúchiles (*Pithecelobium dulce*) se pueden encontrar a la venta en tianguis del municipio Calvillo (Fig. 6H), se consume de manera directa cuando las vainas han abierto y el arilo blanquecino es de sabor dulce.

Las pitayas (frutos de *Stenocereus queretaroensis*), también se comercializan, desde finales de mayo a principios de julio, antes de las lluvias de verano. Son colectadas temprano por la mañana, se colocan en canastos o cubetas y son cubiertas con ramas y hojas de sauce para protegerlos del sol e insectos. Cuando es temporada en el municipio Calvillo, los recolectores ofrecen estos frutos a los compradores a las afueras del mercado y en la plaza principal.



Fig. 6. Algunas especies de plantas silvestres comestibles comercializadas en el estado de Aguascalientes, México. A= pencas de nopal duraznillo (*Opuntia leucotricha*) a la venta en tianguis del municipio Jesús María. B= Guaches (fruto de *Leucaena esculenta*) a la venta a las afueras del mercado Güel Jiménez, ciudad de Calvillo, C= Verdolagas (*Portulaca oleracea*) a la venta en mercado Jesús Terán, ciudad de Aguascalientes. D= Jitomate de monte (*Solanum lycopersicum*) a la venta en tianguis “Línea de Fuego” de la ciudad de Aguascalientes, E= Pinguica (fruto de *Arctostaphylos pungens*) entera y pulverizada a la venta a las afueras del mercado Güel Jiménez, ciudad de Calvillo, F= Quelites (brotes tiernos de *Amaranthus* spp.) a la venta en tianguis de la ciudad de Calvillo, G= Pápalo (*Porophyllum macrocephalum*) a la venta en mercado Terán de la ciudad de Aguascalientes. H= Guamúchiles (frutos de *Pithecellobium dulce*) a la venta en tianguis de la ciudad de Calvillo, I= Tuna cardona (frutos de *Opuntia streptacantha*) a la venta en la ciudad de Aguascalientes, J= Gualaistas (semillas de *Apodanthera undulata*) a la venta en mercado Terán de la ciudad de Aguascalientes, K= Falzo azafrán (semillas de *Ditaxis heterantha*) a la venta en mercado Terán de la ciudad de Aguascalientes, L= Temachaca (inflorescencias de *Lysiloma acapulcense*) a la venta en tianguis de la ciudad de Calvillo.

Varias plantas principalmente de la familia Cactaceae, son utilizadas para elaborar productos para la venta o autoconsumo. Como lo son las tunas, en especial la cardona, usada para elaborar melcocha o queso de tuna (Fig. 7A), un dulce tradicional de la región que se elabora y comercializa en el estado. Según informantes de los municipios Aguascalientes, Rincón de Romos, Jesús María y El Llano, la tuna cardona también es empleada para preparar una bebida fermentada llamada “colonche”, que es cada vez más difícil de encontrar en el estado, pero, que aún se elabora en algunas comunidades como Calvillito, en donde se ofrece a la venta en pulquerías.

Otro dulce tradicional hecho con una cactácea nativa es el acitrón (Fig. 7C), para el que se utiliza el tallo de la biznaga de barril (*Ferocactus histrix*), una especie protegida según la NOM-O59-SEMARNAT-2010. Pese a que su extracción del medio silvestre está penalizada, la biznaga de barril aún es utilizada para elaborar acitrón en los municipios Asientos, Tepezalá, El Llano y San José de Gracia. En comunidades de Calvillo, los frutos de *F. histrix*, que son conocidos como pitajayas o jocoquillas son aprovechados para elaborar mermeladas caseras (Fig. 7B), principalmente para autoconsumo.

Los garambullos se encuentran entre los frutos silvestres más utilizados para elaborar productos como mermeladas y helados (Fig. 7D), que se pueden encontrar a la venta en establecimientos de la cabecera municipal de Calvillo.

En el municipio San José de Gracia, los chilitos (frutos de *Mammillaria craigii*) son utilizados para elaborar mermeladas, helados y para dar el color a la masa de maíz con la que se elaboran tortillas y tamales; pero el uso de este fruto silvestre es solo para autoconsumo, ya que, de acuerdo con los informantes, es difícil colectarlos en las cantidades necesarias para elaborar dichos productos.

Los tallos de algunas especies de nopales como el duraznillo (*O. leucotricha*), se emplean para hacer encurtidos artesanales (Fig. 7E), se pueden encontrar a la venta en tianguis y mercados de la ciudad de Aguascalientes, Rincón de Romos, Jesús María y Pabellón de Arteaga. Según los informantes, esta especie de nopal es de las mejores para elaborar encurtidos debido a su sabor y textura proporcionada por la pubescencia de las pencas.

El quiote, nombre que recibe el escapo floral del agave pulquero (*Agave salmiana*), después de dos noches y un día de hornearse bajo tierra, es cortado en rebanadas y vendido en puestos ambulantes junto con el aguamiel (en Aguascalientes se extrae de la misma especie). Aunque es común observar quioteros (personas que se dedican a la venta de quiote) en las ciudades del estado, la mayoría es originario de estados vecinos como Zacatecas y San Luis Potosí; solo se encontró un vendedor originario de Aguascalientes en el municipio San José de Gracia, quien manifestó extraer y elaborar sus productos en su comunidad (Fig. 7F), también mencionó que este oficio es cada vez menos frecuente en el estado.

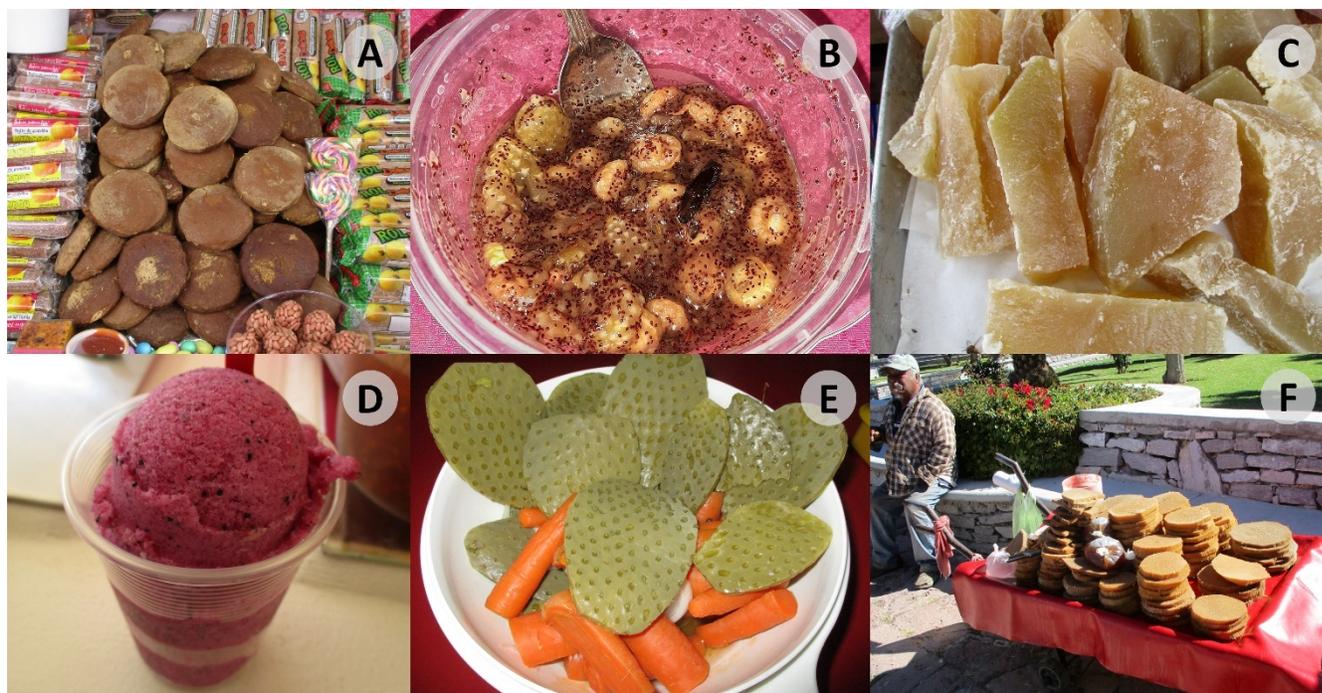


Fig. 7. Algunos productos elaborados con especies de plantas silvestres comestibles distribuidas en el estado de Aguascalientes, México. A= Queso de tuna, B= Mermelada casera de jocoquilla, C= Dulce de acitrón, D= Nieve de garambullo, E= pencas encurtidas de nopal duraznillo, F= Puesto ambulante con aguamiel y quiote.

En el municipio Tepezalá, el aguamiel de *Agave salmiana* se obtiene de poblaciones locales no cultivadas y se utiliza para elaborar miel de maguay durante la Semana Santa, mediante un proceso cocción que dura alrededor de nueve horas (Fig. 8B). Además, según los testimonios de personas de la comunidad de Calvillito en el municipio Aguascalientes, anteriormente en el estado se cultivaba el *Agave salmiana* para obtener aguamiel y hacer pulque. Aunque todavía se puede encontrar esta bebida fermentada en esta comunidad, actualmente se elabora con aguamiel proveniente del estado de Zacatecas (Fig. 8A).



Fig. 8. A= Pulque elaborado en la comunidad Calvillito, municipio Aguascalientes, Aguascalientes. B= Proceso de elaboración de miel de maguay en ejido Tepezalá, municipio Tepezalá, Aguascalientes.

Otra planta que también fue muy utilizada en décadas pasadas, es el mezquite (*Prosopis laevigata*), cuyos frutos, además de consumirse de forma directa, eran puestos a secar para después molerse y ser convertidos en harina. Aunque actualmente es posible encontrar productos elaborados con harina de mezquite en el estado, su uso ya no es tan común según las personas entrevistadas, anteriormente se empleaba para rendir la harina de maíz y se utilizaba para hacer tortillas, galletas, pan y tamales.

DISCUSIÓN

Los estudios realizados anteriormente reportaban alrededor de 30 especies de uso comestible en Aguascalientes (Barba-Ávila *et al.*, 2003; García-Regalado, 2014; Mares-Guerrero & Ocampo-Acosta, 2018; Sandoval-Ortega & Siqueiros-Delgado, 2019), por lo que con el presente estudio incrementa más del doble el número de registros de especies utilizadas con este fin en el estado. No obstante, el total de plantas silvestres comestibles hasta ahora registradas para Aguascalientes representan solo el 3% de las 2,168 especies (tanto cultivadas como silvestres) reportadas con este uso en el país (Mapes & Basurto, 2016), lo que podría indicar que varias especies comestibles distribuidas en la entidad no son aprovechadas o que su uso no ha sido registrado.

Varias de las plantas silvestres comestibles utilizadas en Aguascalientes son consideradas malezas (Villaseñor & Espinosa-García, 1998) y de acuerdo con los informantes, se obtienen de los terrenos de cultivo, como es el caso de las verdolagas (*Portulaca oleracea*) y los quelites (*Amaranthus* spp.), que se comercializan en tianguis y mercados y representan una fuente de ingreso extra para los agricultores. Sin embargo, esta riqueza de especies arvenses comestibles se ve amenazada debido a la transición de la agricultura tradicional a la industrializada, donde se impulsa a los monocultivos y se aplican herbicidas (García-Hilario *et al.*, 2016; Grundy *et al.*, 2011; Mascorro-de Loera *et al.*, 2019).

A nivel global, el consumo de plantas silvestres es una opción alimentaria que podría ser mejor aprovechada, aunque para lograrlo es necesario integrar estudios nutricionales por especie, ya que la principal limitante para la explotación de estas es su contenido de principios antinutrientes y tóxicos (Guil *et al.*, 1997). Así mismo, algunas plantas señaladas como comestibles pueden resultar tóxicas si no se preparan de la manera correcta o si son confundidas con otras, como podría ser el caso de *Ipomoea orizabensis*, que se ha registrado con uso comestible en Aguascalientes (Mares-Guerrero & Ocampo-Acosta, 2018), pero que es de efecto purgante y es utilizada tradicionalmente en otros sitios del país para eliminar parásitos intestinales (Díaz-Potones, 2009; Hernández-Carlos *et al.*, 1999), por lo que su consumo debe evitarse.

No obstante, otras especies del género *Ipomoea* son comestibles, como *I. capillacea*, que ya se había registrado con este uso en el estado (Mares-Guerrero & Ocampo-Acosta, 2018) y que también se consume en otras regiones como Michoacán (Carranza González, 2008). Este es un ejemplo de que no todas las especies de un mismo grupo son comestibles, por tanto, es necesario saber identificarlas correctamente antes de consumirlas.

Algunos miembros de la familia Amaranthaceae, como *Chenopodium murale* y *Chenopodium album*, son una buena fuente de vitamina C y su contenido de proteína cruda es relativamente alto, aunque también contienen principios tóxicos como el ácido oxálico, en un nivel similar a algunos vegetales cultivados como los betabeles y las espinacas, por lo que se consideran de baja toxicidad para los humanos (Guil *et al.*, 1997; Guil & Torija, 2002). Aunque *C. murale* y *C. album* sí se consumen en el estado, también se distribuyen otras especies de esta misma familia que se aprovechan como verdura en otros estados de México, y otros países, tales como *Amaranthus viridis* y *A. spinosus*, aunque no son utilizadas en el estado (Sandoval-Ortega & Siqueiros-Delgado, 2019).

Además de los ejemplos anteriores, en Aguascalientes se pueden encontrar otros taxones comestibles que no se aprovechan o que su uso por pobladores no ha sido registrado hasta el momento, aunque son aprovechados en otras regiones del país, como es el caso de *Jarilla heterophylla*, conocida como granadilla, cuyo fruto se consume y comercializa en Jalisco (Díaz-Luna & Lomelí-Sencion, 1992). No obstante, es una especie poco frecuente en Aguascalientes (Sandoval-Ortega & Siqueiros-Delgado, 2020), lo que podría explicar que no fue mencionada por los informantes. Algo similar podría ocurrir con *Nymphaea gracilis*, cuyo tubérculo se consume en Jalisco, Estado de México y Guanajuato (Zepeda-Gómez, 2017), pero en Aguascalientes es una especie poco común (Sandoval-Ortega, 2020) y su uso comestible no ha sido registrado.

CONCLUSIONES

En Aguascalientes existen por lo menos 67 especies de plantas silvestres comestibles, principalmente pertenecientes a las familias Cactaceae y Amaranthaceae. El 37% de estas especies son comercializadas y el resto se colectan para autoconsumo. Las estructuras más aprovechadas son los frutos, así como tallos y hojas.

La flora silvestre comestible es un recurso económico y alimenticio representativo para la población de Aguascalientes, algunas especies se utilizan en platillos o dulces típicos y son parte de las tradiciones y herencia cultural del estado. Estos conocimientos continúan, en su mayoría, vivos y dinámicos a pesar de la dieta mixta con productos industriales; no obstante, algunas prácticas relacionadas al consumo de plantas silvestres están en peligro de desaparecer. Por lo que es necesario realizar estudios a profundidad para documentar y difundir el uso responsable de las especies de plantas autóctonas, para asegurar la existencia futura tanto de la biodiversidad como de las tradiciones ligadas a ella.

LITERATURA CITADA

- Angelo, M. J. (2017). La seguridad alimentaria, la agricultura industrializada y un cambio climático mundial: Perspectivas en Estados Unidos y Cuba. *Florida Journal of International Law*, 29(1), 133–158. <https://scholarship.law.ufl.edu/fjil/vol29/iss1/38>
- Babbie, E. R. (1988). *Métodos de investigación por encuesta*. Biblioteca de la Salud, Fondo de Cultura Económica.
- Barba-Ávila, M. de los D., Croce-Hernández D., M., & De la Cerda-Lemus, M. (2003). *Plantas Útiles de la Región Semiárida de Aguascalientes*. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Calderón, G., & Rzedowski, J. (2005). *Flora Fenerogámica del Valle de México*. Instituto de Ecología, A.C. y y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Carranza González, E. (2008). Fascículo complementario XXIII: diversidad del género *Ipomoea* L. (Convolvulaceae) en el estado de Michoacán, México. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*, XXIII, 1–123. <https://doi.org/10.21829/fb.165.2008.XXIII>
- CONABIO. (2008). *La Biodiversidad en Aguascalientes: Estudio de Estado*. (1a ed.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Instituto del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes (IMAE), Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA).
- Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M., & Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en Educación Médica*, 2(7), 162–167.
- Díaz-Luna, C. L., & Lomelí-Sencion, J. A. (1992). Revisión del género *Jarilla* Rusby (Caricaceae). *Acta Botánica Mexicana*, 20, 77–99. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2014.23-2.11>

- Díaz-Potones, D. (2009). *Ipomoea*: un género con tradición. *ContactoS*, 73, 36–44.
- Flora of North America Editorial Committee. (1993). *Flora of North America North of Mexico [Online]*. 22+ vols. http://floranorthamerica.org/Main_Page
- García-Hilario, F., Cruz-Morales, J., Castro Ramírez, A. E., Hamilton R., T. T., & Pacheco-Flores, C. (2016). The crisis of the milpa system: cultural and biological erosion in San Juan de las Nieves, Malinaltepec, Guerrero, Mexico. *Revista de Geografía Agrícola*, 57, 113–123. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2016.57.003>
- García-Regalado, G. (1989a). *Plantas Medicinales de Aguascalientes*. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- García-Regalado, G. (1989b). *Plantas medicinales de San José de Gracia, Aguascalientes*. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- García-Regalado, G. (2014). *Plantas Medicinales de Aguascalientes* (1a ed.). Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- García, E. (1964). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climático de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Offset Larios S.A.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327(5967), 812–818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- Grundy, A. C., Mead, A., Bond, W., Clark, G., & Burston, S. (2011). The impact of herbicide management on long-term changes in the diversity and species composition of weed populations. *Weed Research*, 51(2), 187–200. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00831.x>
- Guil, J. L., Rodríguez-García, I., & Torija, E. (1997). Nutritional and toxic factors in selected wild edible plants. En *Plant Foods for Human Nutrition* (Vol. 51). Kluwer Academic Publishers.
- Guil, J. L., & Torija, E. (2002). Edible Wild Plants. En D. K. Majundar, J. N. Govil, & V. K. Singh (Eds.), *Recent progress in medicinal plants. Vol. VIII*. (pp. 431–466). Sci Tech Publishing LLC.
- Hernández-Carlos, B., Bye, R., & Pereda-Miranda, R. (1999). Orizabins V–VIII, Tetrasaccharide Glycolipids from the Mexican Scammony Root (*Ipomoea orizabensis*). *Journal of Natural Products*, 62(8), 1096–1100. <https://doi.org/10.1021/np9900627>
- INEGI. (2021). *Principales resultados por localidad (ITER). Aguascalientes. Censo de Población y Vivienda 2020*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/ficha.html?tit=325899&ag=0&f=csv>
- Khan, F. A., Bhat, S. A., & Narayan, S. (2017). *Wild edible plants as a food resource: Traditional knowledge*. Division of post-harvest technology Sher-e-Kashmir University of Agricultural Sciences and Technology of Kashmir.
- León-Lobos, P., Díaz-Forestier, J., Díaz, R., Celis-Diez, J. L., Diazgranados, M., & Ulian, T. (2022). Patterns of Traditional and Modern Uses of Wild Edible Native Plants of Chile: Challenges and Future Perspectives. *Plants*, 11(6), 744. <https://doi.org/10.3390/plants11060744>
- Mapes, C., & Basurto, F. (2016). Biodiversity and Edible Plants of Mexico. En R. Lira, A. Casas, & J. Blancas (Eds.), *Ethnobotany of Mexico: Interactions of People and Plants in Mesoamerica* (pp. 83–88). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6669-7>
- Mares-Guerrero, A. A., & Ocampo-Acosta, G. A. (2018). *Catálogo ilustrado de plantas útiles de la Sierra del Laurel, Aguascalientes*. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Mascorro-de Loera, R. D., Ferguson, B. G., Perales-Rivera, H. R., & Charbonnier, F. S. J. (2019). Herbicidas en la milpa: Estrategias de aplicación y su impacto sobre el consumo de arvenses. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18), 477–486. <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2076>
- Molina, M., Morales, R., Pardo de Santayana, M., & Tardío, J. (2009). ¡Láncese al Campo! Plantas Silvestres Comestibles. *Tierra y tecnología*, 36, 37–44.
- Morrone, J., Escalante, T., & Rodríguez-Tapia, G. (2017). Mexican biogeographic provinces:

Recibido:
24/julio/2022

Aceptado:
16/enero/2023

- Map and shapefiles. *Zootaxa*, 4277(2), 277–279. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4277.2.8>
- Pardo de Santayana, M., & Gómez-Pellón, E. (2003). Etnobotánica: aprovechamiento tradicional de las plantas y patrimonio cultural. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 60(1), 171–182.
- Pío-León, J. F., Delgado-Vargas, F., León-de la Luz, J. L., & Ortega-Rubio, A. (2017). Prioritizing Wild Edible Plants for potential new crops based on Deciduous Forest traditional knowledge by a Rancher community. *Botanical Sciences*, 95(1), 47. <https://doi.org/10.17129/botsci.772>
- Pío-León, J. F., Delgado-Vargas, F., Murillo-Amador, B., León-de-la-Luz, J. L., Vega-Aviña, R., Nieto-Garibay, A., Córdoba-Matson, M., & Ortega-Rubio, A. (2017). Environmental traditional knowledge in a natural protected area as the basis for management and conservation policies. *Journal of Environmental Management*, 201, 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.032>
- Sánchez-Escalante, J. J., & Gilbert, E. E. (2018). Red de Herbarios del noroeste de México: Un esfuerzo colaborativo entre botánicos mexicanos. *Árido-Ciencia*, 3(2), 21–35. <https://herbanwmex.net/portal/>
- Sandoval-Ortega, M. H. (2020). Contribución al conocimiento de *Nymphaea gracilis* Zucc. en Aguascalientes, México. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 14(1), 1–6. <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v14i1.561>
- Sandoval-Ortega, M. H., & Siqueiros-Delgado, M. E. (2019). Plantas útiles de la familia Amaranthaceae en el estado de Aguascalientes. *Tecnociencia Chihuahua*, 13(1), 40–49.
- Sandoval-Ortega, M. H., & Siqueiros-Delgado, M. E. (2020). *Jarilla heterophylla*, un nuevo registro para la flora del estado y único representante nativo de la familia Caricaceae en Aguascalientes, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 79, 36–43.
- SEINet. (2019). *The SEINet data portal*. <http://swbiodiversity.org/index.php>
- Siqueiros-Delgado, M. E., Rodríguez-Avalos, J. A., Martínez-Ramírez, J., & Sierra-Muñoz, J. C. (2016). Situación actual de la vegetación del estado de Aguascalientes, México. *Botanical Sciences*, 94(3), 455–470. <https://doi.org/10.17129/botsci.466>
- Villaseñor, J. L., & Espinosa-García, F. J. (1998). *Catálogo de malezas de México*. Fondo de Cultura Económica.
- Woodhouse, P. (2010). Beyond Industrial Agriculture? Some Questions about Farm Size, Productivity and Sustainability. *Journal of Agrarian Change*, 10(3), 437–453. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0366.2010.00278.x>
- Zepeda-Gómez, C. (2017). Nymphaeaceae. En A. Lot (Ed.), *Plantas acuáticas mexicanas, una contribución a la Flora de México.: Vol. II* (pp. 139–153). Universidad Nacional Autónoma de México.



Polibotánica

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

RECURSOS FORESTALES NO MADERABLES UTILIZADOS EN ELABORACIÓN DE ARTESANÍAS EN LA COMUNIDAD DE MALINALCO, ESTADO DE MÉXICO

NON-TIMBER FOREST RESOURCES USED IN ELABORATION OF HANDICRAFTS IN THE COMMUNITY OF MALINALCO, STATE OF MEXICO

White-Olascoaga, L., C. Chávez-Mejía, D. Garcia-Mondragón y M. Michua-Hernández
RECURSOS FORESTALES NO MADERABLES UTILIZADOS EN ELABORACIÓN
DE ARTESANÍAS EN LA COMUNIDAD DE MALINALCO, ESTADO DE MÉXICO
NON-TIMBER FOREST RESOURCES USED IN ELABORATION OF HANDICRAFTS
IN THE COMMUNITY OF MALINALCO, STATE OF MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 55: 231-243 México. Enero 2023

DOI: 10.18387/polibotanica.55.15



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

Recursos forestales no maderables utilizados en elaboración de artesanías en la comunidad de Malinalco, Estado de México

Non-timber forest resources used in elaboration of handicrafts in the community of Malinalco, State of Mexico

White-Olascoaga, L.,
C. Chávez-Mejía,
D. García-Mondragón y
M. Michua-Hernández

RECURSOS FORESTALES
NO MADERABLES
UTILIZADOS EN
ELABORACIÓN DE
ARTESANÍAS EN LA
COMUNIDAD DE
MALINALCO, ESTADO DE
MÉXICO

NON-TIMBER FOREST
RESOURCES USED IN
ELABORATION OF
HANDICRAFTS IN THE
COMMUNITY OF
MALINALCO, STATE OF
MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 55: 231-243. Enero 2023

DOI:

10.18387/polibotanica.55.15

L. White-Olascoaga / lwhite@uaemex.mx

*Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México.
Campus El Cerrillo Piedras Blancas. Toluca.*

C. Chávez-Mejía

*Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR).
Universidad Autónoma del Estado de México.*

D. García-Mondragón

*Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua (IITCA).
Universidad Autónoma del Estado de México.*

M. Michua-Hernández

*Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México.
Campus El Cerrillo Piedras Blancas. Toluca.*

RESUMEN: Los productos forestales no maderables son trascendentales para el bienestar de las unidades domésticas campesinas, de comunidades rurales y suburbanas, les aportan bienes y servicios prioritarios para su subsistencia. El presente trabajo pretende identificar el uso de los recursos forestales no maderables para la elaboración de artesanías en la comunidad de Malinalco, Estado de México; así como registrar el hábitat de donde provienen los recursos y el marco legal y económico para el uso de dichos recursos. Por medio del método etnográfico, se realizó y validó el instrumento de obtención de la información que fue un cuestionario. Se obtuvieron los informantes clave y se realizaron las entrevistas. Durante cinco meses mediante entrevistas semiestructuradas a 03 artesanas y 17 artesanos de la comunidad, se obtuvo un listado de 11 diferentes artesanías elaboradas y comercializadas en la comunidad de Malinalco. La diversidad forestal fue de 15 especies, 19 géneros y 12 familias; de los cuales 4 taxa se identificaron a nivel genérico. Las especies más utilizados son; *Agave* sp., *Crescentia alata* Kunth y *Jacaranda mimosifolia* D. Don. Las familias con mayor representatividad fueron Bignoniaceae y Asparagaceae. El 52.63% fueron especies arbóreas, y el 42.10% herbáceas, obtenidas de la selva baja caducifolia (58.3%) o de huertos familiares (18.75%). Respecto a las partes utilizadas el 46.34% corresponde a frutos y el 17.07% a semillas. El conocimiento sobre el aprovechamiento de la flora en la elaboración de artesanías permitió conocer la importancia de la selva baja caducifolia y de los huertos familiares para la obtención de recursos para la elaboración y comercialización de artesanías en la comunidad de Malinalco, Estado de México.

Palabras clave: Artesanías, productos forestales no maderables, selva baja caducifolia.

ABSTRACT: Non-timber forest products are transcendental for the well-being of rural households, rural and suburban communities, they provide them with priority goods and services for their subsistence. The present work tries to identify the use of non-timber forest resources for the elaboration of handicrafts in the community of Malinalco, State of Mexico; as well as register the habitat where the resources come from and the legal and economic framework for the use of said resources. Through the ethnographic method, the instrument for obtaining the information, which was a

questionnaire, was carried out and validated. Key informants were obtained, and interviews were conducted. During five months through semi-structured interviews with three artisans and 17 artisans from the community, a list of 11 different crafts made and marketed in the Malinalco community was obtained. Forest diversity was 15 species, 19 genera and 12 families; of which 4 taxa were identified at the generic level. The most used species are *Agave* sp. *Crescentia alata* Kunth and *Jacaranda mimosifolia* D. Don. The most representative families were Bignoniaceae and Asparagaceae. 43.9% were tree species, and 22% climbers, obtained from the low deciduous forest (58.3%) or from home gardens (18.75%). Regarding the parts used, 46.34% correspond to fruits and 17.07% to seeds. The knowledge about the use of flora in the elaboration of handicrafts allowed us to know the importance of the low deciduous forest and family gardens to obtain resources for the elaboration and commercialization of handicrafts in the community of Malinalco, State of Mexico.

Key words: Handicrafts, non-timber forest products, low deciduous forest.

INTRODUCCIÓN

Los recursos forestales no maderables (RFNM), son bienes de origen biológico, distintos de la madera y derivados de los diferentes ecosistemas. Los RFNM, también llamados beneficios forestales no madereros, son la parte no leñosa de la flora de un ecosistema; constituyen recursos biológicos con diversos beneficios, por ejemplo: frutos, semillas, aceites, especias, resinas, gomas, plantas medicinales, quelites, insectos entre otros, y en su mayoría son obtenidos de manera silvestre, por recolección (Wong *et al.*, 2001; López, 2008; Anastasio-Martínez *et al.*, 2017).

Los sistemas para la clasificación de los RFNM son variados, desde los que usan agrupaciones por formas de vida (herbáceas, arbustos, trepadoras etc.), hasta los que emplean categorías funcionales dependiendo de los estudios (plantas medicinales, alimenticias, aromáticas, artesanales y tóxicas, entre otras) (Wong *et al.*, 2001; López, 2008; Anastasio-Martínez *et al.*, 2017).

El uso los RFNM por las comunidades rurales es fundamental para sus hábitos y modos de vida, tanto económicos como alimenticios. En el 2017, en México se obtuvieron 206 011 toneladas de estos recursos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021). Entre los principales encontramos, hongos (Lara-Vázquez *et al.*, 2013), artrópodos comestibles (Victoria-Morales *et al.*, 2023) y quelites para su dieta diaria (Balcázar-Quñones *et al.*, 2020), así como plantas medicinales para el cuidado de la familia (White-Olascoaga *et al.*, 2013) y como fuente de materias primas para la elaboración de artesanías (Robles, 2007).

Las artesanías son el conjunto de actividades que se hacen o elaboran con las manos, son una forma de expresión de las costumbres, tradiciones, mitos y creencias que establece la gente de cada región, con el medio que les rodea, generalmente se transmite de generación en generación y pueden tener una finalidad utilitaria o decorativa (Rivera *et al.*, 2008) (Feuillet, 2011) y (Castro *et al.*, 2018).

Se han propuesto diferentes clasificaciones para las artesanías, principalmente para aquellas realizadas por comunidades indígenas, campesinas o mestizas. Las artesanías se pueden dividir en tres tipos: arte popular, etnoartesanías y artesanías semi-industrializadas (Bustos, 2009). Siendo las etnoartesanías las que son heredables de generación en generación, tienen un profundo arraigo autóctono, forman parte de las actividades diarias de las unidades domésticas en comunidades rurales y suburbanas, y su venta se realiza por algún miembro de la familia.

Las artesanías y sus procesos de elaboración forman parte del patrimonio biocultural intangible de la humanidad. (Rivas 2018) ha reafirmado que es necesario salvaguardar este patrimonio biocultural mediante su conservación, difusión y protección. El manejo tradicional de especies útiles para la producción de artesanías es el resultado del conocimiento que ha sido transmitido

de una generación a otra, por lo que la reducción de las áreas naturales trae como consecuencia la disminución en la disponibilidad de las materias primas utilizadas para la elaboración de productos artesanales y a la pérdida de los saberes tradicionales (Trueba-Sánchez, 2005).

Los productos artesanales pueden considerarse parte de la historia y tradiciones de una comunidad en particular, constituyendo un medio de identidad de los pueblos (Castro *et al.*, 2018). El proceso de elaboración de las artesanías es fundamentalmente manual, con materiales que se obtienen del medio que rodea a las comunidades. En conjunto, crean las técnicas, los utensilios, los diseños y en algunos casos también el tipo de material a usar, que pueden ser semillas, frutos y flores (Rivera *et al.*, 2008; Feuillet, 2011).

(López, 2008) menciona que actualmente existen más de 4.000 plantas a nivel mundial utilizadas como recursos forestales no maderables en la elaboración de artesanías, incluso muchas de ellas han alcanzado cadenas de comercialización (FAO, 2010). Sin embargo, la información sobre los RFNM utilizados como materias primas en la producción artesanal, se encuentra dispersa, algunas veces está presente como anexos en investigaciones, o en trabajos como “El catálogo de recursos forestales maderables y no maderables” de la CONAFORT y “Artesanías y medio ambiente” de FONART, los cuales permiten conocer los RFM y RFNM utilizados en la elaboración de artesanías y en qué tipo de ecosistemas se encuentran localizados (FONART 2009; CONAFORT, 2018).

Lo anterior, nos permitirá conocer la importancia de los RFNM utilizados en la elaboración de artesanías, establecer el tipo de hábitat donde se obtienen los materiales, qué tipo de recursos usan y cómo es su manejo, para tener un adecuado control de los recursos forestales no maderables y fomentar su crecimiento en la comunidad. El objetivo de la presente investigación fue conocer el uso de los recursos forestales no maderables utilizados en la elaboración de artesanías, así como registrar el hábitat de donde provienen estos recursos y el marco legal de los artesanos de la comunidad de Malinalco, Estado de México. Parte de los resultados corresponden a la tesis de licenciatura biología Magali Michua Hernández

Comunidad de estudio

La comunidad de Malinalco se encuentra ubicada en el municipio del mismo nombre en el Estado de México, el municipio se delimita por las coordenadas 18° 57' 07" latitud norte y 99° 30' 06" longitud oeste; se ubica en el subtrópico del Altiplano Mexicano, en la confluencia de las provincias fisiográficas de la Sierra Madre del Sur y el eje Volcánico y está a una altitud promedio de 1740 msnm. Su clima es semicálido, subhúmedo, con lluvias en verano, con temperatura media anual de 20.4 °C, su precipitación pluvial anual promedio es de 1 177 mm con un máximo de 260 a 270 mm en agosto y mínima de 10 mm de diciembre a febrero (INEGI, 2009).

MATERIALES Y MÉTODOS

El método incluyó un diagnóstico sobre la riqueza florística utilizada en la elaboración de las artesanías, así como el uso de los recursos forestales no maderables, aspectos legales y económicos. De mayo hasta julio del 2020, se entrevistaron a los 20 artesanos registrados en la casa de cultura de la comunidad de Malinalco. Se realizaron entrevistas semiestructuradas con base en un cuestionario que se dividió en cuatro secciones: 1) Generalidades: nombre del informante, edad, sexo, actividad principal y de donde son originarios. 2) Manejo: cuánto tiempo llevan elaborando artesanías, en qué época del año recolectan el material, nombre de la planta utilizada, parte utilizada, procedencia del recurso. 3) Marco legal: reciben apoyos para la elaboración de las artesanías y, si cuentan con permisos del municipio o de alguna otra instancia. 4) Económico: de lo obtenido por las ventas de las artesanías, ¿qué porcentaje contribuye al ingreso familiar?

Las especies utilizadas en la elaboración de las artesanías fueron identificadas con ayuda de fotografías y guías de frutos y semillas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acceso a los RFNM y venta de artesanías

México es un país con un gran patrimonio biocultural, siendo la segunda nación a nivel mundial, después de Indonesia. Esta riqueza se ve reflejada en una impresionante relación entre las culturas indígenas y campesinas y los diferentes ecosistemas que habitan y su aprovechamiento. Particularmente la comunidad de Malinalco en el Estado de México posee una historia que se remonta a la época prehispánica, y actualmente es una comunidad con un alto potencial turístico. En la comunidad de Malinalco más de 100 familias campesinas y/o indígenas, obtienen parte de sus ingresos de la elaboración de artesanías, tallado de madera, fabricación de prendas y rebosos entre otras, para lo cual utilizan tanto recursos forestales maderables como no maderables, como diferentes clases de rocas y materiales textiles (Valverde y Jasso, 2018).

En Malinalco, la fabricación y comercio de artesanías es una tradición que se ha transmitido de generación en generación. Desde su denominación como pueblo mágico (2010), la actividad ha incrementado su importancia económica. Los artesanos empezaron a comercializar sus piezas, debido al aumento de afluencia turística. La venta de artesanías les permite tener un ingreso complementario y satisfacer algunas de sus necesidades básicas (Murillo *et al.*, 2017).

En la comunidad de Malinalco, se elaboran un promedio de 11 diferentes etnoartesanías; pulseras, collares, aretes, instrumentos musicales, diferentes adornos para decoración como flores, cortinas, lámparas, así como los denominados bules de agua, y exhibidores para sus artesanías y los denominados “arbolitos”; elaborados todos con recursos forestales no maderables. Este tipo de etnoartesanías son elaboradas y comercializadas por 20 artesanos, 17 artesanos y 03 artesanas de entre 17 y 59 años, con una experiencia de entre 5 a 30 años dedicados a esta actividad (Fig. 1).



Fig. 1. Puesto de artesanías en la comunidad de Malinalco. Foto Michua-Hernández.

Los artesanos son originarios de la comunidad de Malinalco, y de zonas cercanas, como San Nicolás y San Simón el Alto; y de poblaciones un poco más alejadas de la cabecera municipal como San Francisco Tepexozuca, comunidad que se localiza a 22 km de Malinalco. Del mismo modo, todos los artesanos elaboran y venden sus propios productos en diferentes tianguis y mercados regionales.

Los RFNM con los cuales elaboran las artesanías, son obtenidos por colectas de los artesanos durante todo el año (lluvias 60% y secas 40%), obtenidos de diferentes ambientes como son el bosque de pinos, selva baja caducifolia (S.B.C) y huertos familiares. Del bosque de pinos obtienen conos de pinos principalmente, de huertos familiares y S.B.C. diferentes clases de semillas y frutos.

Sales (2013), menciona que el Fondo Nacional para el fomento de las artesanías (Fonart) posee cuatro programas sociales para apoyar a los artesanos productores los cuales son: capacitación integral y asistencia técnica, apoyos a la producción, adquisición de artesanías y apoyos a la comercialización y concursos de arte popular. Sin embargo, los artesanos encuestados en la comunidad de Malinalco mencionan que no reciben apoyos por parte de instancias gubernamentales para la elaboración de sus productos.

Lo anterior se manifiesta en que, únicamente el 20% posee permiso expedido por el ayuntamiento o credencial de artesano del Instituto de Investigación y Fomento de las Artesanías (IIFAEM), para la obtención de su material del medio natural. Por otra parte, el 80% tiene permiso de venta expedido por el ayuntamiento, dando una cuota por permiso de piso, ya sea esta diaria, semanal o anual. El resto, vende sus artesanías en su casa o en negocio propio (20%).

(Rivera *et al.*, 2008), sostienen que, al igual que en la comunidad de Malinalco, los artesanos en el municipio de Texcoco enfrentan problemas de administración y organización en sus actividades artesanales. Además, estos autores señalan que los artesanos(as) cuentan con muy pocas posibilidades de apoyos gubernamentales que propicien espacios de participación, en donde se promuevan y comercialicen sus productos.

La venta de artesanías en la comunidad de Malinalco es una actividad preponderante en la economía de las familias. Esta actividad se lleva a cabo en el centro de la comunidad de Malinalco, principalmente los fines de semana. El 70% de los participantes considera la actividad como rentable, y para 10 de los 20 artesanos, los ingresos por la venta de las artesanías constituyen el 100% de los ingresos familiares, mientras que para el 30 % contribuye con la mitad. Así mismo el 20% manifestó haber tenido pérdidas derivadas de la pandemia.

La elaboración y venta de artesanías es una actividad primordial para cerca de nueve millones de mexicanos (García, 2000). La diversidad de artesanías refleja la cosmovisión de las culturas indígenas y campesinas del país, la cual evoluciona y se mantiene en la memoria colectiva, presente en la vida diaria y festiva de las comunidades, pero también son un medio para obtener ingresos económicos (Shiomara del Carpio-Ovando y Freitag, 2012). Una característica del trabajo artesano en México es que usan principalmente recursos locales, entre otros barro, ámbar, madera, plantas cultivadas y recursos forestales no maderables (Martínez-López *et al.*, 2016; Vázquez y Munguía-Lino, 2016; Camarillo *et al.*, 2020).

En México, el uso de recursos no forestales para la elaboración de artesanías se observa en muchas comunidades indígenas y campesinas, un ejemplo es el estado de Chiapas. Beutelspacher (2009) realiza un trabajo en la comunidad Lacandona, en donde presenta a 15 especies de plantas para la elaboración de collares y pulseras, en donde destaca el uso de *Enterolobium cyclocarpum* (Jack.) Griseb. (guanacastle) y *Rhynchosia precatória* (H.& B. ex Willd.) DC. (ojito de pajarito), como en la presente investigación.

Rivera *et al.*, (2008), en su trabajo sobre las artesanías en Santa Catarina del Monte, Texcoco mencionan como las artesanías son un patrimonio cultural que genera empleo en las comunidades rurales. Correa y González (2016), mencionan la necesidad de crear un reglamento y/o políticas públicas, que dignifiquen a los artesanos y preserven sus valores y tradiciones culturales en la elaboración de artesanías, así como implementar talleres para ayudarlos en temas como el régimen fiscal y la elaboración de planes de negocios.

Lo anterior es de suma importancia, debido a que en el trabajo realizado por el IFAEM y gobierno del Estado de México (S.A) sobre las ramas artesanales del estado, hacen mención de 13 ramas artesanales (alfarería y cerámica, textiles, madera, cerería, metalistería, orfebrería y joyería, fibras vegetales, papelería y cartonería, talabartería y peletería, lapidaria y canteras, hueso y cuero, vidrio y gastronomía) quedando fuera las artesanías realizadas con frutos y semillas para la elaboración de collares, aretes o pulseras. Lo que permite visualizar la importancia de realizar trabajos sobre la elaboración de artesanías por las comunidades rurales y suburbanas.

Uso y riqueza de especies

Los artesanos en Malinalco elaboran en promedio de 11 etnoartesanías, con una riqueza de especies que incluye 19 taxa; de las cuales 15 se identificaron hasta especie, y cuatro a nivel de género, con un total de 19 géneros y 12 familias. Respecto a las familias el 92% corresponden a plantas con flor del grupo de las angiospermas, mientras que el 8% son gimnospermas de la familia Pinaceae (Tabla 1).

Las familias mejor representadas son Fabaceae con cuatro especies (*Caesalpinia* sp., *Erythrina coralloides* Moc. & Sessé ex DC., *Mucuna mutisiana* (Kunth) DC. y *Rhynchosia precatória* DC.), Bignoniaceae con tres (*Crescentia alata* Kunth, *Jacaranda mimosifolia* D. Don y *Pithecoctenium crucigerum* (L.) A. H. Gentry y Cucurbitaceae y Poaceae con dos especies (*Cucumis melo* L., *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl. y *Guadua angustifolia* Kunth, *Zea mays* L. respectivamente) (Tabla 1).

Los artesanos entrevistados utilizan RFNM principalmente de las familias, Bignoniaceae, (28.94%), Asparagaceae (15.78%) y Fabaceae, Cucurbitaceae y Poaceae (10.26%). En particular de las Bignoniaceas, la especie *Crescentia alata* conocida como “coatecomate, cuatecomate o cirian”, es uno de los recursos forestales más utilizados en la población, elaborando con sus frutos tanto instrumentos musicales (sonajas o maracas) como jícaras decoradas. Olivares-Pérez *et al.*, (2018) y Solares (2004), mencionan la importancia de *Crescentia alata* como recurso forestal en la selva baja caducifolia en la economía de las poblaciones, y que puede llegar hacer un recurso con una alta potencialidad forestal. De igual manera, Ordoñez y Ferrufino-Acosta (2020) y Castro *et al.*, (2018), mencionan la importancia de esta especie en la elaboración de artesanías en Honduras y Venezuela.

Tabla 1. Recursos forestales no maderables utilizados en la elaboración de artesanías en Malinalco.

Nombre científico	Nombre común	Familia	Hábito	Parte usada	Lugar de obtención	Artesanía
<i>Agave</i> sp.	Arbolito Maguey.	Asparagaceae	Herbáceo/ arbustivo	Escapo y espinas de las hojas.	S.B.C. y H.F.	Adornos (colibrí, arbolitos de Malinalco)
<i>Caesalpinia</i> sp.		Fabaceae	Arborea	Fruto, semillas	S.B.C. y jardines	Aretes y flores
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Espinas de pochote	Malvaceae	Arborea	Espinas	S.B.C.	Adornos (pirámides)
<i>Guadua angustifolia</i> Kunth	Bambú, carroso de bambú	Poaceae	Herbáceo	Tronco	S.B.C. y H.F.	Instrumento musicales y popotes.
<i>Coffea arabica</i> L.	Café	Rubiaceae	Arbustiva	Semillas	H.F.	Aretes
<i>Crescentia alata</i> Kunth	Cuatecomate	Bignoniaceae	Arborea	Frutos	S.B.C. y H. F	Instrumentos musicales y jícaras para agua
<i>Cucumis melo</i> L.	Semilla de melón	Cucurbitaceae	Herbáceo	Semillas	H.F.	Aretes
<i>Erythrina coralloides</i> Moc. & Sessé ex DC.	Colorín	Fabaceae	Arborea	Semillas	S.B.C.	Aretes, collares y pulseras
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Jacaranda	Bignoniaceae	Arborea	Frutos	S.B.C y Bosque de pinos	Adornos, cortinas, lámparas, pulseras y exhibidores de joyería
<i>Lagenaria siceraria</i> (Molina) Standl.	Guaje o bule	Cucurbitaceae	Enredadera	Frutos	S.B.C. y H.F.	bules para agua
<i>Leonotis leonurus</i> (L.) R.Br.	Espolón del diablo	Lamiaceae	Herbáceo	Flores	S.B.C.	Flores
<i>Mucuna mutisiana</i> (Kunth) DC.	Ojo de gato o de venado	Fabaceae	Arborea	Semillas	H.F. y Bosque	Collares, adornos
<i>Opuntia</i> sp.	Nopal	Cactaceae	Herbáceo	Cladodios secos	S.B.C. y H.F.	Adornos (colibrí)
<i>Pinus</i> sp.	Piñas de ocote	Pinaceae	Arborea	Conos	Bosques de pinos	Instrumentos musicales y adornos
<i>Pithecoctenium crucigerum</i> (L.) A. H. Gentry	Lengua de Vaca	Bignoniaceae	Arborea	Frutos y semillas	S.B.C.	Flores, adornos y exhibidores de joyería
<i>Rhynchosia precatoria</i> DC.		Fabaceae	Herbáceo	Semillas	S.B.C.	Adornos y resorterías
<i>Thevetia peruviana</i> (Pers.) K. Schum.	Ayoyote	Apocynaceae	Arborea	Frutos	S.B.C.	Instrumentos musicales
<i>Trichilia hirta</i> L.		Meliaceae	Arborea	Frutos	S.B.C.	Flores, adornos
<i>Zea mays</i> L.	Olotos, hojas de maíz	Poaceae	Herbáceo	Frutos, brácteas	Milpa	Adornos

Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

Nota: H.F. (Huerto familiar), S.B.C. (selva baja caducifolia).

Respecto a la *Jacaranda mimosifolia* (jacaranda) esta especie es de origen sudamericano, tiene gran utilidad como árbol ornamental en las poblaciones por sus vistosas flores moradas (Aparicio *et al.*, 2022). Su fruto es una capsula leñosa con dehiscencia valvar, son muy utilizadas para la realización de artesanías. Toribio y Noris (2009) y Ordoñez y Ferrufino-Acosta (2020) señalan la utilidad de estos frutos en la elaboración de aretes o dijes. En la comunidad de Malinalco son elaboradas, aparte de aretes, cortinas, alas de colibríes y lámparas.

Asimismo, dentro de la familia Bignoniaceae la especie *Pithecoctenium crucigerum*, conocida en Malinalco como “lengua de vaca”, posee grandes cápsulas oblongas con dos valvas que se utilizan como exhibidores para aretes, así como semillas que tienen un ala hialina, son utilizadas para la elaboración de flores (Fig. 2).

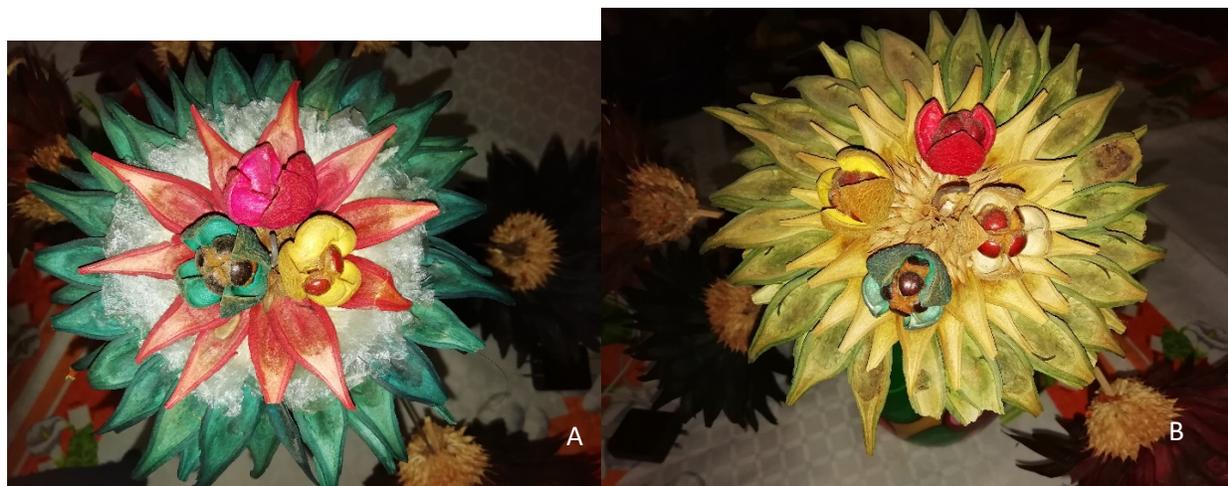


Fig. 2. Flores elaboradas con recursos forestales no maderables. A) *Caesalpinia* sp., *Pithecoctenium crucigerum* (L.) A. H. Gentry y *Trichilia hirta* L. B) *Caesalpinia* sp., *Trichilia hirta* L. y *Leonotis leonurus* (L.) R.Br.
Foto White-Olascoaga.

Otra de las familias con un elevado uso artesanal en la comunidad es Asparagaceae, particularmente el género *Agave* sp. Este género es el que mejor representa los recursos forestales no maderables en la comunidad favorecido por su belleza en las artesanías, y versatilidad para el uso de toda la planta. Este agave es utilizado en la elaboración de mezcal (Gallardo, 2017; García-Aguilar, 2017) y su escapo, frutos y espinas de las hojas para la elaboración de artesanías. Según el relato del artesano Yolando “las artesanías realizadas con la inflorescencia del maguey es una de las más conocidas en la zona y es llamada “Los arbolitos de Malinalco” (Fig. 3).



Fig. 3. “Arbolitos” elaborados con el escapo de varias especies de *Agave* spp. Foto Michua-Hernández.

En cuanto a las formas de vida, de los 19 taxa utilizados, el 52.63% fueron árboles y el 42.10% herbáceas. Martínez (2006) y Feuillet *et al.*, (2011) coinciden en que los árboles son los recursos más utilizados para la elaboración de artesanías, sin embargo, la mayor diversidad de usos no proviene de la madera. Los frutos e inflorescencias, así como las semillas son los recursos no maderables con mayor presencia en la elaboración de artesanías, 47 % y 16% respectivamente. Lo cual es evidenciado por el uso de recursos de la familia Pinaceae, en los bosques de pinos, en la Selva Baja Caducifolia con familias como Meliaceae y Bignoniaceae, y en los huertos familiares con las familias Fabaceae y Myrtaceae (CONAFORT, 2009; CONABIO, 2021); siendo esto últimos donde mayormente se obtienen de los recursos para la elaboración de las artesanías selva baja caducifolia 58% y huertos familiares 19% bosque de pinos 8% principalmente.

Finalmente, el 37% de las artesanías elaboradas con recursos forestales no maderables son los adornos, en donde podemos encontrar flores, cortinas, lámparas, así como los denominados “arbolitos” y los bules de agua hechos con *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl., los cuales dejaron de tener una utilidad de reservorios de agua y pasaron hacer artesanías decorativas.

Los resultados son evidencia contundente de que los productos forestales no maderables constituyen una colección de recursos biológicos que incluye una gran variedad de beneficios, no sólo la obtención de alimentos, aceites esenciales o resinas, entre otros. También la elaboración de etnoartesanías, que preservan el patrimonio biocultural del país y dan muestra tangible de los usos, manejo y conocimiento de los recursos en su entorno natural (Tapia-Tapia y Reyes-Chilpa, 2008).

CONCLUSIONES

En la presente investigación, se obtuvieron 11 diferentes etnoartesánias elaboradas con RFMN por los artesanos de la comunidad de Malinalco, con una diversidad de 15 especies, 19 géneros y 12 familias.

Las familias mejor representadas fueron Fabaceae (4 especies) y Bignoniaceae (3 especies); mientras que los artesanos utilizan principalmente recursos de las familias Bignoniaceae (28.94%) y Asparagaceae (15.78%). Las especies más representativas utilizadas fueron *Agave* sp., *Crescentia alata* y *Jacaranda mimosifolia*, utilizándose principalmente los frutos (46.34%).

LITERATURA CITADA

- Anastasio-Martínez, N. D., Franco-Maass, S., Valtierra-Pacheco, E. y Nava-Bernal, G. (2017). Aprovechamiento de productos forestales no maderables en los bosques de montaña alta, centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 7* (37): 21-38.
- Aparicio, X. F. Bivián, E. Y. C., Martínez, C. E. (2022). La flor de jacaranda: más allá de su uso ornamental. *Revista Digital Universitaria* 23(3) 1-9.
- Beutelspacher, C.B. (2009). Semillas utilizadas para elaborar artesánias lacandonas en Chipas, México *Lacandonia, Rev. Ciencias UNICACH* 3(2) 45-58.
- Bustos, F. C. (2009). La producción artesanal. *Visión Gerencial*, (1):37-52. [fecha de Consulta 8 de junio de 2022]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=465545880009>
- Cadena-Vargas, C., Diazgranados-Cadelo, M. y Bernal-Malagón, H. (2007). Plantas útiles para la elaboración de artesánias de la comunidad indígena Monifue Amena (Amazonas, Colombia). *Universitas Scientiarum Edición especial* 12(1) 97-116.
- Camarillo C., A. Y., León- Merino, A., Sangerman-Jarquín, D. M., Hernández-Juárez, M., y Zamora-Martínez, M. C. (2020). Aspectos socioeconómicos del aprovechamiento del bambú en una comunidad rural de Veracruz, México. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 11(62). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.81>
- Castro, M., Lastres, M., Ruiz-Zapata, T., Magallanes, A. y Araujo, E. (2018). Plantas utilizadas para la elaboración de artesánias en comunidades costeras de Venezuela. *Polibotanica*. 46: 305-325.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2021). <https://www.biodiversidad.gob.mx/>
- CONAFORT (Consejo Nacional Forestal). (2018). Catálogo de recursos forestales maderables y no maderables. https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Catalogo_de_recursos_forestales_M_y_N.pdf
- Correa, G.L.A., González, A. R. (2016). El sector artesanal en México y el combate contra la pobreza. *Revista de Turismo, Economía y Negocios Transitaré*. 2(2) 233-250.
- del Carpio-Ovando, P. S., & Freitag, V. (2013). Motivos para seguir haciendo artesánias en México: convergencias y diferencias del contexto artesanal de Chiapas y Jalisco. *Ra Ximhai*, 9(1),79-98. ISSN: 1665-0441. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46127074008>
- FAO. (2010). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2010*. Documento de trabajo 144/S (www.fao.org/forestry/es).
- Feuillet, H. C., Macias, P. D., y Chito, C. E. (2011). Plantas útiles para la elaboración de artesánias en el departamento del Cauca (Colombia). *Bol. Cient. Mus. His. Nat. Vol. 15*(2): 40-59.
- FONART Fondo Nacional para el Fomento de las Artesanía (2009). Artesánias y medio ambiente <https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/ArtesaniayMedioAmb.pdf>
- Gallardo, V. J. (2017). Breviario mezcalero. CONACYT, Red temática mexicana Aprovechamiento integral sustentable y biotecnológico de los Agaves. 198pp.

- García-Aguilar, M. G., (2017). Importancia sociocultural del proceso productivo del mezcal en el ejido de San Pedro Chichiasco, Malinalco, México. *Análisis del medio rural. Economía*. 67: 119-137.
- García, B.C. (2000, 18 de enero) Discriminación y racismo, la herida del sector artesanal. *El financiero*, 48-49.
- INEGI (Instituto de Estadística y Geografía). (2009). <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2009/>
- Lara-Vázquez, F., Romero-Contreras, A. T., y Burrrola-Aguilar, C. (2013). Conocimiento Tradicional sobre los hongos silvestres en la comunidad Otomí de San Pedro Arriba, Temoaya, Estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo. Vol 19(3)*: 305-333.
- López, C. R. (2008). Productos Forestales No Maderables: Importancia e impacto de su aprovechamiento. *Revista Colombia Forestal Vol. 11*: 215-231.
- Olivares-Pérez, J.; S. Rojas-Hernández, F. Quiroz-Cardozo, L.M. Camacho-Díaz, M. Cipriano-Salazar, M.A. Damián-Valdez, B. Ávila-Morales, y A. Villa-Mancera. (2018). Diagnóstico de los usos, la distribución y características dasométricas del árbol cirrián (*Crescentia alata* Kunth) en el municipio de pungarabato, Guerrero, México. Núm. 45: 191-20 DOI: 10.18387/polibotanica.45.14 4
- Ordoñez, J.L. y Ferrufino-Acosta, L. (2020). Nota Científica: Especies vegetales usadas para la bisutería en Honduras. *Revista Etnobotánica 18(1)* 59-64.
- Martínez L. J., Acosta R., A., Martínez y Ojeda E. y Manzano M. F. (2017). Recursos Forestales No Maderables En Dos Comunidades Zapotecas De La Sierra Juárez De Oaxaca. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales 7 (35)*. México, ME:037-052. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i35.73>.
- Martínez, Q. E. (2006). Plantas utilizadas en la artesanía popular en el municipio Santiago de Cuba, Cuba. *Polibotanica*. 21: 103-121.
- Murillo, V., Hernández, S. y Sánchez, P. (2017). Artesanos de Malinalco. Un acercamiento a sus prácticas comerciales y sociales. Diseño de la investigación en comunicación. *Universidad iberoamericana*. <https://difusoribero.com/2017/12/14/artesanos-de-malinalco-un-acercamiento-a-sus-practicas-comerciales-y-sociales/>
- Riva, D. R. (2018). La artesanía: patrimonio e identidad cultural. *Revista de Museografía KOOT*. 8(9). 80-96.
- Rivera, C.L., Alberti, M. P., Vázquez, G. V. y Mendoza, O.M. (2008). La artesanía como producción cultural susceptible de ser atractivo turístico en Santa Catarina del Monte, Texcoco. *Revista de ciencias Sociales Convergencia* 46: 225-247.
- Robles, M. (2007). *Manual de diferenciación entre artesanía y manualidad*. FONART. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/107963/Manual_diferenciacion_artesania_manualidad_2015.pdf
- Solares, A. F. (2004). Etnobotánica y usos potenciales del Cirián (*Crescentia alata*, H.B.K.) en el estado de Morelos *Polibotánica*, núm. 18, diciembre, 2004, pp. 13-31
- Sales, H. F. J. (Ed.). (2013). Las Artesanías en México. Situación actual y retos. *Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública*. 144pp.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Recursos Forestales No Maderables de México*, disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/recursos-forestales-no-maderables-de-mexico?idiom=es> [consultado el 8 de junio del 2022
- Tapia-Tapia, E.C. y Reyes-Chilpa, R. (2008). Productos forestales no maderables en México: Aspectos económicos para el desarrollo sustentable. *Madera y Bosques*. 14(3). 95-112.
- Toribio, A., Noris, K. (2009). Semillas y frutos de uso artesanal en Panamá. Instituto Nacional de Biodiversidad, INBio, 108 pp.
- Trueba-Sánchez, S. (2005). *Plantas tintoreras de Soledad Atzompa*, Veracruz, México.
- Valverde, M. y Jasso, P. (2018). Malinalco, Estado de México: Las voces de la otra verdad. Investigadora titular de la Facultad de Arquitectura de la UNAM.

Recibido:
18/octubre/2022

Aceptado:
31/enero/2023

- Vázquez G. L. M. y Munguía L. G. (2015). Fibras vegetales y las artesanías en el Estado de México. 1ª ed.- Toluca, Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México, 2015
- Victoria M. J. D., White-Olascoaga, L., Chávez Mejía, C., y Moctezuma Pérez, S. (2023). Antropofagia en la comunidad otomí San Pedro Arriba, Temoaya, Estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 19(4). <https://doi.org/10.22231/asyd.v19i4.1411>
- White-Olascoaga, L., Juan-Pérez, J.I., Chávez-Mejía, C. y Gutiérrez-Cedillo, J.G. (2013). Flora medicinal en San Nicolás. Municipio de Malinalco Estado de México. *Polibotánica* 35: 173-206.
- Wong, L. G., Thornber, K. y Baker N. (2001). *Evaluación de los recursos de productos forestales no madereros. Experiencias y principios biométricos*. FAO #13 Pp. 124.

RESPUESTA EN EL SISTEMA DE DEFENSA ANTIOXIDANTE DE *Leersia hexandra* Sw. A LA EXPOSICIÓN DE HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO

RESPONSE IN THE ANTIOXIDANT DEFENSE SYSTEM OF *Leersia hexandra* Sw. TO THE EXPOSURE OF PETROLEUM HYDROCARBONS

Orocio-Carrillo, J.A.; M.C. Rivera-Cruz, A. Juárez-Maldonado, C.C. Bautista-Muñoz, Y. González-García y K. Chávez-Álvarez

RESPUESTA EN EL SISTEMA DE DEFENSA ANTIOXIDANTE DE *Leersia hexandra* Sw. A LA EXPOSICIÓN DE HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO

RESPONSE IN THE ANTIOXIDANT DEFENSE SYSTEM OF *Leersia hexandra* Sw. TO THE EXPOSURE OF PETROLEUM HYDROCARBONS



Respuesta en el sistema de defensa antioxidante de *Leersia hexandra* Sw. a la exposición de hidrocarburos del petróleo

Response in the antioxidant defense system of *Leersia hexandra* Sw. to the exposure of petroleum hydrocarbons

Orocio-Carrillo, J.A.;
M.C. Rivera-Cruz,
A. Juárez-Maldonado,
C.C. Bautista-Muñoz,
Y. González-García
y K. Chávez-Álvarez

RESPUESTA EN EL
SISTEMA DE DEFENSA
ANTIOXIDANTE DE *Leersia*
hexandra Sw. A LA
EXPOSICIÓN DE
HIDROCARBUROS DEL
PETRÓLEO.

RESPONSE IN THE
ANTIOXIDANT DEFENSE
SYSTEM OF *Leersia hexandra*
Sw. TO THE EXPOSURE OF
PETROLEUM
HYDROCARBONS


Instituto Politécnico Nacional

Núm. 55: 245-262. Enero 2023

DOI:
10.18387/polibotanica.55.16

J.A. Orocio-Carrillo / orocio.alberto@colpos.mx

M.C. Rivera-Cruz

Colegio de Postgraduados Campus Tabasco.

Programa de Doctorado en Ciencias Agrícolas en el Trópico

Periférico Carlos A. Molina, Km 3.5. H. Cárdenas, Tabasco, México. CP 86500.

A. Juárez-Maldonado

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Botánica. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, CP 25315 Saltillo, Coahuila, México.

C.C. Bautista-Muñoz

Colegio de Postgraduados Campus Tabasco.

Laboratorio de biotecnología

Periférico Carlos A. Molina, Km 3.5. H. Cárdenas, Tabasco, México. CP 86500.

Y. González-García

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Botánica. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, CP 25315 Saltillo, Coahuila, México.

K. Chávez-Álvarez

Colegio de Postgraduados Campus Tabasco.

Programa de Doctorado en Ciencias Agrícolas en el Trópico

Periférico Carlos A. Molina, Km 3.5. H. Cárdenas, Tabasco, México. CP 86500.

RESUMEN: El presente estudio se realizó para conocer el impacto de la toxicidad del hidrocarburo del petróleo en el crecimiento, producción de biomasa fresca, pigmentos fotosintéticos y respuesta antioxidante en *Leersia hexandra* al día 180. Se realizó un diseño experimental completamente al azar en condiciones semicontroladas en microtúnel, con cuatro tratamientos y cuatro replicas por tratamiento. Las concentraciones fueron: 0 (control), 30, 60 y 90 g kg⁻¹ de hidrocarburos totales del petróleo (HTP). Los resultados mostraron que las concentraciones de HTP en el suelo afectaron significativamente el crecimiento al reducir la altura ($r = -0.940^{**}$), longitud de raíz primaria ($r = -0.961^{**}$) y producción de materia fresca aérea ($r = -0.901^{**}$), sin embargo, indujeron un aumento significativo en el número de retoños en el macollo ($r = 0.970^{**}$), número de raíces primarias ($r = 0.995^{**}$), producción de materia fresca radical ($r = 0.882^{**}$), contenido de pigmentos fotosintéticos y proteína total (PrT) ($r = 0.716^{**}$). Cuando *L. hexandra* se ve expuesta a dosis altas de HTP (60 y 90 g kg⁻¹) no muestra evidencia de estrés oxidativo debido a que el contenido de H₂O₂ en estas concentraciones fueron estadísticamente igual al control, esto pudiera estar relacionado a la relación positiva que tiene con los fenoles totales ($r = 0.525^*$) por consecuencia de la contaminación del suelo por petróleo.

Palabras clave: petróleo, pasto, especies reactivas de oxígeno, crecimiento, pigmentos fotosintéticos.

ABSTRACT: This study was conducted to assess the impact of petroleum hydrocarbon toxicity on growth, fresh biomass production, photosynthetic pigments

and antioxidant response in *Leersia hexandra* after 180 days. A completely randomized experimental design was performed under semi-controlled conditions in a micro-tunnel, with four treatments and four replicates per treatment. The concentrations were: 0 (control), 30, 60 and 90 g kg⁻¹ of total petroleum hydrocarbons (TPH). The results showed that TPH concentrations in the soil affected growth by reducing height ($r = -0.940^{**}$), primary root length ($r = -0.961^{**}$) and aerial fresh matter production ($r = -0.901^{**}$), however, they induced an increase in the number of shoots in the tiller ($r = 0.970^{**}$), number of primary roots ($r = 0.995^{**}$), production of fresh root matter ($r = 0.882^{**}$), content of photosynthetic pigments and total proteins (TPr) ($r = 0.716^{**}$). When *L. hexandra* is exposed to high doses of HTP (60 and 90 g kg⁻¹) it does not show evidence of oxidative stress because the H₂O₂ content in these concentrations were statistically equal to the control, this could be related to the relationship positive that it has with total phenols ($r = 0.525^*$) because of soil contamination by oil.

Key words: petroleum, grass, reactive oxygen species, growth, photo-synthetic pigments.

INTRODUCCIÓN

El petróleo es actualmente la principal fuente de energía del mundo y se espera que su demanda aumente en los próximos años (Janzen & Teresinha, 2018). El petróleo consiste en diversas proporciones de carbono e hidrógeno. Sin embargo, también contiene nitrógeno, azufre y oxígeno en cierta cantidad (Chandra *et al.*, 2013; Varjani, 2017). El petróleo es esencial para las actividades humanas tales como fuente de alimentación, calefacción y vehículos. Sin embargo, su intensa explotación conlleva un incremento en el número de accidentes ambientales, como derrames y fugas que ocurren durante la exploración, producción, transporte y almacenamiento de combustible, liberándose al medio ambiente (Aislable *et al.*, 2006; Janzen & Teresinha, 2018) y provoca la contaminación del agua y suelo la cual afecta directamente a la flora y la fauna. En México, de 2018 a 2021 Petróleos Mexicanos registra 176 emergencias ambientales, de las cuales 156 fueron provocadas por derrames derivados de hidrocarburos y 20 por fugas de gas, donde Tabasco y Veracruz concentran el 63% de los desastres (Ramírez, 2022). En el suelo, el petróleo forma una capa hidrofóbica, e induce la fragmentación de los agregados; de igual forma, causan la inhibición de la germinación, el brote de meristemas, así como la disminución de la elongación radicular y la fotosíntesis en las plantas (Díaz-Martínez *et al.*, 2013; Eze *et al.*, 2020; Petenello & Feldman, 2012), estos efectos en las plantas podrían deberse a la alteración en la producción de ERO ocasionada por la contaminación por petróleo lo cual induce estrés oxidativo en las células vegetales (Hasanuzzaman *et al.*, 2020; Nardeli *et al.*, 2016). Las ERO son formas reducidas de oxígeno atmosférico y se producen en el metabolismo normal celular de las plantas (Mittler, 2017; Sarma *et al.*, 2012). Cuando el nivel de ERO es moderado funcionan como moléculas de señalización (Singh *et al.*, 2019) involucradas en el control del crecimiento y desarrollo de las plantas expuestas al estrés biótico y abiótico, lo que permite la adaptación y aclimatación de las plantas a su ambiente y la muerte celular programada (del Río, 2015; Mhamdi & van Breusegem, 2018). Sin embargo, varios estreses ambientales entre ellos la contaminación conducen a un exceso de ERO afectando una gran variedad de funciones celulares, fisiológicas y bioquímicas de las plantas hasta que se produce la muerte celular (Huang *et al.*, 2019; Zainab *et al.*, 2021). Las ERO se eliminan mediante la actividad de antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos las cuales trabajan en conjunto para prevenir o minimizar el daño oxidativo causado por las ERO en las células vegetales (del Río, 2015; Huang *et al.*, 2019; Xie *et al.*, 2019).

Leersia hexandra es un pasto forrajero con un alto contenido de proteína cruda y bajo contenido de fibra, la cual es altamente consumida por los bovinos. Esta especie habita lugares húmedos de regiones tropicales y subtropicales, frecuentemente cubiertos de agua (CABI, 2019; Vegetti, 2002). Este pasto desplaza otras especies vegetales establecidas en humedales en el estado de Tabasco, México, contaminados con hidrocarburos del petróleo intemperizado (Rivera-Cruz, 2011). Estudios han informado sobre el potencial de *L. hexandra* para adaptarse a suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo (Arias-Trinidad *et al.*, 2017; Orocio-Carrillo *et*

al., 2019; Rivera-Cruz *et al.*, 2016), sin embargo, se desconoce su respuesta en los compuestos antioxidantes que la hacen capaz de controlar eficazmente el nivel celular de ERO ocasionado por la presencia del petróleo. Por lo tanto, el presente estudio se desarrolló con el objetivo de determinar la respuesta en crecimiento, producción de materia fresca aérea y radical, concentración de pigmentos fotosintéticos y compuestos antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos de *Leersia hexandra* expuesta a diferentes dosis de petróleo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de suelo y cultivo de plántulas

Se estableció un bioensayo durante 180 días bajo condiciones semicontroladas en microtúnel. La colecta de suelo caracterizado como tipo Gleysol a partir del horizonte superficial (0-30 cm) se realizó en el Ejido Blasillo 2da Sección, Huimanguillo, Tabasco. El suelo se secó bajo sombra, se molió y se tamizó con malla de 0.5 cm de abertura. Las propiedades del suelo no contaminado fueron: pH moderadamente ácido (5.5), conductividad eléctrica de 943 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y contenido muy alto de materia orgánica (20.7 %) (Walkley & Black, 1934).

Los rizomas del pasto *Leersia hexandra* se colectaron en un sitio contaminado por derrames crónicos de petróleo desde hace 50 años (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2016) en el Ejido José Narciso Roviroso, a dos kilómetros al suroeste del Complejo Procesador de Gas la Venta, Huimanguillo, Tabasco. El suelo donde se encuentra el pasto es caracterizado como Gleysol (Rivera-Cruz *et al.*, 2016). Se seleccionaron vástagos con yemas maduras, posteriormente se colectaron en charolas para su traslado al microtúnel. De los tallos maduros se cortaron estolones de 5 cm de longitud con raíces, los estolones se sembraron en charolas de plástico con capacidad de 200 plántulas, con suelo Gleysol tamizado en malla 10 (2 mm de diámetro). A los 30 días después de la siembra (dds) crecieron plantas de 19.5 ± 2.3 cm de altura, las cuales se usaron en el bioensayo experimental.

Tratamientos y diseño experimental

El experimento se llevó a cabo con un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro replicas. Los tratamientos consistieron en la aplicación de hidrocarburos del petróleo al suelo en las siguientes concentraciones HTP: 0 (control), 30, 60 y 90 g kg^{-1} . El hidrocarburo fue un petróleo crudo mediano (10.8° API), gravedad específica de 0.84 g cm^{-3} , 56.4, 23.7 y 14 % de fracción alifático, aromática y polares + resinas y asfaltenos, respectivamente. Este se obtuvo del campo petrolero “Cinco Presidentes” La Venta, Tabasco, México (18° 12' 11.8" N y 94° 08' 37.8" O) (Orocio-Carrillo *et al.*, 2019). La unidad experimental consistió en un contenedor de plástico (22 X 19 cm, diámetro y altura) con 2 kg de suelo seco. Los sustratos para los ensayos se prepararon a partir de suelo control, el cual en una charola de aluminio con una espátula se mezcló con petróleo disuelto en 15 mL de diclorometano (99.5 % de pureza marca EMD™) para homogeneizar el suelo. La mezcla se colocó en contenedores de plásticos. En cada unidad experimental de cada tratamiento se trasplantó una planta de *L. hexandra*. El bioensayo se mantuvo durante 180 días a una temperatura promedio de 34 ± 6 °C y humedad a capacidad de campo (32 %) por gravimetría.

Variables de crecimiento y producción

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre el crecimiento del pasto a los 180 dds, se midió la altura de la planta, número de rebrotes en el macollo (NRM), longitud de raíz primaria (LRP) y número de raíces primarias (NRP). Para medir el efecto sobre la producción se evaluó la materia fresca aérea (MFA) y materia fresca radical (MFR). La altura de la planta se midió con una regla graduada desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja central de la planta. El NRM se realizó contando directamente la cantidad de plantas que emergen del macollo de la planta principal. La LRP se midió con una regla graduada en mm desde la base de la raíz hasta la punta del tercio terminal. La MFA se realizó midiendo el peso de tallos y hojas de los

rebrotos y planta principal con la ayuda de una balanza semianalítica (Ohaus, modelo Scout Pro SP202) y la MFR se realizó con similar proceso de MFA.

Análisis bioquímicos

Para los análisis bioquímicos las muestras de hojas se tomaron a los 180 dds, se recogieron cuatro muestras por tratamiento. Se tomó tejido foliar de los rebrotos en el macollo de la plántula las cuales se enjuagaron con agua destilada, posteriormente se secaron al aire. Las muestras se almacenaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un congelador. Se liofilizaron en un liofilizador (Yamato Scientific Co. Ltd., Modelo D401, Santa Clara, CA, EE. UU) a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 120 h, se molieron con un mortero de porcelana hasta obtener un polvo fino y se almacenaron hasta su posterior análisis.

Determinación de pigmentos fotosintéticos

El contenido de pigmentos fotosintéticos (clorofila *a*, clorofila *b* y clorofila total) ($\text{mg } 100\text{ g}^{-1}$ de peso seco (PS)) se determinaron siguiendo el método de Nagata & Yamashita (1992). Para esto se mezcló 0.1 g de tejido vegetal fresca liofilizada con 20 mL de solución hexano: acetona (3:2, v: v). Se centrifugó la suspensión (12500 rpm) durante 10 min a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se tomó una alícuota del sobrenadante para la lectura en un espectrofotómetro UV-Vis (Espectrofotómetro UNICO Modelo UV2150, Dayton, NJ, EE. UU) a valores de absorbancia de 453, 505, 645 y 663 nm. La clorofila total es la suma de Chl *a* y Chl *b*.

Determinación de compuestos antioxidantes no enzimáticos

Los compuestos antioxidantes no enzimáticos se determinaron según técnicas estándar. El contenido de β -caroteno ($\text{mg } 100\text{ g}^{-1}$ PS) se determinó según el método de Nagata & Yamashita (1992). Se tomó la lectura a una absorbancia a 453, 505, 645 y 663 nm.

La vitamina C (VC) ($\text{mg } \text{g}^{-1}$ PS) se determinó por el método colorimétrico como lo describe Hung & Yeng (2002), usando 2,6 diclorofenol, 1 g de tejido liofilizado y 1 mL de ácido metafosfórico al 1%.

Los fenoles totales (FT) ($\text{mg } \text{g}^{-1}$ PS) se determinaron con el reactivo Folin-Ciocalteu, como se describe en Cumplido-Nájera *et al.* (2019). La muestra (0.2 g) se extrajo con 1 mL de una solución agua: acetona (1:1). La mezcla se agitó en vortex durante 30 s. En un tubo de ensayo, se agregaron 50 μL del sobrenadante, 200 μL del reactivo Folin-Ciocalteu, 500 μL de carbonato de sodio al 20% (Na_2CO_3) y 5 mL de agua destilada fría, y luego se sometió a vortex durante 30 s. Las muestras se colocaron a baño maría a $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 30 min. Finalmente, la lectura se tomó a una absorbancia de 750 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Espectrofotómetro UNICO Modelo UV2150, Dayton, NJ, EE. UU.) usando celda de cuarzo.

Los flavonoides (FV) ($\text{mg } 100\text{ g}^{-1}$ PS) se evaluaron por el método descrito por Arvouet-Grand *et al.* (1994). Para la extracción, se pesó 100 mg de tejido liofilizado en un tubo de ensayo, a esta se añadió 10 mL de metanol grado reactivo y se agitó durante 30 s, hasta homogeneizar la mezcla. La mezcla se filtró en papel Whatman No. 1. Para la cuantificación se añadieron al tubo de ensayo 2 mL del extracto y 2 mL de solución metanólica de tricloruro de aluminio (AlCl_3) al 2%, se dejó reposar durante 20 min en oscuridad y se tomó la lectura a una longitud de onda de 415 nm en espectrofotómetro UV-Vis (Espectrofotómetro UNICO Modelo UV2150, Dayton, NJ, EUA) usando una celda de cuarzo.

Determinación del contenido de proteína total y enzimas antioxidantes

La cuantificación de los flavonoides (FV) ($\text{mg } \text{g}^{-1}$ PS) se realizó mediante la técnica colorimétrica de Bradford (1976). En una microplaca, se colocó en cada pocillo 5 μL del extracto enzimático y 250 μL de reactivo Bradford, seguidamente la mezcla se incubó durante 10 min a temperatura ambiente ($26\text{ }^{\circ}\text{C}$) y luego se leyeron en el lector de microplacas (Allsheng, modelo AMR-100, Hangzhou, China) a una longitud de onda de 630 nm.

Para determinar enzimas antioxidantes se pesaron por separado 200 mg de hoja liofilizadas y se agregó 20 mg de polivinilpirrolidona. Posteriormente se agregó 1.5 mL de tampón fosfato al 0.1 M con un pH de 7-7.2 y la mezcla se centrifugó a 12500 rpm durante 10 min a 4 °C. El sobrenadante se filtró en filtros de membrana PTFE de 0.45 µm de poro. La actividad de la catalasa (CAT) (EC 1.11.1.6) (U g⁻¹ PrT) se cuantificó por el método espectrofotométrico de Dhindsa *et al.* (1981). La actividad enzimática de fenilalanina amoniaco liasa (PAL) (EC 4.3.1.5) (U g⁻¹ PrT) se determinó de acuerdo con Sykłowska-Baranek *et al.* (2015).

Determinación del contenido de peróxido de hidrógeno

Las concentraciones de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) (µmol g⁻¹ PS) se llevó a cabo de acuerdo con la metodología de Velikova *et al.* (2000) con ligeras modificaciones. Se pesó 25 mg de tejido vegetal liofilizado y se colocaron en un tubo Eppendorf, luego se añadió 1 mL de ácido tricloroacético al 0.1 % frío. La mezcla se sometió a centrifugación a 12000 x g durante 15 min y se tomó 0.5 mL del sobrenadante. Se añadió 0.5 mL de tampón fosfato de potasio 10 mM (pH 7.0) y 1 mL de yoduro de potasio 1M, y se realizó la lectura a una absorbancia de 390 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Espectrofotómetro UNICO Modelo UV2150, Dayton, NJ, EE. UU.).

Análisis estadísticos

A todos los resultados obtenidos se les realizó un análisis de varianza (ANAVA), prueba de comparación múltiples de medias por el método Tukey ($p \leq 0.05$) y correlación bivariada de Pearson usando el software estadístico SAS v.9.1 (SAS, 2005).

RESULTADOS

Crecimiento y producción de *L. hexandra*

La aplicación de las concentraciones de hidrocarburos del petróleo en el suelo mostró efectos estadísticamente significativos sobre el crecimiento y producción de *L. hexandra* (Tabla 1). La altura disminuyó por la adición de HTP. Las aplicaciones de 30, 60 y 90 g kg⁻¹ HTP redujeron la altura en un 19.8, 24.4 y 61.5 %, respectivamente. De la misma forma en la LRP la tendencia decreciente se observa en los mismos tratamientos con la reducción del 16.7, 29.6 y 34.5 %. En NRM la aplicación de HTP indujo un efecto positivo. Se observó un aumento del 92.6, 163 y 300 % cuando se aplicaron 30, 60 y 90 g kg⁻¹ HTP respectivamente. NRP fue estimulado por la adición de las concentraciones de HTP, el mayor incremento se observó con 90 g kg⁻¹ HTP (345.3 %), mientras que los tratamientos con 30 y 60 solo estimuló el NRP en un 96.9 y 264.8 % (Tabla I). La producción de MFA disminuyó por efecto de HTP. Las aplicaciones de 30, 60 y 90 g kg⁻¹ HTP redujeron la MFA en un 20.4, 33 y 44.3 %, respectivamente. Sin embargo, la MFR se estimuló por efecto del petróleo. La MFR aumentó un 193.9 % cuando se expone al tratamiento con 90 g kg⁻¹ HTP, además de incrementos de 126.4 y 172.7 % a exposición de 30 y 60 g kg⁻¹ HTP (Tabla 1).

El efecto del petróleo en la estimulación de NRM, MFR y NRP ($r = 0.970^{**}$, 0.882^{**} , 0.995^{**}) (Tabla 3) fue evidente respecto al suelo sin petróleo; NRM aumenta un 185 %, la producción de MFR un 164.4 % y un 235.9 % en NRP. Sin embargo, disminuye un 35.2, 32.6 y 26.8 % la altura, MFA y la LRP (-0.940^{**} , -0.901^{**} , -0.961^{**}) (Tabla 3) respectivamente.

Tabla 1. Efecto de hidrocarburos del petróleo en suelo sobre la altura, número de retoños en el macollo (NRM), materia fresca aérea (MFA), materia fresca radical (MFR), longitud de raíz primaria (LRP) y número de raíz primaria (NRP) de *L. hexandra* después de 180 días de exposición.

HTP (g kg ⁻¹)	Altura (cm)	NRM	MFA (g)	MFR (g)	LRP (cm)	NRP
0	437.3±10.2a	27± 2.4d	148.3± 2.7a	27.3 ±1.1c	38.8 ± 1.2a	128±6.2d
30	350.9± 6.5b	52± 5.1c	118 ±10.5b	61.8 ±4.4b	32.4 ± 0.6b	252±13.5c
60	330.4±16.3b	71±12.1b	99.4 ±18.4bc	74.5 ±3.4 ab	27.3 ± 0.8c	442± 9.8b
90	168.5±28.6c	108±4.2a	82.6 ±13.9c	80.3 ±15.4a	25.4±1.2c	570±15.5a
HTP						
Sin	437.3a	27b	148.3a	27.3b	38.8a	128b
Con	283.3b	77a	100b	72.2a	28.4b	430a
CV (%)	5.4	10.9	11.4	13.5	3.2	6.9

HTP: Hidrocarburos totales del petróleo. Media ± Error estándar (n=4). Dentro de columna letras diferentes indican que los valores son estadísticamente diferentes (Tukey, ≤ 0.05).

Pigmentos fotosintéticos

Los resultados de contenido de pigmentos fotosintéticos en *L. hexandra* expuesta a hidrocarburos del petróleo presentaron variaciones significativas entre tratamientos (Tabla 2). La clorofila *a* aumentó 61.3 y 52.3% cuando se expone en suelos contaminados con 30 y 60 g kg⁻¹ HTP respectivamente, además de un 43.5 % cuando se expone a 90 g kg⁻¹ HTP, aunque este incremento estadísticamente no se diferenció del control. La clorofila *b* aumentó un 57.5 y 47.9 % con la exposición a 30 y 60 g kg⁻¹ HTP, en dosis de 90 g kg⁻¹ HTP la respuesta fue estadísticamente igual al control. En cuanto a clorofila total una tendencia creciente se observa en los mismos tratamientos que clorofila *a* y *b*, el tratamiento con 30 g kg⁻¹ HTP indujo un aumento del 60.1 %, mientras que la concentración con 60 g kg⁻¹ HTP mostró un aumento del 51 %, con respecto a 90 g kg⁻¹ HTP la respuesta no fue estadísticamente diferente al control. Con relación al contenido de β-caroteno aumentó por efecto del petróleo (r = 0.843**) (Tabla 3) un 77.8 y 107.8 % en suelos con 60 y 90 g kg⁻¹ HTP, respectivamente, además de un 47.8 % con la aplicación de 30 g kg⁻¹ HTP (Tabla 2). Los pigmentos fotosintéticos fueron afectados positivamente por el suelo con petróleo fresco; con un aumento del 52.3, 47.9, 51 y 77.8 % en clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total y β-caroteno respectivamente.

Tabla 2. Efecto de hidrocarburos del petróleo en suelo sobre los pigmentos fotosintéticos de *L. hexandra* después de 180 días de exposición.

HTP (g kg ⁻¹)	Pigmentos fotosintéticos (mg 100 g ⁻¹ PS)			
	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila total	β-caroteno
0	13.3 ± 1.04b	5.7 ± 0.7b	19.0 ± 1.8b	12.44 ± 1.3b
30	21.5 ± 4a	9 ± 1.5a	30.5 ± 5.5a	18.39 ± 5.3ab
60	20.3 ± 2.8a	8.4 ± 1.1a	28.7 ± 3.9a	22.12 ± 1.5a
90	19.1 ± 2.8ab	7.9 ± 1.2ab	27 ± 4ab	25.8 ± 4.3a
HTP				
Sin	13.3b	5.7b	19.0b	12.4b
Con	20.3a	8.4a	28.7a	22.1a
CV (%)	15.5	15.2	15.3	18.1

HTP: hidrocarburos totales del petróleo. Medias ± Error estándar (n=4). Dentro de columna letras diferentes indican que los valores son estadísticamente diferentes (Tukey, ≤ 0.05).

Efecto de los hidrocarburos de petróleo sobre los compuestos antioxidantes no enzimáticos

El contenido de vitamina C en las hojas aumento en un 6.1% con la dosis más baja de HTP (30 g kg⁻¹) respecto al suelo sin HTP, en concentraciones de 60 y 90 g kg⁻¹ HTP la respuesta fue estadísticamente similar al control (Fig. 1a). En cuanto a los fenoles totales se incrementó por la aplicación de la dosis más alta de HTP ($r=0.812^{**}$) (Tabla 3). Hubo una estimulación del 48.5% con el tratamiento más alto (90 g kg⁻¹ HTP), mientras que las concentraciones de 30 y 60 g kg⁻¹ HTP fueron estadísticamente igual al control (Fig. 1b). Los flavonoides en hojas se incrementaron significativamente por efecto de las concentraciones de los HTP ($r=0.678^{**}$) (Tabla 3). Se indujo un aumento de 34.9% tras la exposición a 90 g kg⁻¹ HTP con respecto al control, asimismo, de un incremento del 26.4% en 30 g kg⁻¹ HTP (Fig. 1c), el tratamiento con 60 g kg⁻¹ HTP no se diferenció significativamente del control.

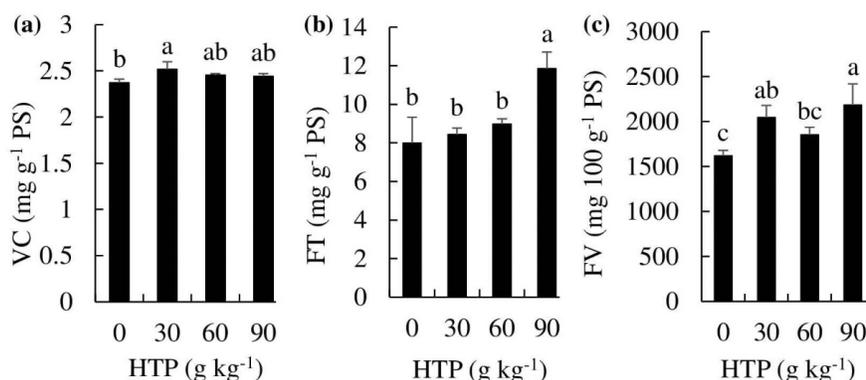


Fig. 1. Compuestos antioxidantes no enzimáticos de VC (a). FT (b) y FV (c) de *L. hexandra* expuesta a hidrocarburos del petróleo. Barras con letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$, $n = 4$).

Efecto de los hidrocarburos del petróleo sobre la proteína total y actividad enzimática

Se observaron diferencias significativas por efecto de los hidrocarburos del petróleo en el contenido de proteína total ($r=0.716^{**}$) (Tabla 3). El contenido aumentó 27.1% cuando se encontró expuesta a 90 g kg⁻¹ HTP, las dosis de 30 y 60 g kg⁻¹ HTP no fueron estadísticamente diferentes al suelo sin HTP (Fig. 2a). Se observaron diferencias significativas en la actividad enzimática en hojas por la exposición de hidrocarburos del petróleo (Fig. 2). Los valores de la catalasa en hojas disminuyeron con el incremento de la concentración de HTP ($r= -0.530^{*}$) (Tabla 3). Cuando la planta fue expuesta a 90 g kg⁻¹ HTP indujo una disminución del 30 % de la actividad de catalasa en comparación con el control, mientras que las concentraciones de 30 y 60 g kg⁻¹ HTP estadísticamente fueron similar al control (Fig. 2b). Por otro lado, la actividad de fenilalanina amoníaco liasa, la mayor disminución (23.4%) se observó en suelo con 30 g kg⁻¹ HTP respecto al control, los tratamientos 60 y 90 g kg⁻¹ HTP no se diferenciaron significativamente del control (Fig. 2c).

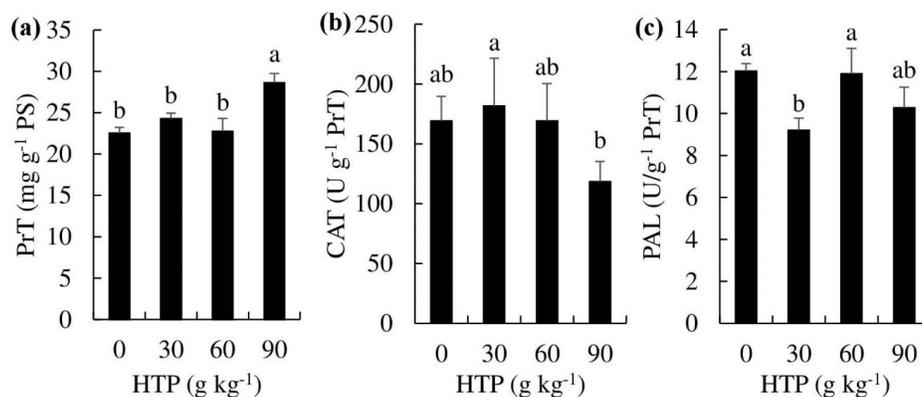


Fig.2. Contenido de proteína total (a), catalasa (b) y fenilalanina amoníaco liasa (c) de *L. hexandra* expuesta a hidrocarburos del petróleo.

Barras con letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$, $n = 4$).

Concentración de H₂O₂

La concentración del H₂O₂ en las hojas se incrementó significativamente ($p \leq 0.05$) por la aplicación de los hidrocarburos del petróleo ($r = 0.507^*$) (Tabla 3). En dosis de 60 y 90 g kg⁻¹ HTP presentaron una estimulación del 13.7 y 15.3% más alto que suelo sin contaminación (0 g kg⁻¹ HTP), aunque este incremento estadísticamente no se diferenció del control (Fig. 3).

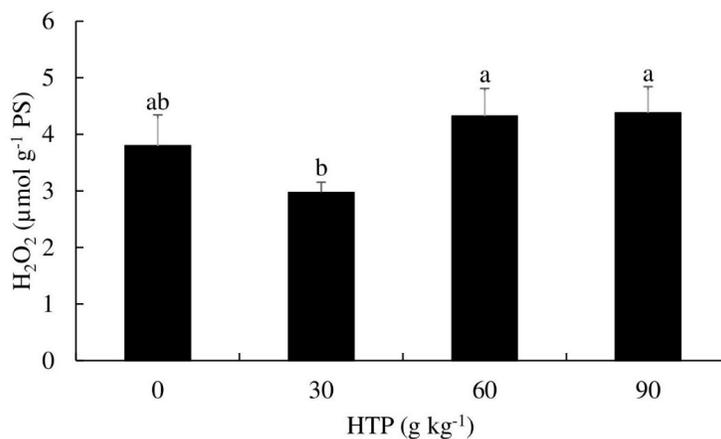


Fig. 3. Concentración de H₂O₂ en hojas de *L. hexandra* expuesta a hidrocarburos del petróleo. Barras con letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$, $n = 4$).

Tabla 3. Correlación de variables.

Parámetro	Altura	NRM	MFA	MFR	LRP	NRP	β -caroteno	FT	FV	PrT	CAT	H ₂ O ₂
HTP	-.0940**	0.970***	-0.901**	0.882**	-0.961**	0.995**	0.843**	0.812**	0.678**	0.716**	-0.530*	0.507*
Altura		-0.968**	0.885**	0.799**	0.841**	0.914**	-0.772**	-0.893**	-0.765**	-0.826**	0.548*	NS
NRM			-0.863**	0.831**	-0.899**	0.958**	0.810**	0.845**	0.706**	0.729**	NS	0.522*
MFA				-0.791**	0.890**	-0.887**	-0.793**	-0.704**	-0.598*	-0.572*	NS	NS
MFR					-0.904**	0.868**	0.674**	0.652**	0.768**	0.557*	NS	NS
LRP						-0.959**	-0.850**	-0.688**	-0.618**	-0.614*	NS	NS
NRP							0.825**	0.779**	0.610*	0.682**	-0.531*	0.539*
β -caroteno								0.587*	0.567*	0.514*	NS	NS
FT									0.625**	0.817**	-0.570*	0.525*
FV										0.640**	NS	NS
PrT											-0.683**	NS
CAT												NS

* Significativo en los niveles $p \leq 0.05$. ** Altamente significativo en los niveles de $p \leq 0.01$. NS: no significativo.

DISCUSIÓN

En las plantas, la contaminación con petróleo fresco en el suelo induce estrés oxidativo, reduce la altura, deformación foliar, inhibición del comportamiento radicular, densidad de tallos, tasa fotosintética y la biomasa, además produce necrosis vegetal por intoxicación de compuestos aromáticos de bajo peso molecular, cuando estos dañan las membranas celulares de las raíces (Cai *et al.*, 2010; Nardeli *et al.*, 2016; Sangeetha & Thangadurai, 2014). Los resultados obtenidos en esta investigación indicaron que el desarrollo de plantas de *L. hexandra* fue impactado negativamente en la altura, LRP y la producción de MFA por la aplicación del petróleo fresco en el suelo. Este efecto también fue reportado por Orocio-Carrillo *et al.* (2019), al evaluar a *L. hexandra* al día 180 la altura y LRP al exponerlo a 238 g kg⁻¹ HTP, causando su inhibición. La reducción de la altura vegetal es una respuesta encontrada por Rivera-Cruz & Trujillo-Narcía (2004), Sangabriel *et al.* (2006) y Cartmill *et al.* (2014) en los pastos *Echinochloa polystachya*, *Brachiaria mutica*, *Panicum maximum* y *Lolium multiflorum* expuestos a altas concentraciones de HTP en condiciones controladas. La reducción observada en longitud radical de planta también está en conformidad con investigaciones realizadas en pastos forrajeros como *Megathyrsus maximus*, *Urochloa brizantha* y *Brachiaria brizantha*, expuestas a estrés por petróleo (Hernández-Valencia *et al.*, 2017; Merkl *et al.*, 2005). Este efecto negativo se atribuye a los altos contenidos de hidrocarburos que modifican la humedad, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, carbón orgánico y los poros del suelo, lo que limita el acceso nutrimental para el crecimiento de la raíz (Adams *et al.*, 2008, 2015; Martínez & López, 2001; Zamora *et al.*, 2012).

Si bien se ha observado un efecto negativo sobre la altura, MFA y LRP, se estimularon otras variables de crecimiento, como el NRM, NRP y la producción de MFR. Esta estimulación posiblemente se asocia a una reacción al estrés en *L. hexandra* inducido por el petróleo la cual probablemente induce la activación de la biosíntesis hormonal como las auxinas, que actúan para promover el desarrollo de los brotes y raíces laterales en las plantas y la biosíntesis de etileno que promueve el aumento del número de raíces (Escaso *et al.*, 2010). Da Silva & Teresinha (2021) mencionan que algunas plantas cuando se encuentran expuestas en ambientes contaminados con aceite, estas pueden desarrollar respuestas a la escasez de agua y oxígeno a las que están sometidas, como cambios en las raíces, tallos y hojas. Estos cambios pueden interpretarse como estrategias desarrolladas por las plantas para tolerar los efectos tóxicos del petróleo.

Esta respuesta de las plantas a la exposición de hidrocarburos del petróleo ha sido reportada por diversos investigadores (Adams *et al.*, 2015; Arias-Trinidad *et al.*, 2017; Orocio-Carrillo *et al.*, 2019) quienes indican que los efectos pueden ser negativos y/o positivos según la concentración de HTP en el suelo, además, debido a que es un suelo con alto contenido de materia orgánica, esta puede absorber toxinas, reduciendo así su biodisponibilidad, por lo tanto, la materia orgánica puede reducir los efectos de los hidrocarburos en las plantas (Pezeshki *et al.*, 2000). Al respecto, este efecto estimulador conforme al incremento de la concentración del petróleo también fue reportada por González-Moscoteo *et al.* (2017) al encontrar un aumento del 76.2 y 85.7 % en el NRM en *L. hexandra* al exponerlo durante 180 días a 60 y 90 g kg⁻¹ HTP. La relación altamente significativa y positiva de MFR con HTP ($r=0.882^{**}$), NRP ($r=0.868^{**}$), β -caroteno ($r=0.674^{**}$), FT ($r=0.652^{**}$) y FV ($r=0.768^{**}$) indica que *L. hexandra* es una planta que, en condiciones de estrés por hidrocarburos de petróleo, mejora su sistema radical y estimula compuestos antioxidantes no enzimáticos para tolerar condiciones ambientales adversas. Da Silva & Teresinha (2021) reportaron que la biomasa de las raíces de *E. polystachya* se vio estimulada por la presencia de petróleo en el suelo a una concentración de 100 g kg⁻¹ durante 60 días en invernadero. Hou *et al.* (2001) encontraron que la biomasa de raíz fresca de *Lolium perenne* L. al ser expuesto después de 120 días a 6.4 g kg⁻¹ HTP solo se vio ligeramente afectada, aunque el crecimiento de los brotes se vio obstaculizado con una disminución del 70.1 % en su biomasa. Tadeo & Gómez-Cadenas (2008) mencionan que al momento de presentarse el estrés se disparan los mecanismos de adaptación necesarios para

hacerle frente. De acuerdo con la intensidad y la duración a la situación de estrés, así como del momento en que desaparece, la planta alcanza un nuevo estado fisiológico óptimo para las condiciones expuestas.

Los resultados mostraron que los contenidos de pigmentos fotosintéticos en *L. hexandra* fueron estimulados por la presencia de HTP en el suelo. Experimentos realizados en condiciones controladas mostraron que la reducción del contenido de pigmentos de las hojas en las plantas es una respuesta clave para detectar el estrés producido por la presencia de los hidrocarburos (Noomen *et al.*, 2006; Noomen & Skidmore, 2009). Esta reducción puede explicarse debido a que los hidrocarburos tienden a acumularse en los cloroplastos, ya que las moléculas del petróleo crudo pueden penetrar a través de las raíces viajando al espacio intracelular y posiblemente al sistema vascular dañándose las membranas celulares, provocando la fuga del contenido celular y la posible entrada del aceite en las células (Baker, 1970). Sin embargo, el estudio actual reveló que las concentraciones de 30 y 60 g kg⁻¹ HTP incrementaron los contenidos de clorofila *a*, *b* y total, asimismo, de un aumento significativo en dosis de 90 g kg⁻¹ HTP de β-caroteno. Estudios han encontrado que pastos plantados en suelos con HTP mostraron diferencias significativas en el contenido de pigmentos fotosintéticos con respecto al control, se mostró la capacidad de la planta para adaptarse al estrés por contaminación de HTP (Da Silva & Teresinha, 2021; González-MoscOSO *et al.*, 2017).

El estudio actual reveló que la contaminación de suelo con 90 g kg⁻¹ de HTP condujo a un aumento de fenoles totales y flavonoides en hoja de *L. hexandra*, resultados similares son reportados por Noori *et al.* (2012) y Skrypnik *et al.* (2021) en *Chrysanthemum leucanthemum* y *Secale cereale* L., expuestas a petróleo en relación con el control. Otros resultados informan incremento de fenoles al estrés por metales pesados (Handa *et al.*, 2018, 2019; Leng *et al.*, 2015; Maslennikov *et al.*, 2018). Este incremento de antioxidantes no enzimáticos, le permite a la planta resistir a factores de estrés (Dangles, 2012; Dehghanian *et al.*, 2022; Naikoo *et al.*, 2019; Sharma *et al.*, 2019) y neutralizar a las ERO, al respecto en esta investigación se encontró relación positiva significativa entre fenoles totales y H₂O₂ (r= 0.525*) (Tabla 3), propiedad que le confiere la posibilidad de ser una planta con propiedades antioxidantes para neutralizar las ERO como ha sido reportado por Radyukina *et al.* (2019) en plantas resistentes al estrés.

El efecto positivo de 90 g kg⁻¹ HTP en la acumulación de PrT en hojas de *L. hexandra* son similares a lo reportado por Orocio-Carrillo *et al.* (2019) al encontrar un aumento de proteína en suelo con 238 g kg⁻¹ HTP, indica que la presencia de HTP estimula la síntesis de aminoácidos y proteínas en las células vegetales, similares resultados reportan Peretiemo-Clarke & Achuba (2007), Al-Hawas *et al.* (2012) y Achuba & Ja-anni (2018) en *Arachis hipogea*, *Simmondsia chinensis* y *Vigna unguiculata* L. en suelo con petróleo crudo. Achuba (2006) menciona que el aumento de esta macromolécula indica estrés metabólico.

La resistencia de las plantas para controlar el nivel y los efectos de las ERO al estrés, está asociada al aumento en la actividad de antioxidantes enzimáticos (Huang *et al.*, 2019; Xie *et al.*, 2019). El estudio reveló disminución de actividad de CAT y PAL en *L. hexandra* en la mayor dosis de HTP (90 g kg⁻¹), similar efecto para CAT fue reportado por Achuba (2014) en *Vigna unguiculata* y *Zea mays* expuesta a queroseno, y Rusin *et al.* (2018) en *Triticum aestivum* L. expuestas a aceite de motor y diésel. La respuesta en PAL fue similar a lo reportado por Chinmayee *et al.* (2014) en *Jatropha curcas* L. y Jańczak-Pieniżek *et al.* (2023) en *Triticum aestivum* L. expuestas a suelo contaminado con metales pesados. Esta disminución de las enzimas antioxidantes cuando la planta se expone a contenido altos de hidrocarburos del petróleo, aun no existen explicación científica, sin embargo, se informa que la baja síntesis de ella limita la protección de la planta a los daños oxidativos ocasionados por las ERO como el H₂O₂, que se incrementan en célula vegetal expuesta a factores ambientales desfavorables (Gill & Tuteja, 2010; Xie *et al.*, 2019).

El estudio actual reveló que la contaminación del suelo a altas concentraciones de HTP no indujo estrés oxidativo debido a que el contenido de H_2O_2 en hojas de *L. hexandra*, no mostraron cambios significativos por altas concentraciones de HTP (60 y 90 g kg^{-1}). Esto permite deducir que *L. hexandra* controla bajo condiciones de estrés la sobreproducción de H_2O_2 incluido en los ERO que causan daños oxidativos a las estructuras celulares cuando las plantas están expuestas a factores ambientales desfavorables (Gill & Tuteja, 2010; Xie *et al.*, 2019). Resultados diferentes fueron reportados por Skrypnik *et al.* (2021), estos autores encontraron aumento en los contenidos de H_2O_2 en los brotes de dos variedades de centeno (Krona y Valdai) cultivadas en suelos contaminado con hidrocarburos del petróleo. Hernández-Ortega *et al.* (2021) reportaron que el estrés inducido por diésel resultó en una mayor producción de H_2O_2 en *Melilotus albus*. Así mismo, hay reportes que indican un aumento de H_2O_2 en plantas expuestas a metales pesados (Ivanishchev & Abramova, 2015; Liu *et al.*, 2015; Martínez-Peñalver *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que la aplicación de HTP en el suelo natural indujo respuestas positivas en *L. hexandra*, estimulándose el número de retoños en el macollo, materia fresca radical, número de raíces primarias, pigmentos fotosintéticos y proteína total. Por el contrario, la elevada concentración de HTP al día 180 causó la disminución significativa de la altura, materia fresca aérea y la longitud de raíz primaria de *L. hexandra*. Esta investigación muestra que *L. hexandra* expuesta a dosis altas de HTP (60 y 90 g kg^{-1}) no induce estrés oxidativo debido a que el contenido de peróxido de hidrógeno en estas concentraciones no fueron estadísticamente diferentes al control, esto pudiera estar relacionado a la relación positiva que tiene con los compuestos fenólicos totales por consecuencia de la contaminación del suelo por petróleo. La estimulación inducida por los HTP al día 180 en parámetros de crecimiento (número de retoños en el macollo y número de raíz primaria), producción (materia fresca radical), pigmentos fotosintéticos y la relación positiva que tiene el peróxido de hidrógeno con los fenoles totales en hojas *L. hexandra*, indican adaptación de *L. hexandra* a condiciones de estrés con 90 g kg^{-1} de HTP.

AGRADECIMIENTOS

Al colegio de Postgraduados Campus Tabasco y a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por el apoyo económico recibido para la adquisición de materiales necesarios durante la investigación. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por la beca No. 813712 otorgada al M.C. José Alberto Orocio Carrillo para realizar su Doctorado en Ciencias Agrícolas en el Trópico del Colegio de Postgraduados, Campus-Tabasco.

LITERATURA CITADA

- Achuba, F. I. (2006). The Effect of Sublethal Concentrations of Crude Oil on the Growth and Metabolism of Cowpea (*Vigna unguiculata*) Seedlings. *Environmentalist*, 26, 17–20. <https://doi.org/10.1007/s10669-006-5354-2>
- Achuba, F. I. (2014). Petroleum Products in Soil Mediated Oxidative Stress in Cowpea (*Vigna unguiculata*) and Maize (*Zea mays*) Seedlings. *Open Journal of Soil Science*, 4(12), 417–435. <https://doi.org/10.4236/ojss.2014.412042>
- Achuba, F. I., & Ja-anni, M. O. (2018). Effect of abattoir waste water on metabolic and antioxidant profiles of cowpea seedlings grown in crude oil contaminated soil. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 7, 59–66. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0190-6>

- Adams, R. H., Álvarez-Ovando, A. L., & Castañón, N. G. (2015). Efecto de la concentración de hidrocarburos sobre la producción del pasto (*Brachiaria humidicola*) en Texistepec, Veracruz. *PHYTON-Revista Internacional de Botánica Experimental*, 84, 222–232.
- Adams, R. H., Zavala-Cruz, J., & Morales-García, F. A. (2008). Concentración residual de hidrocarburos en suelo del trópico. II. Afectación a la fertilidad y su recuperación. *Interciencia*, 33(7), 483–489.
- Aislabie, J., Saul, D. J., & Foght, J. M. (2006). Bioremediation of hydrocarbon-contaminated polar soils. *Extremophiles*, 10, 171–179. <https://doi.org/10.1007/s00792-005-0498-4>
- Al-Hawas, G. H. S., Shukry, W. M., Azzoz, M. M., & Al-Moaik, R. M. S. (2012). The effect of sublethal concentrations of crude oil on the metabolism of Jojoba (*Simmondsia chinensis*) seedlings. *International Research Journal of Plant Science*, 3(4), 54–62.
- Arias-Trinidad, A., Rivera-Cruz, M. C., Roldán-Garrigós, A., Aceves-Navarro, L. A., Quintero-Lizaola, R., & Hernández-Guzmán, J. (2017). Uso de *Leersia hexandra* (Poaceae) en la fitorremediación de suelos contaminados con petróleo fresco e intemperizado. *Revista de Biología Tropical*, 65(1), 21–30.
- Arvouet-Grand, A., Vennat, B., Pourrat, A., & Legret, P. (1994). Standardization of propolis extract and identification of principal constituents. *Journal de Pharmacie de Belgique*, 49(6), 462–468.
- Baker, J. M. (1970). The effects of oils on plants. *Environmental Pollution*, 1(1), 27–44. [https://doi.org/10.1016/0013-9327\(70\)90004-2](https://doi.org/10.1016/0013-9327(70)90004-2)
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72((1-2)), 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- CABI. (2019). *Leersia hexandra (southern cut grass)* | CABI Compendium. Centre for Agricultural Bioscience International. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.30391>
- Cai, Z., Zhou, Q., Peng, S., & Li, K. (2010). Promoted biodegradation and microbiological effects of petroleum hydrocarbons by *Impatiens balsamina* L. with strong endurance. *Journal of Hazardous Materials*, 183(1–3), 731–737. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.07.087>
- Cartmill, A. D., Cartmill, D. L., & Alarcón, A. (2014). Controlled Release Fertilizer Increased Phytoremediation of Petroleum-Contaminated Sandy Soil. *International Journal of Phytoremediation*, 16(3), 285–301. <https://doi.org/10.1080/15226514.2013.773280>
- Chandra, S., Sharma, R., Singh, K., & Sharma, A. (2013). Application of bioremediation technology in the environment contaminated with petroleum hydrocarbon. *Annals of Microbiology*, 63(2), 417–431. <https://doi.org/10.1007/S13213-012-0543-3/TABLES/5>
- Chinmayee, D. M., Anu, M. S., Mahesh, B., Sheeba, A. M., Mini, I., & Swapna, T. S. (2014). A comparative study of heavy metal accumulation and antioxidant responses in *Jatropha curcas* L. *Journal of Environmental Science*, 8(7), 58–67.
- Cumplido-Nájera, C. F., González-Morales, S., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., & Juárez-Maldonado, A. (2019). The application of copper nanoparticles and potassium silicate stimulate the tolerance to *Clavibacter michiganensis* in tomato plants. *Scientia Horticulturae*, 245, 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.007>
- da Silva, C. H., & Teresinha, M. L. (2021). The potential association of *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitchc. with bacterial consortium for petroleum degradation in contaminated soil. *Applied Sciences*, 3, 80. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04070-6>
- Dangles, O. (2012). Antioxidant Activity of Plant Phenols: Chemical Mechanisms and Biological Significance. *Current Organic Chemistry*, 16, 692–714. <https://doi.org/10.2174/138527212799957995>
- Dehghanian, Z., Habibi, K., Dehghanian, M., Aliyar, S., Lajayer, B. A., Astatkie, T., Minkina, T., & Keswani, C. (2022). Reinforcing the bulwark: unravelling the efficient applications of plant phenolics and tannins against environmental stresses. *Heliyon*, 8(3), E09094. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09094>

- del Río, L. A. (2015). ROS and RNS in plant physiology: an overview. *Journal of Experimental Botany*, 66(10), 2827–2837. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv099>
- Dhindsa, R. S., Plumb-Dhindsa, P., & Thorpe, T. A. (1981). Leaf Senescence: Correlated with Increased Levels of Membrane Permeability and Lipid Peroxidation, and Decreased Levels of Superoxide Dismutase and Catalase. *Journal of Experimental Botany*, 32(126), 93–101. <https://doi.org/10.1093/jxb/32.1.93>
- Díaz-Martínez, M. E., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz-Suarez, J. J., & García-Barradas, O. (2013). Crecimiento de *Casuarina equisetifolia* (Casuarinaceae) en suelo con diésel, y aplicación de bioestimulación y bioaumentación. *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1039–1052.
- Escaso, S. F., Martínez-Guitarte, J. L., & Planelló-Carro, M. R. (2010). *Fundamentos básicos de fisiología vegetal y animal*. Pearson Educación, SA, Madrid, España. 264 pp.
- Eze, M. O., Hose, G. C., & George, S. C. (2020). Assessing the Effect of Diesel Fuel on the Seed Viability and Germination of *Medicago sativa* Using the Event-Time Model. *Plants* 2020, Vol. 9, Page 1062, 9(9), 1062. <https://doi.org/10.3390/plants9091062>
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909–930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- González-Moscoso, M., Rivera-Cruz, M. C., Delgadillo-Martínez, J., & Lagunes-Espinosa, L. C. (2017). Growth analysis and plant production of *Leersia hexandra* Swartz in tropic wet mexican in fuction on petroleum and surfactant. *Polibotánica*, 43, 177–196. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.43.8>
- Handa, N., Kohli, S. K., Sharma, A., Thukral, A. K., Bhardwaj, R., Abd Allah, E. F., Alqarawi, A. A., & Ahmad, P. (2019). Selenium modulates dynamics of antioxidative defence expression, photosynthetic attributes and secondary metabolites to mitigate chromium toxicity in *Brassica juncea* L. plants. *Environmental and Experimental Botany*, 161, 180–192. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.11.009>
- Handa, N., Kohli, S. K., Sharma, A., Thukral, A. K., Bhardwaj, R., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., & Ahmad, P. (2018). Selenium ameliorates chromium toxicity through modifications in pigment system, antioxidative capacity, osmotic system, and metal chelators in *Brassica juncea* seedlings. *South African Journal of Botany*, 119, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.SAJB.2018.08.003>
- Hasanuzzaman, M., Borhannuddin Bhuyan, M. H. M., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., al Mahmud, J., Fujita, M., & Fotopoulos, V. (2020). Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense in Plants under Abiotic Stress: Revisiting the Crucial Role of a Universal Defense Regulator. *Antioxidants*, 9, 681. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>
- Hernández-Ortega, H. A., Ferrera-Cerrato, R., López-Delgado, H. A., Sánchez-Rangel, J. C., & Alarcón, A. (2021). Nutrient status, hydrogen peroxide content and peroxidase activity of arbuscular mycorrhizal plants of *Melilotus albus* grown in diesel-contaminated substrate. *Scientia Fungorum*, 51, e1298. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.51.1298>
- Hernández-Valencia, I., Lárez, L. M., & García, J. V. (2017). Evaluación de la toxicidad de un suelo contaminado con diferentes tipos de crudos sobre la germinación de dos pastos tropicales. *Bioagro*, 29(2), 73–82.
- Hou, F. S. L., Milke, M. W., Leung, D. W. M., & MacPherson, D. J. (2001). Variations in Phytoremediation Performance with Diesel-Contaminated Soil. *Environmental Technology*, 22(2), 215–222. <https://doi.org/10.1080/09593332208618301>
- Huang, H., Ullah, F., Dao-Xiu, Z., Yi, M., & Zhao, Y. (2019). Mechanisms of ROS Regulation of Plant Development and Stress Responses. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00800>
- Hung, C. Y., & Yen, G. C. (2002). Antioxidant activity of phenolic compounds isolated from *Mesona procumbens* Hemsl. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 2993–2997. <https://doi.org/10.1021/jf011454y>

- Ivanishchev, V. v, & Abramova, E. A. (2015). Accumulation of nickel ions in seedlings of *Vicia sativa* L. and manifestations of oxidative stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(10), 7897–7905. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4173-8>
- Jańczak-Pieniżek, M., Cichoński, J., Michalik, P., & Chrzanowski, G. (2023). Effect of Heavy Metal Stress on Phenolic Compounds Accumulation in Winter Wheat Plants. *Molecules*, 28, 241. <https://doi.org/10.3390/molecules28010241>
- Janzen, S. J., & Teresinha, M. L. (2018). Rhizospheric microorganisms as a solution for the recovery of soils contaminated by petroleum: A review. *Journal of Environmental Management*, 210, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.015>
- Leng, X., Jia, H., Sun, X., Shangguan, L., Mu, Q., Wang, B., & Fang, J. (2015). Comparative transcriptome analysis of grapevine in response to copper stress. *Scientific Reports*, 5, 17749. <https://doi.org/10.1038/srep17749>
- Liu, J., Shi, X., Qian, M., Zheng, L., Lian, C., Xia, Y., & Shen, Z. (2015). Copper-induced hydrogen peroxide upregulation of a metallothionein gene, OsMT2c, from *Oryza sativa* L. confers copper tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Hazardous Materials*, 294, 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.03.060>
- Martínez, V. E., & López, F. (2001). Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. *Terra Latinoamericana*, 19(1), 9–17.
- Martínez-Peñalver, A., Graña, E., Reigosa, M. J., & Sánchez-Moreiras, A. M. (2012). The early response of *Arabidopsis thaliana* to cadmium- and copper-induced stress. *Environmental and Experimental Botany*, 78, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.12.017>
- Maslennikov, P. v, Chupakhina, G. N., Skrypnik, L. N., Feduraev, P. v, & Melnik, A. S. (2018). The contribution of polyphenols to plant resistance to Pb soil pollution. *International Journal of Environmental Studies*, 75(5), 719–731. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1440816>
- Merkl, N., Schultze-Kraft, R., & Infante, C. (2005). Assessment of tropical grasses and legumes for phytoremediation of petroleum-contaminated soils. *Water, Air, and Soil Pollution*, 165, 195–209. <https://doi.org/10.1007/s11270-005-4979-y>
- Mhamdi, A., & van Breusegem, F. (2018). Reactive oxygen species in plant development. *Development*, 145(15), 1–12. <https://doi.org/10.1242/DEV.164376/48468>
- Mittler, R. (2017). ROS Are Good. *Trends in Plant Science*, 22(1), 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.08.002>
- Nagata, M., & Yamashita, I. (1992). Simple Method for Simultaneous Determination of Chlorophyll and Carotenoids in Tomato Fruit. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 39(10), 925–928. <https://doi.org/10.3136/nskkk1962.39.925>
- Naikoo, M. I., Dar, M. I., Raghieb, F., Jaleel, H., Ahmad, B., Raina, A., Khan, F. A., & Naushin, F. (2019). Role and Regulation of Plants Phenolics in Abiotic Stress Tolerance: An Overview. In *Plant Signaling Molecules* (pp. 157–168). Elsevier: Amsterdam, The Netherlands. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816451-8.00009-5>
- Nardeli, S. M., Saad, C. F., Rossetto, P. de B., Caetano, V. S., Ribeiro-Alves, M., Paes, J. E. S., Danielowski, R., da Maia, L. C., de Oliveira, A. C., Peixoto, R. S., Reinert, F., & Alves-Ferreira, M. (2016). Transcriptional responses of *Arabidopsis thaliana* to oil contamination. *Environmental and Experimental Botany*, 127, 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.03.007>
- Noomen, M. F., & Skidmore, A. K. (2009). The effects of high soil CO₂ concentrations on leaf reflectance of maize plants. *International Journal of Remote Sensing*, 30(2), 481–497. <https://doi.org/10.1080/01431160802339431>
- Noomen, M. F., Skidmore, A. K., van der Meer, F. D., & Prins, H. H. T. (2006). Continuum removed band depth analysis for detecting the effects of natural gas, methane and ethane on maize reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 105(3), 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.009>
- Noori, A. S., Maivan, H. Z., & Alaie, E. (2012). Changes in total phenol and flavonoid contents in *Chrysanthemum leucanthemum* under crude oil contamination. *Article in Journal of*

- Environmental Biology*, 6(12), 3057–3064.
<https://www.researchgate.net/publication/236633404>
- Orocio-Carrillo, J. A., Rivera-Cruz, M. C., Aranda-Ibañez, E. M., Trujillo-Narcía, A., Hernández-Galvez, G., & Mendoza-López, M. R. (2019). Hormesis under oil-induced stress in *Leersia hexandra* Sw. used as phytoremediator in clay soils of the Mexican humid tropic. *Ecotoxicology*, 28, 1063–1074. <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02106-1>
- Peretiemo-Clarke, B. O., & Achuba, F. I. (2007). Phytochemical Effect of Petroleum on Peanut (*Arachis hypogea*) Seedlings. *Plant Pathology Journal*, 6(2), 179–182. <https://doi.org/10.3923/ppj.2007.179.182>
- Petenello, M. C., & Feldman, S. R. (2012). Evaluation of Tolerance to Soils Contaminated with Diesel Oil in Plant Species with Bioremediation Potential. *Acta Biológica Colombiana*, 17(3), 589–598.
- Pezeshki, S. R., Hester, M. W., Lin, Q., & Nyman, J. A. (2000). The effects of oil spill and clean-up on dominant US Gulf coast marsh macrophytes: a review. *Environmental Pollution*, 108(2), 129–139. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00244-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00244-4)
- Radyukina, N. L., Mikheeva, L. E., & Karbysheva, E. A. (2019). Low Molecular Weight Antioxidants in Cyanobacteria and Plant Cells. *Biology Bulletin Reviews*, 9(3), 520–531. <https://doi.org/10.1134/s2079086419060045>
- Ramírez, P. (2022). Pemex registra 176 derrames y fugas de alto impacto ambiental de 2018 a 2021. *Causa Natura*. <https://causanatura.org/periodismo-cn/pemex-registra-176-derrames-y-fugas-de-alto-impacto-ambiental-de-2018-a-2021>
- Rivera-Cruz, M. C. (2011). Flora y microflora rizosférica del pantano: indicadores de perturbación causada por petróleo e inundación. *Agroregión*, 5, 12–15. <https://doi.org/10.1080/15226514.2016.1156632>
- Rivera-Cruz, M. C., & Trujillo-Narcía, A. (2004). Estudio de toxicidad vegetal en suelos con petróleos nuevo e intemperizado. *Interciencia*, 29(7), 369–376.
- Rivera-Cruz, M. C., Trujillo-Narcía, A., Trujillo-Rivera, E. A., Arias-Trinidad, A., & Remedios Mendoza-López, M. R. (2016). Natural attenuation of weathered oil using aquatic plants in a farm in Southeast Mexico. *International Journal of Phytoremediation*, 18(9), 877–884. <https://doi.org/10.1080/15226514.2016.1156632>
- Rodríguez-Rodríguez, N., Rivera-Cruz, M. C., Trujillo-Narcía, A., Almaráz-Suárez, J. J., & Salgado-García, S. (2016). Spatial Distribution of Oil and Biostimulation Through the Rhizosphere of *Leersia hexandra* in Degraded Soil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 227(9), 319. <https://doi.org/10.1007/s11270-016-3030-9>
- Rusin, M., Gospodarek, J., Barczyk, G., & Nadgórska-Socha, A. (2018). Antioxidant responses of *Triticum aestivum* plants to petroleum-derived substances. *Ecotoxicology*, 27(10), 1353–1367. <https://doi.org/10.1007/S10646-018-1988-3>
- Sangabriel, W., Ferrera-Cerrato, R., Trejo-Aguilar, D., Mendoza-López, M. R., Cruz-Sánchez, S. J., López-Ortiz, C., Delgadillo-Martínez, J., & Alarcón, A. (2006). Tolerancia y capacidad de fitorremediación de combustóleo en el suelo por seis especies vegetales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 22(2), 63–73.
- Sangeetha, J., & Thangadurai, D. (2014). Effect of biologically treated petroleum sludge on seed germination and seedling growth of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Fabaceae). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 57(3), 427–433. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132014005000011>
- Sarma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions. *Journal of Botany*, 2012, 1–26. <https://doi.org/10.1155/2012/217037>
- SAS. (2005). “User’s guide”, version 9.1.3. SAS Institute, Inc, Cary, NC, p 664.
- Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., & Zheng, B. (2019). Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*, 24, 2452. <https://doi.org/10.3390/molecules24132452>

Recibido:
27/septiembre/2022

Aceptado:
31/enero/2023

- Singh, A., Kumar, A., Yadav, S., & Singh, I. K. (2019). Reactive oxygen species-mediated signaling during abiotic stress. *Plant Gene*, 18, 100173. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2019.100173>
- Skrypnik, L., Maslennikov, P., Novikova, A., & Kozhikin, M. (2021). Effect of Crude Oil on Growth, Oxidative Stress and Response of Antioxidative System of Two Rye (*Secale cereale* L.) Varieties. *Plants*, 10(1), 157. <https://doi.org/10.3390/plants10010157>
- Syklowska-Baranek, K., Grech-Baran, M., Naliwajski, M. R., Bonfill, M., & Pietrosiuk, A. (2015). Paclitaxel production and PAL activity in hairy root cultures of *Taxus x media* var. *Hicksii* carrying a taxadiene synthase transgene elicited with nitric oxide and methyl jasmonate. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37, 218. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1949-x>
- Tadeo, F. R., & Gómez-Cadenas, A. (2008). Fisiología de las plantas y el estrés. In J. Azcón-Bieto & M. Talón (Eds.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (2da ed., pp. 577–594). Madrid, España: Hill Interamericana.
- Varjani, S. J. (2017). Microbial degradation of petroleum hydrocarbons. *Bioresource Technology*, 223, 277–286. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.037>
- Vegetti, A. C. (2002). Caracterización de los sistemas de ramificación en especies de *Oryzae* (Poaceae). *Candollea*, 57(2), 251–260.
- Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants Protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, 151, 59–66. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1)
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science*, 37(1), 29–38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
- Xie, X., He, Z., Chen, N., Tang, Z., Wang, Q., & Cai, Y. (2019). The Roles of Environmental Factors in Regulation of Oxidative Stress in Plant. *BioMed Research International*, 2019, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2019/9732325>
- Zainab, Q., Muhammad, T. C., Xiongming, D., Lori, H., & Muhammad, T. A. (2021). Review of oxidative stress and antioxidative defense mechanisms in *Gossypium hirsutum* L. in response to extreme abiotic conditions. *Journal of Cotton Research*, 4, 1–9. <https://doi.org/10.1186/s42397-021-00086-4>
- Zamora, A., Ramos, J., & Arias, M. (2012). Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades químicas y microbiológicas de un suelo de sabana. *Bioagro*, 24(1), 5–12.